



“FAN VA TEXNOLOGIYALARNING DOLZARB MUAMMOLARI”

MAVZUSIDAGI

XALQARO ILMIY-AMALIY ANJUMAN
MATERIALLARI TO‘PLAMI

I SHO‘BA

Qarshi shahri, 2026-yil 8-10-oktabr



**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA’LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

IQTISODIYOT VA PEDAGOGIKA UNIVERSITETI

PANCASAKTI TEGAL UNIVERSITETI

KARABÜK UNIVERSITETI

QOZON FEDERAL UNIVERSITETI

QARSHI DAVLAT UNIVERSITETI

QARSHI DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

FAN VA TEXNOLOGIYALARNING DOLZARB MUAMMOLARI

mavzusidagi

XALQARO ILMIY-AMALIY ANJUMAN MATERIALLARI

TO‘PLAMI

IV SHO‘BA (ANIQ FANLAR SHO‘BASI)

Qarshi shahri, 2026-yil 8-10-oktabr

Veb-sayt: <https://conference.ipu-edu.uz/>

**QARSHI
“ILM-FAN-MA’NAVIYAT” NASHRIYOTI
2026**

UO‘K: 001(063)

KBK: 72я43

F 24

Fan va texnologiyalarning dolzarb muammolari.

Xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari to‘plami/

– Qarshi: «Ilm-fan-ma’naviyat» nashriyoti, 2026.

Ushbu to‘plam O‘zbekiston respublikasi oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi, Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Pancasakti tegal universiteti, Karabük universiteti, Qozon federal universiteti, Qarshi davlat universiteti hamda Qarshi davlat texnika universiteti hamkorligida “Fan va texnologiyalarning dolzarb muammolari” mavzusida 2026 yil 8-10 oktabr kunlari o‘tkazilgan xalqaro ilmiy-amaliy anjuman ma’ruzalari asosida tayyorlangan nashr hisoblanadi.

To‘plamga kiritilgan maqolalarda aniq fanlar (matematika, fizika, informatika, statistika va ma’lumotlar tahlili, amaliy matematika va matematik modellashtirish), muhandislik fanlari (axborot-kommunikatsiya texnologiyalari, neft va gaz sanoatidagi ilg‘or texnologiyalar, energetika tizimlari va energiya tejamkor texnologiyalar, konlarni o‘zlashtirish va qatlam muhandisligi, sanoat xavfsizligi, xavflarni baholash va ishonchlilik muhandisligi), tabiiy fanlar (fizika va zamonaviy fizik texnologiyalar, kimyo va kimyoviy texnologiyalar, neft-gaz sektorida atrof-muhitni muhofaza qilish va barqaror rivojlanish, biologiya, biotexnologiya va bioinformatika, neft va gaz konlarini qidirish va qatlamlarni tavsiflash), ijtimoiy-gumanitar fanlar (Iqtisodiyot va ijtimoiy-iqtisodiy rivojlanish, pedagogika va zamonaviy ta’lim texnologiyalari, psixologiya va ijtimoiy jarayonlar, falsafa, sotsiologiya va fanlararo tadqiqotlar, filologiya, lingvistika va madaniyatshunoslik) mavzularidagi masalalar qamrab olingan.

To‘plamni nashrga tayyorlovchi tahrir hay’ati tarkibi:

Bozorov O.N.	- tahrir hay’ati raisi, universitet rektori;
Farmonov J.B.	- rais o‘rinbosari, ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo‘yicha prorektor;
Muminov F.SH.	- a‘zo, yoshlar masalalari va ma’naviy-ma’rifiy ishlar bo‘yicha birinchi prorektor;
Raxmatov E.A.	- a‘zo, o‘quv ishlari bo‘yicha prorektor;
Boltayev Z.B.	- a‘zo, IPU Samarqand kampusi o‘quv ishlari bo‘yicha prorektori
Kamolov D.P.	- a‘zo, “Tarix va ijtimoiy fanlar” kafedrasini professori;
Uzoqov G.N.	- a‘zo, QarDTU Ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo‘yicha prorektori;
Bekpulatov I.R.	- a‘zo, QarDU Ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo‘yicha prorektori;
Raximov X.A.	- a‘zo, aniq fanlar sho‘basi raisi;
Tog‘ayeva M.A.	- a‘zo, tabiiy fanlar sho‘basi raisi;
Bozorov J.T.	- a‘zo, muhandislik fanlari sho‘basi raisi;
Yo‘ldoshev J.T.	- a‘zo, gumanitar fanlar sho‘basi raisi;
Rahimov A.N.	- a‘zo, “Iqtisodiyot” kafedrasini mudiri;
Eshmatov B.E.	- a‘zo, “Matematika” kafedrasini mudiri;
Sunatov J.T.	- a‘zo, “Axborot tizimlari va texnologiyalari” kafedrasini katta o‘qituvchisi;
Suropov B.	- a‘zo, “Axborot tizimlari va texnologiyalari” kafedrasini mudiri;
Batirov Z.L.	- a‘zo, “Pedagogika va o‘qitish metodikasi” kafedrasini mudiri;
Xalilov J.A.	- a‘zo, “Neft va gaz ishi” kafedrasini mudiri;
Xazratov A.N.	- a‘zo, “Neft va gaz ishi” kafedrasini dotsenti;
Fayziyeva K.A.	- a‘zo, “Fakultetlararo xorijiy tillar” kafedrasini mudiri;
Rahmatillayeva Sh.Z.	- a‘zo, “O‘zbek tili va adabiyoti” kafedrasini mudiri;
Eshonqulov R.T.	- a‘zo, “Xorijiy tillar” kafedrasini mudiri;
Choriyeva Z.T.	- a‘zo, “Maktabgacha ta’lim” kafedrasini mudiri;
Xushmanova G.I.	- a‘zo, “Rus tili va adabiyoti” kafedrasini mudiri;
Mamatov Z.U.	- a‘zo, IPU Samarqand kampusi “Iqtisodiyot va muhandislik fanlari” kafedrasini mudiri;
Usmonov F.N.	- a‘zo, IPU Samarqand kampusi “Psixologiya va ijtimoiy-gumanitar fanlar” kafedrasini mudiri;
Turaqulov I.R.	- a‘zo, IPU Samarqand kampusi “Pedagogika” kafedrasini mudiri;
Berdiev H.X.	- a‘zo, IPU Samarqand kampusi “O‘zbek va rus tillari” kafedrasini mudiri;
Qurbonov U.E.	- a‘zo, IPU Samarqand kampusi “Xorijiy tillar” kafedrasini mudiri;
Sharifov Sh.S.	- a‘zo, IPU Samarqand kampusi “Iqtisodiyot va kompyuter injiniring” kafedrasini mudiri.
Mas’ul muharrir:	t.f.f.d., dots. Farmonov J.B.
Mas’ul kotib	t.f.d., prof. Komolov D.P.
Muharrirlar	p.f.f.d., dots. Raximov X.A., b.f.f.d. dots. Tog‘ayeva M.A., t.f.f.d., dots. Bozorov J.T. t.f.f.d., dots. Bozorov J.T., p.f.f.d., dots. Yo‘ldoshev J.T.

To‘plamga kiritilgan materiallardagi ma’lumotlar to‘g‘riligi uchun mualliflar javobgardirlar.

Xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari to‘plami Iqtisodiyot va pedagogika universiteti

Ilmiy Kengashida muhokama qilingan va chop etishga tavsiya etilgan.

ISBN 978-9910-321-13-9

© Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, 2026 yil.

© «Ilm-fan-ma’naviyat» nashriyoti, 2026 yil.

Kirish so'zi

Assalomu alaykum, hurmatli mehmonlar, aziz professor-o'qituvchilar va olimlar, davlat va ishlab chiqarish sohasi vakillari, qadrlil hamkasblar, talabalar hamda konferensiyada onlayn ishtirok etayotgan mehmonlar!

Iqtisodiyot va pedagogika universitetida o'tkazilayotgan **"Fan va texnologiyalarning dolzarb muammolari"** mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy anjumaniga xush kelibsiz.

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti bugungi kunda dunyoning 40 ga yaqin yetakchi oliy ta'lim muassasalari va ilmiy-tadqiqot tashkilotlari bilan hamkorlik aloqalarini yo'lga qo'yib, ular bilan o'zaro hamkorlik shartnoma va memorandumlarini imzolagan.

Universitet Malayziya, Hindiston, Qozog'iston, Rossiya, Indoneziya, Turkiya kabi yana bir qancha davlatlarning nufuzli oliy ta'lim muassasalari bilan akademik va ilmiy aloqalarni rivojlantirib kelmoqda.

Shuningdek, Yevropa Ittifoqining "Erasmus+" dasturi doirasida Portugaliya, Ruminiya, Ispaniya, Bolgariya va Italiya kabi davlatlarning oliy ta'lim muassasalari bilan samarali hamkorlik yo'lga qo'yilgan. Mazkur hamkorlik doirasida professor-o'qituvchilar va talabalar almashinuvi, akademik mobillik, tajriba almashish hamda ilmiy tashabbuslarni amalga oshirish imkoniyatlari kengayib bormoqda.

G'urur va quvonch bilan ta'kidlash joizki, 2022–2026-yillar davomida universitetimizning 117 nafar professor-o'qituvchilar xalqaro tajriba orttirib, malaka oshirib kelishdi. Xususan, Turkiyaning Karabuk universitetida 102 nafar, Rossiyaning Qozon federal universitetida 15 nafar professor-o'qituvchimiz malaka oshirdi hamda 3 nafar talabamiz yozgi maktabda qatnashdi. Shuningdek, Vengriyaning Debresen universitetida 2 nafar o'qituvchimiz ilmiy stajirovka o'tab qaytdi. Yevropa Ittifoqining Erasmus+ dasturi doirasida Portugaliyaning Tomar politexnika institutida 2 nafar talabalarimiz ta'limni tamomladi, yana 2 nafari 1 semestr davomida tahsil olmoqda va 1 nafar o'qituvchimiz mobillik dasturida qatnashib keldi. Ispaniyaning Leon universitetida yesa 1 nafar talabamiz o'qib kelgan bo'lsa, 3 nafar professor-o'qituvchimiz kadrlar mobilligini amalga oshirdi. Ruminiyaning Luchian Blaga (Sibiu) va Piteshti universitetlarida yesa jami 6 nafar o'qituvchimiz Erasmus+ doirasida xodimlar mobilligi bo'yicha xalqaro tajriba orttirib qaytdilar.

Yerishilgan natijalar bilan cheklanib qolmay, 2026–2027-o'quv yilida ham talabalar va o'qituvchilar almashinuvini davom ettirish rejalashtirilgan. Turkiya, Rossiya va boshqa xorijiy davlatlarning nufuzli oliygohlari bilan hamkorlikda xalqaro malaka oshirish kurslari, stajirovka hamda akademik mobillik dasturlarini yanada kengaytirish ustida tizimli ishlar olib borilmoqda.

Jadal rivojlanayotgan bugungi kunda ilm-fan va innovasiyalar jamiyat taraqqiyotining muhim harakatlantiruvchi kuchiga aylanib bormoqda. Raqamli texnologiyalar, sun'iy intellekt, zamonaviy ta'lim yondashuvlari, iqtisodiy jarayonlarning transformasiyasi va ishlab chiqarishdagi innovasiyalar hayotimizning barcha jabhalariga tobora chuqur kirib kelmoqda. Bunday sharoitda ilmiy izlanishlarni amaliyot bilan uyg'unlashtirish, yangi g'oyalarni qo'llab-quvvatlash va xalqaro ilmiy hamkorlikni kengaytirish muhim ahamiyat kasb etadi.

Bugungi anjuman ham aynan shu ezgu maqsadga xizmat qiladi. Unda turli soha vakillarining ilmiy qarashlari, tajribasi va ilg'or ishlanmalari o'zaro uyg'unlashib, yangi ilmiy g'oyalar va amaliy yechimlar uchun mustahkam zamin yaratishiga ishonamiz.

Hurmatli anjuman qatnashchilari!

Ayni vaqtda insoniyat oldida turgan muammolar bir-biridan alohida emas. Iqlim o'zgarishi, energetik xavfsizlik, oziq-ovqat xavfsizligi, suv resurslaridan oqilona foydalanish, raqamli transformasiya, innovasion iqtisodiyot, sun'iy intellektning jadal rivojlanishi, kiberxavfsizlik, yangi avlod ta'lim texnologiyalari, iqtisodiy tenglik va demografik jarayonlar, bularning barchasi o'zaro chambarchas bog'liq. Shuning uchun ham bugungi ilm-fan fanlar chegarasidan chiqib, fanlararo hamkorlik sari intilmoqda.

Menimcha, zamonaviy ilm-fanning eng katta kuchi ham aynan shunda: matematik tafakkur iqtisodiyotga, sun'iy intellekt barcha sohalarga, biologiya axborot texnologiyalariga, muhandislik ekologiyaga, psixologiya esa ta'lim va ijtimoiy jarayonlarga ulanmoqda. Demak, bizga bugun alohida fanlar emas, balki muammoni kompleks ko'ra oladigan ilmiy tafakkur kerak.

Kelajakdagi universitetning vazifasi faqat talabaga tayyor bilim berishdan iborat bo'lmaydi. Universitet insonni mustaqil fikrlashga, savol berishga, muammoni aniqlashga, ilmiy izlanishga va yangi yechim yaratishga o'rgatishi kerak. Chunki kelajakda insonni texnologiyadan ajratib turadigan eng katta kuch uning tanqidiy fikrlashi, ijodkorligi, axloqiy mas'uliyati va insoniy qadriyatlari bo'ladi.

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti uchun ushbu masala ayniqsa muhim. Chunki faoliyatimiz markazida ikki muhim tushuncha: iqtisodiyot va ta'lim turadi. Bizning asosiy vazifamiz zamonaviy bilim va texnologiyalarni ta'lim jarayoniga samarali tatbiq etish, mehnat bozori talablariga javob beradigan, innovasion fikrlaydigan va amaliy ko'nikmalarga ega mutaxassislarni tayyorlashdan iborat.

Hurmatli anjuman ishtirokchilari!

Universitetimiz hamkorlik qilayotgan ishlab chiqarish korxonalari, zavodlar va tashkilotlar bilan ilmiy-amaliy aloqalarni yanada kuchaytirish, ta'lim, ilm-fan va ishlab chiqarish integrasiyasini ta'minlashni ustuvor vazifalarimizdan biri sifatida belgilagan. Kelgusida hamkor korxonalar bilan birgalikda qo'shma ilmiy loyihalarni amalga oshirish, talaba va tadqiqotchilar uchun amaliy tadqiqot maydonlarini kengaytirish, zamonaviy texnologiyalar asosida innovasion ishlanmalarni yaratish hamda ularni ishlab chiqarishga joriy etishga alohida e'tibor qaratamiz.

Ishonamizki, bugungi anjuman doirasidagi ilmiy muloqotlar yangi ilmiy loyihalar, samarali hamkorliklar va amaliy natijalarga asos bo'ladi.

Shu ezgu niyatlar bilan "Fan va texnologiyalarning dolzarb muammolari" xalqaro ilmiy-amaliy anjumanini ochiq deb e'lon qilaman.

Barchangizga mustahkam sog'lik, ilmiy faoliyatingizda ulkan muvaffaqiyatlar, yangi ilmiy kashfiyotlar va samarali hamkorliklar tilayman!

E'tiboringiz uchun rahmat!

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti rektori, professor

O.N.Bozorov

HOMOGENIZATION OF THE BINGHAM PROBLEM AND DISCRETIZATION WITH THE HELP OF THE SPLITTING OPERATOR ON AN OBSTACLE ENVIRONMENT

Gheldiu Camelia, Dumitrache Mihaela^{1,2}

¹ National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest, Romania, E-mail: camelia.gheldiu@upb.ro

² National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest, Romania, E-mail: mihaela.dumitrache@upb.ro

Abstract. *The following article presents the Bingham model for viscoplastic fluids that encounter obstacles. These fluids behave like an elastic solid at low stresses, and at high stresses they become like a viscoplastic liquid. Mathematical modeling is a Navier–Stokes problem of isothermal flow in a viscoplastic fluid over a time interval of length T , a fluid that encounters obstacles and corresponds to a perforated periodic domain. The article contains three sections.*

In the first section, we describe the geometry of the periodically perforated domain. We start from a bounded field in the plane with a smooth boundary. At the same time, we consider a rectangular reference cell that contains a hole inside. Next, we cover the bounded domain with a network formed by the translated omotetics of the reference cell and the hole with the following conditions: the homothetic ratio is close to zero and becomes the parameter that tends to zero, respectively the translations of the homothetic hole do not cross the boundary of the initially bounded domain.

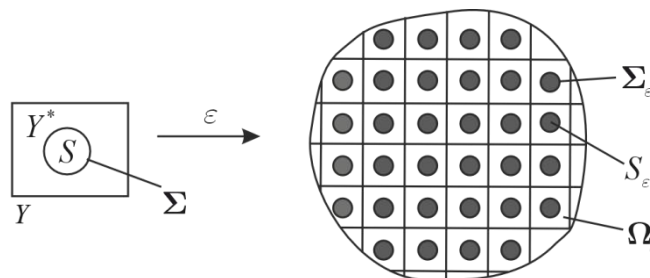
In the second section, we present the Bingham problem, which contains the Navier–Stokes equation.

In the continuation of section two we apply the method of homogenization of multiple scales introduced in 1978 by Bensoussan, Lions and Papanicolau. Here we develop asymptotically, according to the powers of the parameter, the velocity and pressure of the fluid as well as the Lagrange multipliers, we perform the calculations and find the homogenized Bingham problem. Due to the established convergences we have the convergence of the homogenization process, that is, the homogenized problem coincides with the limit of the initial problem when the parameter tends to zero.

The third section deals with the approximation of the homogenized problem with the finite element method, the temporal discretization with the splitting operator introduced by R. Glowinski, and the Lagrange multipliers are iterations with the Uzawa algorithm.

Keywords: *periodically perforated domain, visco-plastic fluid, finite element method, splitting operator, Lagrange multipliers, Uzawa algorithm.*

Domain geometry. Either $\Omega \subset \mathbb{R}^2$ the domain bounded by the $\partial\Omega$ Lipschitz boundary and the $Y=(0,l_1) \times (0,l_2)$ reference cell. We consider $S \subset Y$ subspace so that $\bar{S} \subset Y$ the boundary $\Sigma = \partial S$ is also smooth. We also note $Y^* = Y \setminus \bar{S}$ $K_\varepsilon = \{k \in \mathbb{Z}^2 | \varepsilon(\bar{S} + kl) \cap \Omega \neq \emptyset\}$, $l=(l_1, l_2)$, $kl=(k_1 l_1, k_2 l_2)$. Let the $S_\varepsilon = \bigcup_{k \in K_\varepsilon} \varepsilon(\bar{S} + kl)$ $\Omega_\varepsilon = \Omega \setminus \bar{S}_\varepsilon$ ε -periodic domain perforated by holes (obstacles) $\varepsilon(\bar{S} + kl)$ where $k \in K_\varepsilon$. Let $\Sigma_\varepsilon = \bigcup_{k \in K_\varepsilon} \varepsilon(\Sigma + kl)$



Homogenization of the Bingham problem on a perforated periodic domain. [1], [2], [5].

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho \left(\frac{\partial v_\varepsilon}{\partial t} + \varepsilon (v_\varepsilon \cdot \nabla) v_\varepsilon \right) - \mu \varepsilon^2 \Delta v_\varepsilon - \sqrt{2} \cdot g \varepsilon \nabla \cdot \lambda_\varepsilon(x,t) + \nabla p_\varepsilon = f\left(x, \frac{x}{\varepsilon}, t\right) \text{ in } \Omega_\varepsilon \times (0, T) \\ \operatorname{div} v_\varepsilon = 0 \text{ in } \Omega_\varepsilon \times (0, T) \\ v_\varepsilon|_{\Sigma_\varepsilon} = \alpha_\varepsilon(x, t) \text{ where } \int_{\Sigma_\varepsilon} \alpha_\varepsilon(x, t) d\sigma_\varepsilon(x) = 0 \\ v_\varepsilon(0) = v_\varepsilon^0(x) \text{ in } \Omega_\varepsilon \end{array} \right. \quad (1)$$

where: $v_\varepsilon(x, t)$ is the flow rate of a viscoplastic fluid. At low stresses this fluid behaves like an elastic solid, and at high stresses it flows like a viscous liquid. This fluid is found in a domain where obstacles arise - which in mathematical modeling represents a perfect periodic domain. On the other hand, we have: ρ the density of the fluid, μ is the viscosity of the fluid, g is the plasticity of the fluid, f is the density of external forces and p_ε is the pressure of the fluid.

At the same time, we have the tensor $\lambda_\varepsilon(x, t)$ with the properties:

- $\lambda_\varepsilon \in [L^\infty(H^1(\Omega_\varepsilon); (0, T))]^{2 \times 2}$; $\lambda_\varepsilon(x, t)$ symmetrical and
- $D(v_\varepsilon): \lambda_\varepsilon = |D(v_\varepsilon)|$ where we have:
 - tensor $(D_{ij}(v_\varepsilon))_{1 \leq i, j \leq 2}$ with $D_{ij}(v_\varepsilon) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_\varepsilon^j}{\partial x_i} + \frac{\partial v_\varepsilon^i}{\partial x_j} \right)$ $v_\varepsilon(x, t) = (v_\varepsilon^1(x_1, x_2, t), v_\varepsilon^2(x_1, x_2, t))$;
 - $D(v_\varepsilon): \lambda_\varepsilon = \sum_{i, j=1}^2 D_{ij}(v_\varepsilon) \cdot \lambda_\varepsilon^{ij}$;
 - the tensor's norm is the Frobenius norm:

$$|D(v_\varepsilon)| = \left[\sum_{i, j=1}^2 D_{ij}^2(v_\varepsilon) \right]^{1/2}. \text{ In addition } |\lambda_\varepsilon(x)| \leq 1 \text{ to } x \in \Omega$$

We have the following convergences:

- $f\left(x, \frac{x}{\varepsilon}, t\right) \xrightarrow{\varepsilon \rightarrow 0} f(x, y, t) \text{ weak in } [L^2(\Omega \times Y^* \times (0, T))]^2$;
- $\alpha_\varepsilon(x, t) = \alpha\left(\frac{x}{\varepsilon}, t\right) \xrightarrow[y]{\varepsilon \rightarrow 0} \alpha(y, t) \text{ weak in } [L^2(\Sigma \times (0, T))]^2$;
- $v_\varepsilon^0(x) \xrightarrow{\varepsilon \rightarrow 0} v_0(x, y) \text{ hard in } [L^2(\Omega \times Y^*)]^2$.

The homogenization of problem (1) is done with the multiple scale method introduced in [1].

We consider the following asymptotic developments:

- $v_\varepsilon(x, t) = v(x, y, t) + \varepsilon v_1(x, y, t) + \dots, y = \frac{x}{\varepsilon}$;
- $p_\varepsilon(x, t) = p(x, t) + \varepsilon p_1(x, y, t) + \dots, y = \frac{x}{\varepsilon}$;
- $\lambda_\varepsilon(x, t) = \lambda(x, t) + \varepsilon \lambda_1(x, y, t) + \dots, y = \frac{x}{\varepsilon}$.

the functions $v_i(x, y, t)$, $p_i(x, y, t)$, $v(x, y, t)$, $\lambda_i(x, y, t)$ are Y -periodic for $i \geq 1$.

Using the calculation rules:

- $\nabla u = \nabla_x u + \varepsilon^{-1} \nabla_y u$;
- $\Delta u = \varepsilon^{-2} \Delta_y u + \dots$

After identifying the similar coefficients and moving to the limit then $\varepsilon \rightarrow 0$ we find the homogenized problem (only his coefficient remains ε^0):

$$\left\{ \begin{array}{l} \&\rho \left[\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla_y) v \right] - \mu \Delta_y v - \sqrt{2} g \nabla_y \cdot \lambda + \nabla_x p = f(x, y, t) \text{ in } Y^* \times (0, T) \\ \&\operatorname{div}_y v = 0 \text{ in } Y^* \\ \&v|_{\Sigma} = \alpha(y, t) \text{ on } \Sigma \times (0, T) \text{ with } \int_{\Sigma} \alpha(y) d\sigma(y) = 0 \\ \&v(0) = v_0 \text{ in } Y^* \end{array} \right. \quad (2)$$

where the tensor $\lambda(x, y, t) \in \left(L^\infty(\Omega \times Y^* \times (0, T)) \right)^2$ is symmetrical, $|\lambda| \leq 1$ on Y^* and we have the relation:

$$D(v): \lambda = \sum_{i,j=1}^2 D_{ij}^2(v) \cdot \lambda_{ij} = |D(v)| = \left(\sum_{i,j=1}^2 D_{ij}^2(v)^2 \right)^{\frac{1}{2}}.$$

Discretization of the homogenized problem with the finite element method and the splitting operator. [3], [4]. Let be $T_{h|2}$ a triangulation for Y and $T_{h|4}$ triangulation for Y^* , $h > 0$.

We also consider $Y = [0, 1]^2$ $S = \left(\frac{3}{8}, \frac{5}{8} \right)^2$ discrete spaces:

$$\begin{aligned} V_{h|2} &= \left\{ v_h \left| v_h \in [C^0(Y)]^2, v_h|_K \in (P_{11}^*)^2, (\nabla)K \in T_{h|2} \right. \right\}; \\ P_{11} &= \left\{ p(x_1, x_2) = \sum_{0 \leq i, j \leq 1} c_{ij} x_1^i x_2^j, c_{ij} \in \mathbb{R}^2 \right\}. \\ P_{11}^* &= \left\{ p(y_1, y_2) = \sum_{0 \leq i, j \leq 2} c_{ij} y_1^i y_2^j \right\}; \\ W_{h|4} &= \left\{ w_h \left| w_h \in (C^0(Y^*))^2, w_h|_K \in (P_{11}^*)^2, \forall K \in T_{h|4} \right. \right\}. \end{aligned}$$

We consider a partition of the interval $[0, T]$:

$$0 = t^0 < t^1 = \Delta t < \dots < t^n = n\Delta t < t^{n+1} = (n+1)\Delta t < \dots < t^N = N\Delta t = T,$$

where: $\Delta t = \frac{T}{N}$, and $t^{n+\theta} = (n+\theta)\Delta t$ $\theta \in \left\{ 0, \frac{1}{3}, \frac{2}{3}, 1 \right\}$. We consider the following algorithm:

- we also note $v^0 = v_0$ either $v_h^0 = (v_0)_h$ its approximation v^0 ;

- we consider v_h^n known and either $v_h^{n+\frac{1}{3}}$, $v_h^{n+\frac{2}{3}}$, $v_h^{n+1} \in W_{h|4}$ $p_h^{n+1} \in P_{11}$ $\lambda_h^{n+1} \in L_h = \left\{ p_h \left| p_h \in [L^\infty(Y^*)]^4, p_h|_K \in \mathbb{R}^4, (\nabla)K \in T_{h|4} \right. \right\}$ so that with the splitting operator we break problem (2) into the following three problems:

$$\left\{ \begin{array}{l} \&\rho \sum_{K \in T_{h|4}} \int_K \frac{v_h^{n+\frac{1}{3}} - v_h^n}{\Delta t} \cdot w_h dy + \frac{\mu}{2} \sum_{K \in T_{h|4}} \int_K \nabla_y v_h^{n+\frac{1}{3}} : \nabla_y w_h dy - \sum_{K \in T_{h|4}} \int_K p_h^{n+1} \nabla_y \cdot w_h dy = \\ \&\sum_{K \in T_{h|4}} \int_K f_h^{n+1} \cdot w_h dy \\ \&\text{where } f_h \text{ with his approximation } f \text{ and } f_h^{n+1} = f_h(t^{n+1}) \text{ and for all } w_h \in W_{h|4} \\ \&\sum_{K \in T_{h|4}} \int_K \nabla_y \cdot v_h^{n+\frac{1}{3}} p_h dy = 0, \text{ for all } p_h \in P_{11}^* \\ \&v_h^{n+\frac{1}{3}}|_{\Sigma} = \alpha_h^{n+1}, \quad \alpha_h \text{ his approximation } \alpha \text{ and } \alpha_h^{n+1} = \alpha_h(t^{n+1}). \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \&\rho \sum_{K \in T_{h|4}} \int_K \frac{v_h^{n+\frac{2}{3}} - v_h^{n+\frac{1}{3}}}{\Delta t} \cdot w_h dy - \frac{\mu}{2} \sum_{K \in T_{h|4}} \int_K v_{h,i}^{n+\frac{2}{3}} v_{h,j}^{n+\frac{2}{3}} \frac{\partial w_{h,j}}{\partial y_i} dy = 0, \\ \&\text{where we add after } i=\overline{1,2} \text{ and } j=\overline{1,2} \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \&\rho \sum_{K \in T_{h|4}} \int_K \frac{v_h^{n+1} - v_h^{n+\frac{2}{3}}}{\Delta t} \cdot w_h + \frac{\mu}{2} \sum_{K \in T_{h|4}} \int_K \nabla_y v_h^{n+1} : \nabla_y w_h dy + g\sqrt{2} \sum_{K \in K} \int_K \lambda_h^{n+1} : D(w_h) dy = 0, \\ \&\text{for all } w_h \in W_{0h} = \{v_h | v_h \in W_h, \quad v_h = 0 \text{ pe } \Sigma\} = W_h \cap [H_0^1(Y^*)]^2 \\ \&v_h^{n+1}|_{\Sigma} = \alpha_h^{n+1} \text{ where } \lambda_h^{n+1} \in L_h, \quad |\lambda_h^{n+1}| \leq 1, \quad \text{in } Y^*; \quad \lambda_h^{n+1} = (\lambda_h^{n+1})^T \\ \&\lambda_h^{n+1} : D(v_h^{n+1}) = \sum_{i,j=1}^2 (\lambda_h^{n+1})_{ij} \cdot D_{ij}(v_h^{n+1}) = |D(v_h^{n+1})| = \left[\sum_{i,j=1}^2 |D_{ij}(v_h^{n+1})|^2 \right]^{1/2}. \end{array} \right. \quad (5)$$

To find the multipliers $\lambda_{h|T}^{n+1}$ we use the Uzawa algorithm as follows:

- $\lambda_{h|T}^{n+1,0}$ we know him;
- we then assume $\lambda_{k|T}^{n+1,m}$ known;
- we find out $\lambda_{h|T}^{n+1,m+1} = \lambda_{h|T}^{n+1,m} + rg\sqrt{2}D(u_{h|T}^{n+1,m}), m \geq 0$;
- $\lim_{m \rightarrow \infty} u_h^{n+1} = u_h^{n+1}$ for $0 < r < \frac{\mu}{2g^2}$, for anything $r \geq 0$.

REFERENCES:

- [1] A. Bensoussan, Y.-L. Lions, G. Papanicolau, Asymptotic analysis for periodic structures, North Holland, Amsterdam, 1978.
- [2] M. Dumitrache, C. Gheldiu, The Splitting operator method for convection-diffusion, Romai Journal, Vol.10, No.4, ISSN1841-5512, 47-54, 2014.
- [3] E.Y. Dean, R. Glowinski, Operator-Splitting Methods for the Simulation of Bingham Visco-Plastic Flows, Chinese Annals of Mathematics, ISSN0252-9599, Vol.23, No.2-Sec.B, 187-204, 2002.
- [4] R. Temam, Navier-Stokes equations, Theory and numerical analysis, North-Holland, Amsterdam, 1979.
- [5] Hornung U., Jäger W., Diffusion, convection, adsorption and reaction of chemicals in porous media, J. Diff. Equat. 92(1991), 199-225.

BOUNDARIES VALUE PROBLEM FOR A SYSTEM OF NONLINEAR REACTION-DIFFUSION EQUATIONS MODELING GLIOBLASTOMA GROWTH AND SPREAD

Azmin Sham binti Rambely ¹, Nortoshev Diyor Golib ugli²

¹²Universiti Kebangsaan, Bangi, Malaysia

¹e-mail: corresponding. asr@ukm.edu.my

²e-mail: dnortoshev@gmail.com

Abstract. In this paper, we consider the equation governing the spread of glioblastoma among brain cells and the formulation of the problem for it. Using the a priori estimate method, we prove a theorem on the uniqueness of the solution. We also consider its applications to biological processes.

Keywords: Glioblastoma, Reaction-diffusion equation, Cauchy and Neumann problems, A priori estimates.

Annotatsiya. Ushbu maqolada miya hujayralari orasida glioblastoma tarqalishini tavsiflovchi tenglama va unga oid masala qo'yilishi ko'rib chiqiladi. A priori baholash usulidan foydalangan holda, yechimning yagonaligi haqidagi teorema isbotlanadi. Shuningdek, uning biologik jarayonlarga tatbiqlari ham o'rganiladi.

Kalit so'zlar: Glioblastoma, reaksiya-diffuziya tenglamasi, Koshi va Neyman masalalari, a priori baholashlar.

Аннотация. В данной работе рассматривается уравнение, описывающее распространение глиобластомы среди клеток головного мозга, и постановка соответствующей задачи. С помощью метода априорных оценок доказывается теорема о единственности решения. Также рассматриваются приложения полученных результатов к биологическим процессам.

Ключевые слова: глиобластома, уравнение типа «реакция-диффузия», задачи Коши и Неймана, априорные оценки.

The report presents results on the solvability of boundary value problems for reaction-diffusion equation

$$\frac{\partial p(x,t)}{\partial t} = D\Delta p(x,t) + \rho p(x,t) \left(1 - \frac{p(x,t) + q(x,t)}{K}\right)$$
$$\frac{\partial q}{\partial t} = \gamma p(x,t)(p(x,t) + q(x,t))$$

With boundary condition

$$\frac{\partial q}{\partial n}\Big|_{\partial\Omega} = 0, \quad \frac{\partial p}{\partial n}\Big|_{\partial\Omega} = 0,$$
$$p(x,0) = p_0(x), \quad q(x,0) = 0$$

Where, $p_0(x)$ is given function and D , γ and ρ are constants

Here, t belongs to a domain Ω in the space $\mathbb{R}^n$. For the problems under consideration, theorems on the uniqueness solution have been established; that is, solutions possessing all generalized derivatives in the sense of S.L. Sobolev that appear in the corresponding equation.

REFERENCES:

- [1] Fisher RA. 1937 The wave of advance of advantageous genes. *Ann. Eugenics* 7, 355–369. (doi:10.1111/j.1469-1809.1937.tb02153.x)
- [2] Kolmogorov AN. 1991 A study of the diffusion equation with increase in the amount of substance, and its application to a biological problem. In *Selected works of AN Kolmogorov* (ed. VM Tikhomirov), pp. 242–270. Berlin, Germany: Springer
- [3] N. Ahmed, N. A. Shah, S. Taherifar, and F. D. Zaman, "Memory effects and of the killing rate on the tumor cells concentration for a one-dimensional cancer model," *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 144, p. 110702, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.110750>.
- [4] E. J. Kostelich *et al.*, "Mathematical modeling for glioblastoma treatment: scenario generation and validation for clinical patient counseling," *Frontiers in Oncology*, vol. 15, p. 1647144, 2025. DOI: 10.3389/fonc.2025.1647144.
- [5] James D. Murray "Mathematical Biology: I. An Introduction" (3-pulication, Springer 2002)
- [6] Benzekry S, Lamont C, Ai Behesht, Tracz A, Ebos JML, Hlatky L, Hahnfeldt P. Classical mathematical models for description and prediction of experimental tumor growth. *PLoS Comput. Biol.* 2014;10(8):e10 0380 0. doi: 10.1371/journal. pcbi.10 0380 0 .
- [7] Harris DC, Magnucci-Jiménez G, Xu Y, Eikenberry SE, Quarles CC, Preul MC, et al. Tracking glioblastoma progression after initial resection with minimal reaction-diffusion models. *Math Biosci Eng.* (2022) 19:5446–81. doi: 10.3934/mbe.2022256

ИННОВАЦИОННАЯ МЕТОДОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ НАВЫКОВ РЕШЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В ЦИФРОВОЙ СРЕДЕ ОБУЧЕНИЯ

Алтынбеков Шадияр Эркинович¹, Рахмонов Бурон Нормаматович², Рахимов Холмурот Абдуллаевич³

¹ Южно-Казахстанский университет имени Мухтара Ауезова Заведующий кафедрой математики, кандидат педагогических наук , Казахстан.

² Доцент Джизакского филиала Национального университета Узбекистана, кандидат наук , Узбекистан.

³ Университет экономики и педагогики, доцент, кандидат наук, Карши 180100, Узбекистан.

Электронная почта: rakhimov.kholmurod21@gmail.com

Аннотация. В данной диссертации рассматриваются инновационные методологические основы развития у студентов навыков решения математических задач в цифровой среде обучения. Использование цифровых технологий наряду с приобретением математических знаний позволяет развивать компетенции анализа задач, математического моделирования, выбора стратегии решения, проверки результата и формулирования логических выводов. В исследовании предлагается методологическая модель, основанная на интеграции проблемно-ориентированного обучения, интерактивных заданий, цифрового моделирования, математического моделирования, адаптивной оценки и рефлексивных подходов. Модель включает диагностику процесса решения математической задачи, визуализацию решения с помощью цифровых инструментов и формирование индивидуальной траектории обучения для студента. Предложенный подход направлен на развитие математического мышления, самостоятельного исследования и способности выбирать стратегии решения нестандартных задач.

Ключевые слова: цифровое образование, математическое образование, математическая задача, навыки решения задач, инновационная методология,

математическое моделирование, адаптивное обучение, цифровые технологии, интерактивные задания.

Annotatsiya. Ushbu dissertatsiya raqamli o'quv muhitida talabalarning matematik muammolarni yechish ko'nikmalarini rivojlantirishning innovatsion metodologik asoslarini o'rganadi. Raqamli texnologiyalardan foydalanish matematik bilimlarni egallash bilan bir qatorda muammolarni tahlil qilish, matematik modellashtirish, yechim strategiyasini tanlash, natijalarni tekshirish va mantiqiy xulosalar chiqarishda kompetentsiyalarni rivojlantirish imkonini beradi. Tadqiqotda muammoga asoslangan o'rganish, interaktiv vazifalar, raqamli modellashtirish, matematik modellashtirish, moslashuvchan baholash va aks ettirish yondashuvlarini integratsiyalashga asoslangan metodologik model taklif qilinadi. Model matematik muammolarni yechish jarayonini diagnostika qilish, raqamli vositalar yordamida yechimni vizualizatsiya qilish va talaba uchun individual o'rganish traektoriyasini ishlab chiqishni o'z ichiga oladi. Taklif etilayotgan yondashuv matematik fikrlashni, mustaqil tadqiqotni va nostandart muammolarni yechish strategiyalarini tanlash qobiliyatini rivojlantirishga qaratilgan.

Kalit so'zlar: raqamli ta'lim, matematik ta'lim, matematik muammo, muammolarni yechish ko'nikmalari, innovatsion metodologiya, matematik modellashtirish, moslashuvchan o'rganish, raqamli texnologiyalar, interaktiv vazifalar.

Abstract. This dissertation examines innovative methodological foundations for developing students' mathematical problem-solving skills within a digital learning environment. The use of digital technologies, alongside the acquisition of mathematical knowledge, enables the development of competencies in problem analysis, mathematical modeling, strategy selection, result verification, and the formulation of logical conclusions. The study proposes a methodological model based on the integration of problem-based learning, interactive tasks, digital modeling, mathematical modeling, adaptive assessment, and reflective approaches. The model incorporates the diagnosis of the mathematical problem-solving process, the visualization of solutions using digital tools, and the creation of an individualized learning path for the student. The proposed approach aims to foster mathematical thinking, independent inquiry, and the ability to select strategies for solving non-standard problems.

Keywords: digital education, mathematics education, mathematical problem, problem-solving skills, innovative methodology, mathematical modeling, adaptive learning, digital technologies, interactive tasks.

ВХОД

Сегодня стремительное внедрение цифровых технологий в образовательный процесс создает новые возможности для совершенствования методов преподавания математики. В частности, использование цифровых инструментов в процессе решения математических задач позволяет ученику не только применять готовый алгоритм, но и понимать содержание задачи, выявлять математические связи, сравнивать различные стратегии решения и анализировать результат.

В традиционном образовании решение математических задач часто осуществляется на основе конкретного алгоритма или формулы. Хотя такой подход эффективен для решения определенных типов задач, он требует от ученика более высокого уровня математического мышления при решении задач нестандартного и практического содержания. Поэтому важно организовывать задачи на решение проблем в цифровой образовательной среде как единую единицу алгоритмического, исследовательского и рефлексивного этапов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методологической основой исследования является интеграция принципов цифрового обучения, проблемно-ориентированного обучения, компетентностного подхода, математического моделирования и рефлексивного обучения. Навык решения

математических задач рассматривается как совокупность взаимосвязанных действий, таких как понимание проблемы, разделение информации, создание математической модели, выбор стратегии решения, вычисления, проверка результата и формулирование выводов.

В основе инновационной методологии лежат следующие пять этапов: 1) понимание и диагностика проблемы; 2) формирование математической модели; 3) выбор стратегии решения; 4) тестирование решения в цифровой среде; 5) рефлексия и индивидуальное развитие.

1. Понимание и диагностика проблемы. Учащийся анализирует условие задачи, представленной на цифровой платформе, различает известные и неизвестные величины и выполняет диагностические задания, направленные на определение исходного уровня знаний.

2. Формулировка математической модели. Реальное или теоретическое содержание проблемы выражается в виде математического выражения, уравнения, неравенства, функции, геометрической модели или графического представления. Цифровые средства позволяют визуализировать этот процесс.

3. Выбор стратегии решения. Вместо того чтобы предоставлять студенту единственный готовый алгоритм, ему дается возможность сравнить алгебраические, графические, геометрические или численные методы и выбрать стратегию, подходящую для данной задачи.

4. Проверка решения в цифровой среде. Полученный результат проверяется с помощью графиков, таблиц, динамических моделей или вычислительных инструментов. На этом этапе развивается способность оценивать логичность и практическое содержание математического результата.

5. Рефлексия и индивидуальное развитие. Студент анализирует свою стратегию решения, выявляет ошибки и рассматривает альтернативные решения. Уровень последующих индивидуальных заданий определяется на основе результатов, полученных на цифровой платформе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Важным аспектом этой методологии является то, что цифровые технологии рассматриваются не как цель образования, а как средство развития математического мышления. С этой точки зрения, использование технологий должно быть направлено не на получение учеником готового ответа, а на активизацию мыслительного процесса, ведущего к этому ответу.

Например, при решении задачи, включающей квадратичную функцию, традиционным способом, студент может получить результат, используя формулу. В цифровой среде он может динамически изменять график функции и наблюдать влияние параметров на корни, точку экстремума и положение графика. В результате, помимо формулы, математические зависимости осваиваются визуально, графически и экспериментально.

Адаптивные возможности цифровой среды помогают учитывать индивидуальные различия между учащимися. Ученику, испытывающему трудности с решением задачи, можно предоставить дополнительные визуальные инструкции или пошаговые указания, в то время как ученику, демонстрирующему хорошие результаты, можно предложить нестандартные и исследовательские задачи.

Таблица 1. Структурная модель методологии решения математических задач в цифровой среде обучения.

Компонент	Содержание	Цифровой инструмент
Диагностическая	Определение базовых знаний и навыков	Онлайн-тесты
Мотивационный	Проблемная ситуация и пробуждение интереса	Интерактивные задания
Когнитивный	Математическое моделирование и выбор стратегии	Динамические модели
Практично	Решение проблем и моделирование решений	Математические программы
Контроль	Проверка и оценка результата	Автоматическая оценка
Рефлексивный	Анализ ошибок и заключение	Цифровой отчет
Адаптивный	Выбор задач индивидуального уровня	Адаптивные платформы

НАУЧНАЯ НОВИНКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Научная новизна исследования определяется обоснованием целостной методологической модели, включающей диагностические, моделирующие, интерактивные, адаптивные и рефлексивные компоненты, направленные на развитие навыков решения математических задач в цифровой образовательной среде. В этой модели процесс решения математической задачи не ограничивается определением окончательного ответа, а включает этапы понимания проблемы, создания математической модели, выбора стратегии решения, проверки её с помощью цифровых инструментов и рефлексивного анализа результата.

ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

У студентов развиваются навыки самостоятельного анализа математических задач;

Формируется компетенция в области математического моделирования;

Способность использовать различные стратегии при решении нестандартных задач возрастает;

Способность понимать математические понятия с помощью графических и визуальных средств расширяется;

Учащиеся развивают навыки выявления и исправления собственных ошибок;

Создается возможность формирования индивидуальной образовательной траектории;

Эффективность целенаправленного и педагогически обоснованного использования цифровых инструментов повышается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цифровая образовательная среда предлагает широкий спектр методических возможностей для развития навыков решения математических задач. Однако ее эффективность определяется не доступностью технологий, а методической целью их использования. Поэтому интеграция цифровых инструментов с проблемно-ориентированным обучением, математическим моделированием, интерактивным

преподаванием, адаптивной оценкой и рефлексивными подходами в математическом образовании имеет большое значение.

Предложенная методология направлена на формирование у студента не субъекта, выполняющего готовые математические алгоритмы, а активного исследователя, самостоятельно анализирующего проблему, создающего математическую модель, выбирающего стратегию решения и оценивающего свой результат. Такой подход служит одной из практической и методической основ для совершенствования содержания и методов математического образования в контексте цифрового образования.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ:

[1] Пойа Г. Как это решить: новый аспект математического метода. Издательство Принстонского университета, 2004.

[2] Шёнфельд А.Х. Решение математических задач. Academic Press, 1985.

[3] NCTM. Принципы и стандарты школьной математики. Национальный совет учителей математики, 2000.

[4] ОЭСР. Рамочная программа оценки и анализа PISA 2022: математика, чтение, естественные науки и финансовая грамотность. Издательство ОЭСР, 2023.

[5] ЮНЕСКО. Глобальный доклад по мониторингу образования за 2023 год: Технологии в образовании — инструмент, на чьих условиях? ЮНЕСКО, 2023.

[6] Мишра П., Кёлер М.Дж. Технологические педагогические знания содержания: основа знаний учителя. Teachers College Record, 2006, 108(6), 1017–1054.

[7] Хэтти Дж. «Видимое обучение для учителей: максимизация влияния на процесс обучения». Routledge, 2012.

[8] GeoGebra. Динамичная математика для всех. Образовательные ресурсы GeoGebra.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВЯЗКОУПРУГИХ КОМПОЗИТНЫХ ТОНКИХ ПЛАСТИН

Аширбаев Нургали Кудьярович¹, Butayev Ruslan Buriboyevich², Xo'jaqulov Farrux Normatovich³

¹Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, доктор физико-математических наук, профессор, г. Шымкент, Казахстан,

²O'zMU Jizzax filiali dotsenti, f.-m.f.f.d(PhD), Jizzax, o'zbekiston,

e-mail: butayevruslantop@gmail.com

³Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

e-mail: fhuzakulov70@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada qovushqoq-elastik kompozit yupqa plastinkalarning vaqt bo'yicha nochiziqli tebranishlarini matematik modellash tirish masalasi ko'rib chiqilgan. Material xususiyatlari elastiklik va qovushqoqlikning birgalikda hisobga olinishi Kelvin-Voigt modeli asosida ifodalangan, geometrik nochiziqlik esa katta deformatsiyalar sharoitida egilish va cho'zilishning o'zaro bog'lanishi natijasida yuzaga keluvchi kub had (aw³) orqali kiritilgan. Natijada olingan tenglama Duffing tipidagi nochiziqli tebranish sistemasiga yaqinlashishi ko'rsatilgan. Kompozit qatlamlarning soni, tartibi va tolalar yo'nalishi egilish bikrligiga, demak tabiiy chastota va tebranish amplitudasiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi asoslangan. Taqribiy yechim olish uchun Galerkin usuli tavsiya etilib, xususiy hosilali tenglama oddiy differensial tenglamalar sistemasiga keltirilishi ko'rsatilgan. Model asosida amplituda-chastota xarakteristikasi, rezonans

zonalari va qovushqoqlik sababli so'nish qonuniyatlarini aniqlash imkoniyatlari muhokama qilingan.

Kalit so'zlar: qovushqoq-elastik material, kompozit plastinka, nochiziqli tebranish, Kelvin-Voigt modeli, Duffing tenglamasi, Galerkin usuli, amplituda-chastota xarakteristikasi.

Аннотация. В статье рассмотрена задача математического моделирования нелинейных колебаний вязкоупругих композитных тонких пластин во времени. Совместный учёт упругих и вязких свойств материала выполнен на основе модели Кельвина-Фойгта, а геометрическая нелинейность введена через кубический член (aw^3), возникающий вследствие взаимосвязи изгиба и растяжения при больших деформациях. Показано, что полученное уравнение приближается к нелинейной колебательной системе типа Даффинга. Обосновано, что число, порядок и направление армирующих слоёв композита существенно влияют на изгибную жёсткость, а следовательно, на собственную частоту и амплитуду колебаний. Для приближённого решения рекомендован метод Галёркина, посредством которого уравнение в частных производных сводится к системе обыкновенных дифференциальных уравнений. На основе модели обсуждены возможности определения амплитудно-частотной характеристики, зон резонанса и закономерностей затухания колебаний вследствие вязкости.

Ключевые слова: вязкоупругий материал, композитная пластина, нелинейные колебания, модель Кельвина-Фойгта, уравнение Даффинга, метод Галёркина, амплитудно-частотная характеристика.

Abstract. The paper addresses the mathematical modeling of nonlinear time-dependent vibrations of viscoelastic composite thin plates. The combined elastic and viscous properties of the material are expressed through the Kelvin-Voigt model, while geometric nonlinearity is introduced via a cubic term (aw^3) arising from the coupling of bending and stretching under large deformations. It is shown that the resulting equation approaches a Duffing-type nonlinear oscillation system. The number, stacking order, and fiber orientation of the composite layers are shown to significantly affect the bending stiffness and, consequently, the natural frequency and vibration amplitude. The Galerkin method is proposed for obtaining an approximate solution, reducing the partial differential equation to a system of ordinary differential equations. Based on the model, possibilities for determining the amplitude-frequency characteristic, resonance zones, and damping laws caused by viscosity are discussed.

Keywords: viscoelastic material, composite plate, nonlinear vibration, Kelvin-Voigt model, Duffing equation, Galerkin method, amplitude-frequency characteristic.

ВВЕДЕНИЕ

Композитные тонкие пластины и оболочки широко применяются в авиастроении, машиностроении, строительстве и приборостроении благодаря высокому отношению жёсткости к массе. При оценке надёжности подобных конструкций важно знать характер их колебаний под действием внешней периодической нагрузки [3, 5]. При малых деформациях линейная модель оказывается достаточной, однако с увеличением амплитуды изгиб и растяжение срединной поверхности пластины оказываются взаимосвязанными, и в уравнении появляются нелинейные члены [1, 4, 9].

Вместе с тем реальные материалы не являются чисто упругими - в них наблюдается вязкое сопротивление, зависящее от скорости деформации, и рассеяние энергии. Одним из наиболее распространённых способов включения такого свойства в математическую модель является модель Кельвина-Фойгта [2, 6, 8]. Число, порядок и направление армирующих слоёв композита являются дополнительным фактором, определяющим изгибную жёсткость пластины, а значит, собственную частоту и амплитуду колебаний [3, 5].

Целью исследования является построение обобщённой математической модели, описывающей нелинейные колебания во времени вязкоупругих композитных тонких пластин, обоснование механизма возникновения нелинейности, а также определение аналитико-численных методов, подходящих для исследования данной модели.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поперечное перемещение тонкой пластины обозначается как $w = w(x, y, t)$, где x, y - координаты в плоскости пластины, t - время. Геометрия многослойной композитной пластины показана на рисунке 1: каждый слой характеризуется своей толщиной и направлением волокон θ .

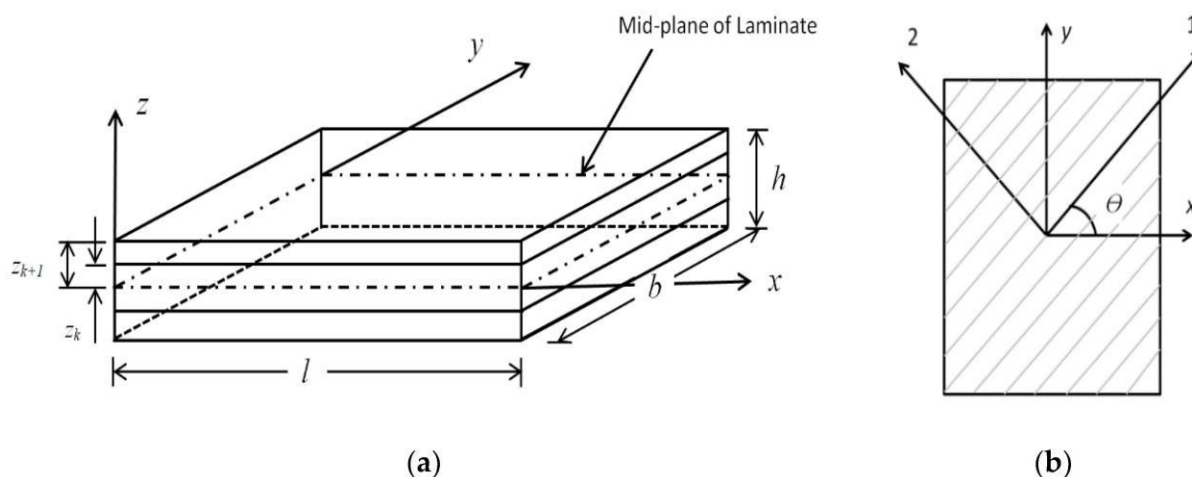


Рис. 1. Геометрия многослойной композитной пластины и координаты слоёв

Общее нелинейное уравнение движения пластины записывается в следующем виде:

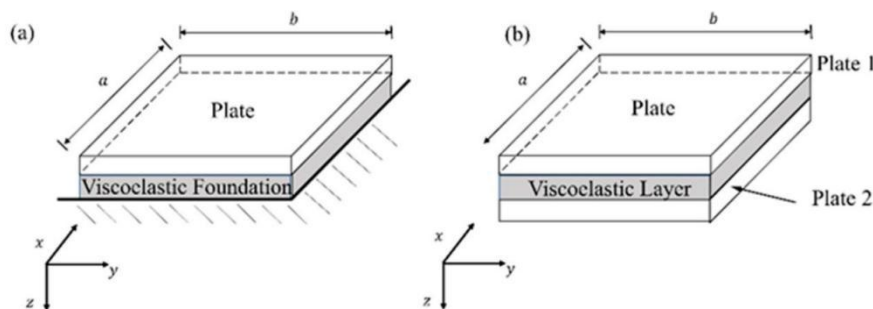
$$\rho h \cdot (\partial^2 w / \partial t^2) + c \cdot (\partial w / \partial t) + D \nabla^4 w + N(w) = q(x, y, t),$$

где ρ - плотность материала, h - толщина пластины, D - изгибная жёсткость, c - коэффициент, выражающий вязкое затухание, $q(x, y, t)$ - внешняя нагрузка, $N(w)$ - член, выражающий геометрическую нелинейность. Для композитного материала D определяется не одним модулем упругости, а числом, порядком, толщиной слоёв и направлением волокон.

Вязкоупругое свойство материала учитывается на основе модели Кельвина-Фойгта, в которой напряжение выражается следующим образом:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon + \eta \cdot (\partial \varepsilon / \partial t),$$

где E - модуль упругости, η - коэффициент вязкости, ε - деформация. Такой подход делает сопротивление материала зависящим не только от самой деформации, но и от её скорости, что позволяет включить в модель затухание энергии колебаний во времени. Схематическое расположение вязкоупругого слоя (одностороннее или двустороннее) показано на рисунке 2.



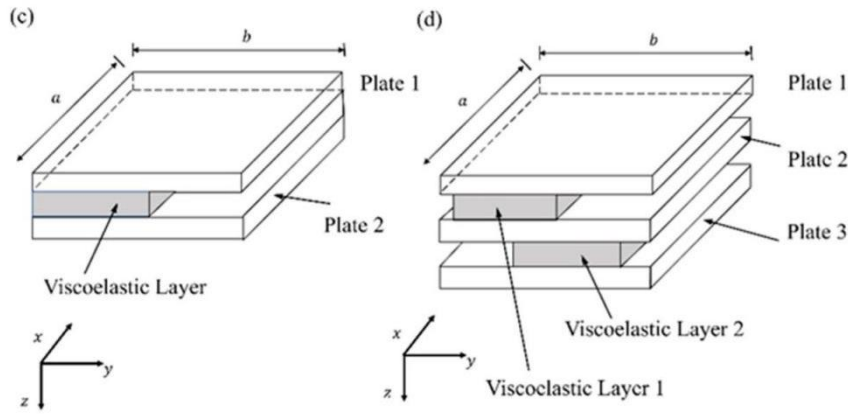


Рис. 2. Схемы расположения вязкоупругого слоя в структуре пластины

Источник нелинейности связан с растяжением срединной поверхности пластины при больших деформациях: перемещение точки выражается уже не линейно, а с учётом угла поворота (рис. 3). В результате изгиб и растяжение оказываются взаимосвязанными, и в упрощённом случае уравнение принимает вид

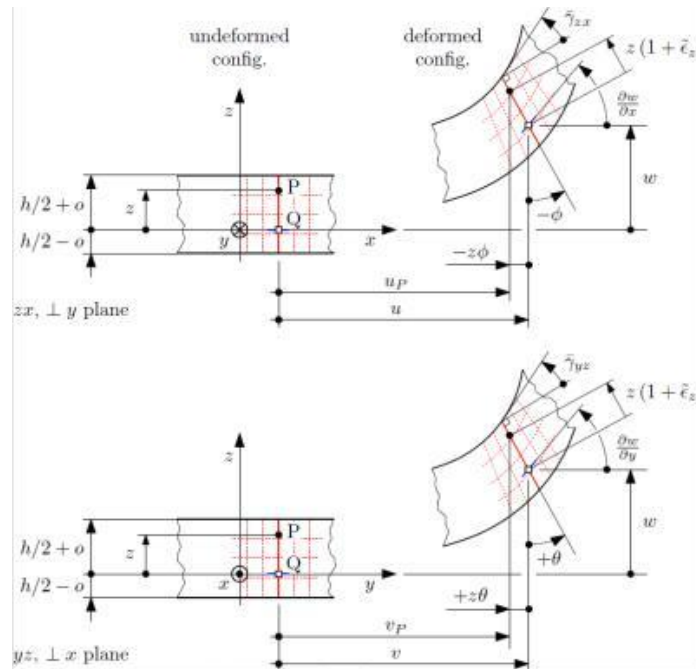


Рис. 3. Недеформированное и деформированное состояние сечения пластины

$$\rho h \cdot w_{tt} + c \cdot w_t + D \nabla^4 w + \alpha \cdot w^3 = q(x, y, t)$$

где $\alpha \cdot w^3$ - член, выражающий нелинейное упругое воздействие. Данное уравнение математически приближается к нелинейной колебательной системе типа Дуффинга [1, 4].

Для исследования модели применяются следующие методы: метод Галёркина, метод Ритца, метод возмущений, асимптотический метод многих масштабов, метод конечных элементов (МКЭ), а также численные вычислительные эксперименты в среде MATLAB или Python [1, 2, 6, 7]. В методе Галёркина приближённое решение ищется в виде:

$$w(x, y, t) = \sum \varphi_i(x, y) \cdot q_i(t), i = 1..n,$$

что позволяет свести уравнение в частных производных к системе обыкновенных дифференциальных уравнений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе построенной модели на рисунке 4 качественно показаны поле перемещений пластины по ширине, соответствующие распределения напряжений при изгибе и растяжении, а также функция внешней нагрузки. Такие распределения используются для оценки пространственной структуры члена $N(w)$ и его вклада относительно линейного члена $D\nabla^4 w$.

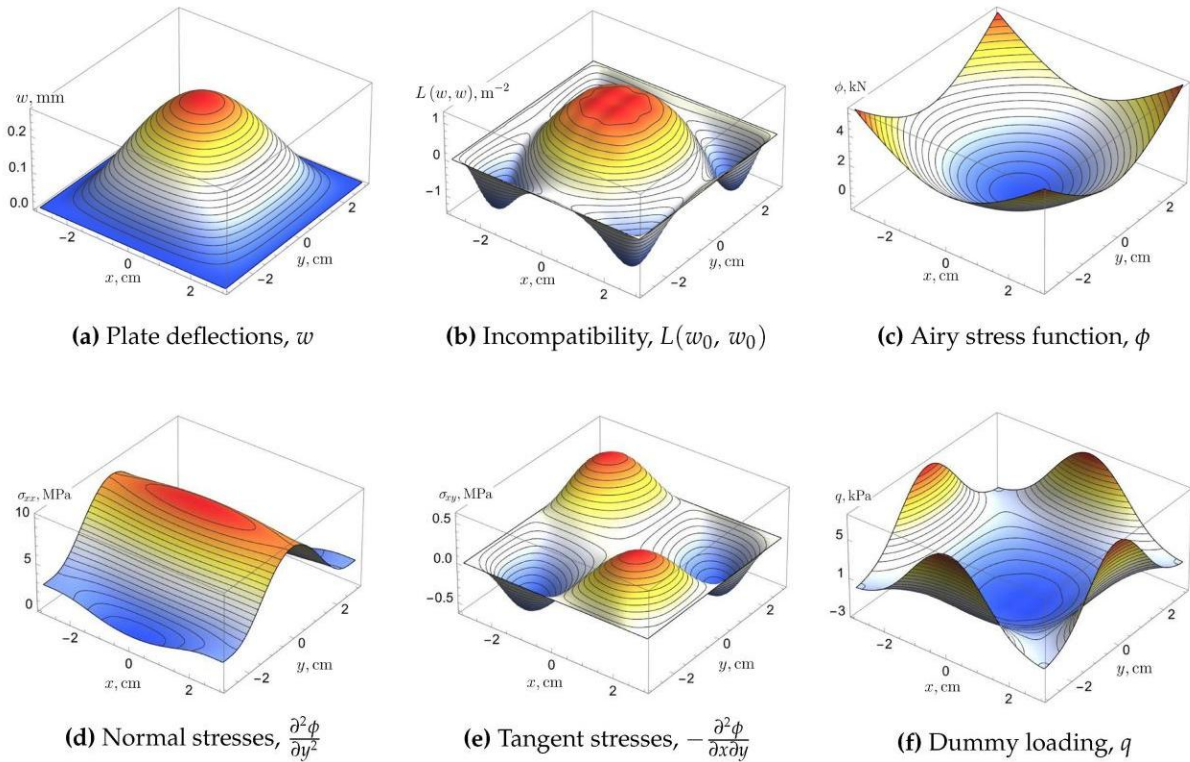


Рис. 4. Качественное представление полей перемещения, напряжений и нагрузки пластины

Число и порядок композитных слоёв существенно влияют на степень вязкого затухания (η): по сравнению с однослойной панелью в симметричных и асимметричных вязкоупругих слоистых (CLD) панелях коэффициент затухания может быть в несколько десятков раз выше, что обеспечивает более быстрое затухание амплитуды колебаний (рис. 5).

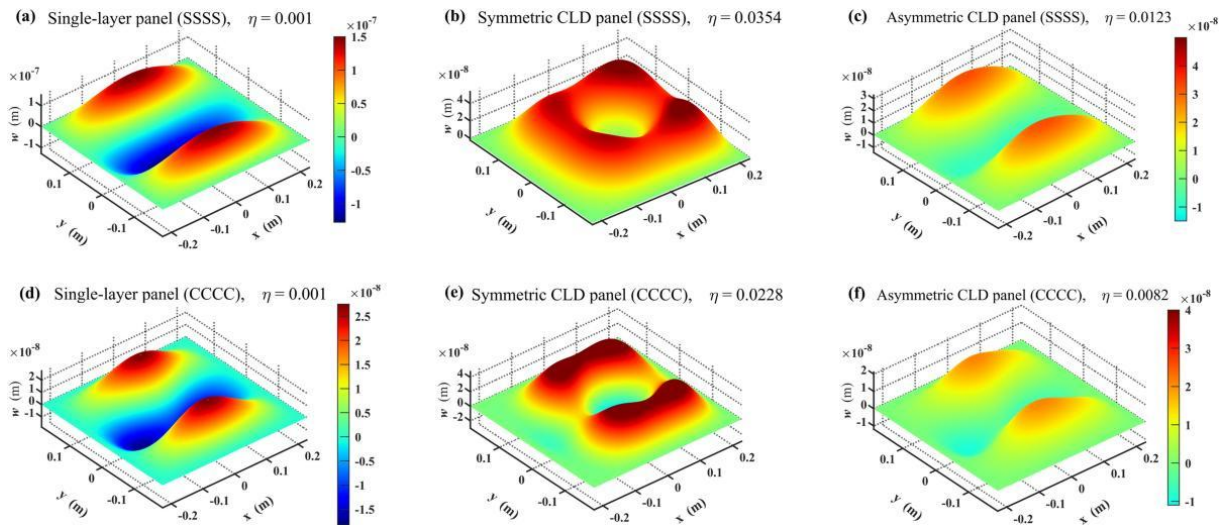


Рис. 5. Формы перемещений и коэффициент затухания η для одно- и многослойных вязкоупругих панелей

С помощью модели зависимость собственной частоты от материальных и геометрических параметров выражается в виде $\omega = \omega(E, \eta, \rho, h, \theta, \dots)$, а зависимость амплитуды колебаний от частоты внешней нагрузки - в виде $A = A(q, \omega, E, \eta, \dots)$. Такая зависимость позволяет построить амплитудно-частотную характеристику: при изменении толщины и расположения слоёв частота и высота резонансных пиков заметно меняются (рис. 6), что показывает роль вязкости и параметров слоёв в управлении резонансным явлением.

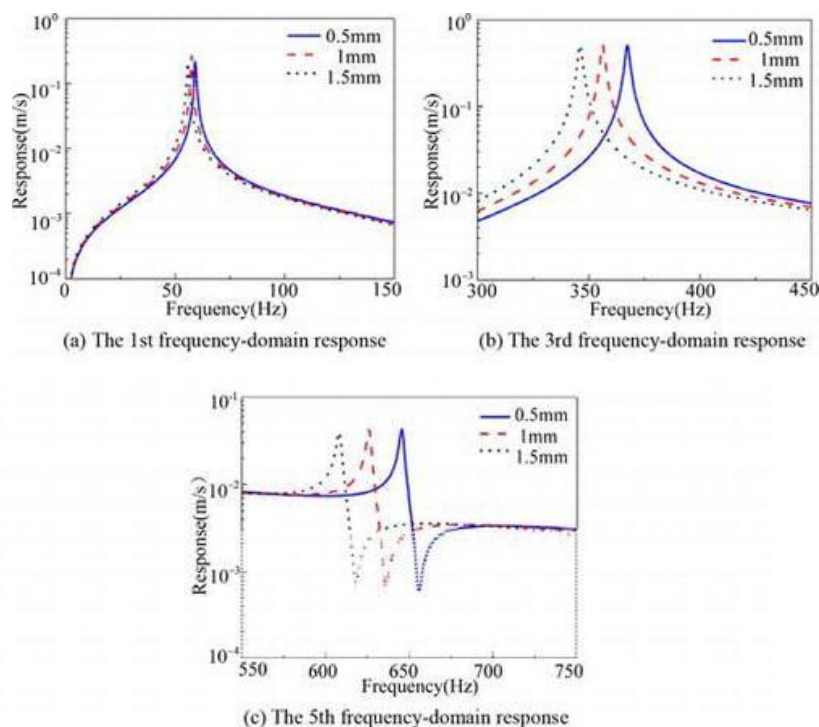


Рис. 6. Амплитудно-частотная характеристика для слоёв различной толщины (качественный пример)

Основные параметры модели и их влияние на характеристики колебаний обобщены в таблице 1.

Таблица 1.

Основные параметры модели вязкоупругой композитной пластины и их влияние на характеристики колебаний

Параметр	Физический смысл	Место в модели	Влияние на колебания
ρh	Поверхностная плотность пластины (масса/площадь)	Инерционный член $\rho h \cdot w_{tt}$	Понижает собственную частоту
D	Изгибная жёсткость, зависящая от порядка и механических свойств слоёв	Член $D \nabla^4 w$	Основной фактор частоты и амплитуды
c	Коэффициент внутреннего трения (вязкости) модели Кельвина–Фойгта	Член $c \cdot w_t$	Ускоряет затухание амплитуды колебаний во времени
α	Коэффициент, выражающий	Член $\alpha \cdot w^3$	Вызывает сдвиг частоты с ростом

	геометрическую нелинейность		амплитуды (эффект hardening/softening)
θ (0°, 45°, 90°)	Направление волокон в композитных слоях	Связано с членами D и N(w)	Определяет зависимость жёсткости, собственной частоты и резонансных зон от направления

Из таблицы видно, что члены ρh и D в основном определяют линейные характеристики колебаний (собственную частоту), член c - затухание, а член α - сдвиг частоты, зависящий от амплитуды. Изменение угла слоёв θ косвенно влияет на все характеристики колебаний через члены D и N(w), поэтому при проектировании композитных конструкций выбор порядка слоёв является важным фактором с точки зрения безопасности колебаний [3, 5, 9].

На следующем этапе практического исследования целесообразно рассмотреть следующие задачи: определение собственных частот колебаний в зависимости от граничных условий, анализ эффектов hardening/softening при колебаниях большой амплитуды, изучение резонансных состояний при внешней периодической нагрузке, а также сравнение аналитических (Галёркин, асимптотический метод многих масштабов) и численных (МКЭ) решений [1, 2, 7, 8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложена обобщённая математическая модель, описывающая нелинейные колебания во времени вязкоупругих композитных тонких пластин. Модель Кельвина-Фойгта позволила учесть вязкоупругое свойство материала, а член $\alpha \cdot w^3$ - геометрическую нелинейность в условиях больших деформаций; показано, что полученное уравнение приближается к нелинейной колебательной системе типа Дуффинга. Обосновано, что число, порядок и направление волокон композитных слоёв через изгибную жёсткость непосредственно влияют на собственную частоту, амплитуду колебаний и затухание энергии. Метод Галёркина рекомендован как эффективный инструмент для сведения уравнения в частных производных к системе обыкновенных дифференциальных уравнений. В дальнейших исследованиях важной задачей остаётся численный анализ модели для различных граничных условий и конфигураций слоёв, а также точная оценка амплитудно-частотной характеристики и резонансных зон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- [1] Amabili M. Nonlinear vibrations of viscoelastic rectangular plates. Journal of Sound and Vibration, 362, 2016, 142-156. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2015.09.035>
- [2] Amabili M. Nonlinear damping in nonlinear vibrations of rectangular plates: derivation from viscoelasticity and experimental validation. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 118, 2018, 275-292. <https://doi.org/10.1016/j.jmps.2018.06.004>
- [3] Amabili M. Nonlinear Mechanics of Shells and Plates: Composite, Soft and Biological Materials. Cambridge University Press, New York, 2018.
- [4] Eshmatov B.K. Nonlinear vibrations and dynamic stability of viscoelastic orthotropic rectangular plates. Journal of Sound and Vibration, 300(3-5), 2007, 709-726. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2006.08.024>
- [5] Farokhi H., Ghayesh M.H., Gholipour A., Tavallaeinejad M. Nonlinear oscillations of viscoelastic microplates. International Journal of Engineering Science, 118, 2017, 56-69.

- [6] Balkan D., Mecitoglu Z. Nonlinear dynamic behavior of viscoelastic sandwich composite plates under blast loading. *International Journal of Impact Engineering*, 72, 2014, 85-104.
- [7] Shitikova M.V., Kandu V.V. Analysis of forced vibrations of nonlinear plates in a viscoelastic medium under the conditions of the different combinational internal resonances. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 15(3), 2019, 131-148. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2019-15-3-131-148>
- [8] Alavi S.H., Eipakchi H. An analytical approach for free vibrations analysis of viscoelastic circular and annular plates using FSDT. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 27(3), 2020, 250-264. <https://doi.org/10.1080/15376494.2018.1472348>
- [9] Mouafo Teifouet A.R. Nonlinear vibration of 2D viscoelastic plate subjected to tangential follower force. *Engineering Mechanics*, 20(1), 2013, 59-74.
- [10] Reddy J.N. *Mechanics of Laminated Composite Plates and Shells: Theory and Analysis*. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, 2004.

О РАДИАЛЬНО СИММЕТРИЧНЫХ РЕШЕНИЯХ ЗАДАЧИ ДЛЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ С $p(x)$ -ЛАПЛАСИАНОМ

Терсенов Арис Саввич¹, Сафаров Расул Чориёр угли²

¹ Новосибирский государственный университет, Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Новосибирск 630090, Россия.

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск 630090, Россия,

Каршинский государственный университет, Карши 180119, Узбекистан .

e-mail: r.safarov1@g.nsu.ru

Аннотация. В работе рассматривается задача Дирихле для эллиптического уравнения с $p(|x|)$ -лапласианом в ограниченной области.

Для радиально симметричных решений исходная задача сводится к краевой задаче для обыкновенного дифференциального уравнения с переменным показателем $p(r)$. Приводятся условия на правую часть уравнения, обеспечивающие существование слабого радиально симметричного решения. Устанавливаются априорные оценки для решения и его производной, а также дополнительная регулярность величины $|u|^{p(r)-2}u'$. Полученный результат позволяет гарантировать существование решения с контролируемыми границами $|u(r)|$ и $|u'(r)|$.

Ключевые слова: $p(|x|)$ -лапласиан, радиально симметричное решение, задача Дирихле, слабое решение, эллиптическое уравнение, априорные оценки, переменный показатель.

Аннотация (o'zbekcha). Ishda chegaralangan sohada $p(|x|)$ -laplasianli elliptik tenglama uchun Dirixle asalasi qaraladi. Radial simmetrik yechilar uchun dastlabki asala $p(r)$ o'zgaruvchi ko'rsatkichli oddiy differensial tenglama uchun chegaraviy masalaga keltiriladi. Tenglamaning o'ng tomoniga qo'yilgan shartlar asosida radial simmetrik kuchsiz yechimning mavjudligi ko'rsatiladi. Yechim va uning hosilasi uchun aprior baholar, shuningdek $|u(r)|^{p(r)-2}u'(r)$ funksiyasining qo'shimcha silliqiligi o'rnatiladi.

Kalit so'zlar: $p(|x|)$ -laplasian, radial simmetrik yechim, Dirixle masalasi, kuchsiz yechim, elliptik tenglama, aprior baholar, o'zgaruvchi ko'rsatkich.

Аннотация (English). The paper considers a Dirichlet problem for an elliptic equation involving the $p(|x|)$ -Laplacian in a bounded domain. For radially symmetric solutions, the original problem is reduced to a boundary value problem for an ordinary differential equation with a variable exponent $p(r)$. Conditions on the right-hand side are formulated that guarantee the

existence of a weak radially symmetric solution. A priori estimates for the solution and its derivative are established, together with additional regularity of $|u'|^{p(r)-2}u'$.

Keywords: $p(|x|)$ -Laplacian, radially symmetric solution, Dirichlet problem, weak solution, elliptic equation, a priori estimates, variable exponent.

ВВЕДЕНИЕ

Рассмотрим задачу Дирихле для уравнения

$$-\operatorname{div}\left(|u|^{p(|x|)-2}u\right)=F(x,u,u)\text{ в } \Omega \subset \mathbb{R}^n, \quad (1)$$

$$u=0 \text{ на } \partial\Omega, \quad (2)$$

Здесь Ω — некоторая ограниченная область, $\partial\Omega$ — граница области Ω , $p(|x|) > 2$.

Итак, нас интересует существование ограниченных радиально симметричных решений задачи (1), (2), где $\Omega = R_n$ — шар радиуса R . Будем предполагать, что функция $F(x,u,u)$ может быть представлена в виде $F(r,u,u_r)$ при замене переменных $r = |x|$. Как известно, что ограниченное радиально симметричное решение (1), (2) удовлетворяет уравнению

$$-\left(|u|^{p(r)-2}u\right)' - \frac{n-1}{r}|u|^{p(r)-2}u = F(r,u,u), \quad r \in (0,R), \quad (3)$$

и краевым условиям

$$u(0) = 0, \quad u(R) = 0. \quad (4)$$

Дадим определение слабого решения задачи (3), (4).

Определение. Будем говорить, что функция $u(r)$ является слабым решением задачи (3), (4), если $u(r)$ непрерывна по Гёльдеру на $[0,R]$, удовлетворяет краевым условиям (4), и имеет место интегральное тождество для всех $\phi(r) \in C_0(0,R)$

$$\int_0^R |u(r)|^{p(r)-2}u(r)\phi(r)dr = \frac{n-1}{r} \int_0^R |u(r)|^{p(r)-2}u(r)\phi(r)dr + \int_0^R F(r,u(r),u(r))\phi(r)dr.$$

В силу указанной в определении гладкости искомого решения краевые условия (4) понимаются в обычном смысле.

Представим правую часть уравнения в виде

$$F(r,u,u) = g_0(r,u) + g(r,u,u) + f(r), \quad (6)$$

причем $F(r,0,0)$ не обращается тождественно в нуль и

$$\lim_{|u| \rightarrow 0} |g_0(r,u) + g(r,u,0)| = 0, \quad (7)$$

$$u(g_0(r,u) + g(r,u,0)) < 0, \quad u \neq 0. \quad (8)$$

Например, $g_0(r,u) + g(r,u,0) = -u|u|^s - ue^{r|q|^\mu}$, $s > 0$, удовлетворяет условиям (7), (8).

Положим

$$\max_{r \in [0,R], u \in M} (g_0(r,u) + g(r,u,u) + f(r)) = M_*, \max_{r \in [0,R]} |f| = f_*.$$

Предположим, что функция $g(r,u,u)$ удовлетворяет условиям

$$g(r,u,-q) \leq 0, \quad u > 0, \quad g(r,u,q) \leq 0, \quad u < 0, \quad (9)$$

$$\text{где } q \in [q_0, q_1], 1 \leq q_0 < q_1, r \in [0, R], |u| \leq M$$

$$|g(r,u,q) - g(s,u,q)| \leq K(r,s,u,q)(r-s) \quad (10)$$

для $r, s \in (0, R)$, $0 < r - s$, $|u| \leq M$, $|q| \in [q_0, q_1]$, где $K \geq 0$,

$$g(r,u_2,q) - g(r,u_1,q) \leq \gamma(r,u_1,u_2,q)(u_1 - u_2) \quad (11)$$

для $r \in (0, R)$, $|u_1|, |u_2| \leq M$, $u_1 > u_2$, $|q| \in [q_0, q_1]$, где $\gamma(r,u_1,u_2,q) \geq 0$.

$\gamma(r,u_1,u_2,q) \geq 0$.

Предположим, что неравенства

$$K(r,s,u_1,\pm q) - \gamma(r,u_1,u_2,\pm q)q \leq 0. \quad (12)$$

Выполнены для любых r, s, u_1, u_2, q и q , удовлетворяющих условиям

$$(r,s) \in (0,R), s < r; |u_1|, |u_2| \leq M, u_1 - u_2 \leq q(r-s); q, q \in [q_0, q_1], q < q.$$

РЕЗУЛЬТАТ.

Теорема . Пусть $F(r,u,u) \in C([0,R] \times R \times R)$, $p(r) \in C^1[0,R]$, $p \geq 0$ и выполнены условия (7)–(12). Тогда существует слабое решение задачи (3), (4), для которого функция $|u(r)|^{p(r)-2} u(r)$ непрерывна по Липшицу на $[0,R]$ и $u(r)$ удовлетворяет следующим оценкам:

$$|u(r)| \leq M, \quad |u| \leq q_1,$$

где M зависит от f_* , g_0 и g , а q_1 зависит от M и $\max_{r \in [0,R]} |p(r)|$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- [1] Ар. С. Терсенов, Р.Ч. Сафаров. О радиально-симметричных решениях задачи Дирихле для эллиптического уравнения с $p(|x|)$ -лапласианом. // Сибирский математический журнал, Март-апрель, 2026, Том 67(2), ст: 311-324.
- [2] Ар. С. Терсенов, Р.Ч. Сафаров. О радиально-симметричных решениях для эллиптического уравнения с сингулярным $p(|x|)$ -лапласианом. // Математические труды, Апрель-июнь, 2026, Том 30(2), ст: 93-112.
- [3] Ar. S. Tersenov. Radially symmetric solutions of the p -Laplace equation with gradient terms // Journal of Applied and Industrial Mathematics, V. 12 (4), (2018), pp. 770--784.
- [4] D.Gilbarg, N.S.Trudinger. Elliptic Partial Differential Equations of Second Order, (2nd ed.), Springer - Verlag Berlin Heidelberg, 1983.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗАДАЧИ ФИЛЬТРАЦИИ ФЛЮИДОВ ДВИЖУЩЕГО ПО КРИВОЛИНЕЙНЫМ И ГИПЕРБОЛИЧЕСКИМ ЗАКОНАМ В МНОГОПЛАСТОВЫХ СРЕДАХ

Каюмов Ш., Зиядуллаева Ш.С., Бекчанов Ш.Э., Юсупов А.

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова

Аннотация. В статье исследуется задача математического моделирования движения флюидов в многопластовых изолированных пористых средах с учетом различных нелинейных законов фильтрации. Для двухпластовой среды сформулирована нелинейная начально-краевая задача, в которой движение флюида в нижнем пласте подчиняется гиперболическому закону фильтрации, а в верхнем пласте — криволинейному закону. В математической модели учитываются фильтрационные характеристики пластов, динамическая и кинематическая вязкость флюидов, пористость среды, мощность пластов и критические градиенты давления. В связи с отсутствием точного аналитического решения рассматриваемой задачи разработаны и применены численные алгоритмы, основанные на итерационных методах, методе челночных итераций, методе прямых по времени и потоковом варианте разностного метода прогонки. Взаимное влияние возмущений в пластах после начала разработки учитывается посредством условий, описывающих взаимодействие пластов через совместную скважину. Численные алгоритмы апробированы на гипотетических тестовых данных. Полученные результаты подтверждают возможность применения предложенного подхода для математического моделирования процессов фильтрации флюидов в месторождениях с аналогичными геометрическими и фильтрационными характеристиками.

Ключевые слова: флюид, фильтрация, многопластовая среда, математическая модель, нелинейная фильтрация, гиперболический закон, криволинейный закон, пористая среда, начально-краевая задача, численный метод, итерационный метод, градиент давления.

Annotatsiya. Maqolada ko'p qatlamli izolyatsiyalangan g'ovak muhitlarda flyuidlarning turli xil nochiziqli filtratsiya qonunlari asosidagi harakatini matematik modellash tirish masalasi tadqiq etilgan. Ikki qatlamli muhit uchun pastki qatlamda flyuidning giperbolik, yuqori qatlamda esa egri chiziqli filtratsiya qonuniga bo'ysunishi hisobga olingan holda nochiziqli boshlang'ich-chegaraviy masala shakllantirilgan. Modelda qatlamlarning filtratsion xususiyatlari, flyuidlarning dinamik va kinematik qovushqoqligi, g'ovaklik, qatlam qalinligi hamda kritik bosim gradientlari kabi parametrlar hisobga olingan. Masalaning aniq analitik yechimi mavjud bo'lmaganligi sababli uni yechish uchun iteratsion usullar, siljish (chalqancha) iteratsiyalar, to'g'ri chiziqlar usuli va farqlar progonkasining oqimli varianti asosidagi sonli algoritmlar qo'llanilgan. Hisoblash natijalari faraziy test ma'lumotlari asosida sinovdan o'tkazilib, taklif etilgan matematik model va sonli algoritmlarning tegishli geometrik xususiyatlarga ega bo'lgan real flyuid konlarini modellash tirishda qo'llash imkoniyati ko'rsatilgan.

Kalit so'zlar: flyuid, filtratsiya, ko'p qatlamli muhit, matematik model, nochiziqli filtratsiya, giperbolik qonun, egri chiziqli qonun, g'ovak muhit, boshlang'ich-chegaraviy masala, sonli usul, iteratsion usul, bosim gradienti.

Abstract. The article investigates the problem of mathematical modeling of fluid flow in multilayered isolated porous media subject to different nonlinear filtration laws. For a two-layer medium, a nonlinear initial-boundary value problem is formulated, taking into account a hyperbolic filtration law for the fluid in the lower layer and a curvilinear filtration law for the fluid in the upper layer. The mathematical model incorporates the filtration characteristics of the layers, the dynamic and kinematic viscosities of the fluids, medium porosity, layer thickness, and critical pressure gradients. Since an exact analytical solution to the formulated problem is unavailable, numerical algorithms based on iterative methods, shuttle iterations, the method of lines with respect to time, and a flux-based variant of the finite-difference sweep method are developed and applied. The

mutual influence of fluid disturbances in the layers after the beginning of reservoir development is taken into account through conditions describing the interaction between the layers via a common well. The proposed numerical algorithms are tested using hypothetical data. The obtained results demonstrate the applicability of the proposed mathematical modeling approach to fluid filtration processes in real reservoirs with similar geometric and filtration characteristics.

Keywords: fluid, filtration, multilayered medium, mathematical model, nonlinear filtration, hyperbolic law, curvilinear law, porous medium, initial-boundary value problem, numerical method, iterative method, pressure gradient.

Задача фильтрации флюидов, сохраняющей в себе аномально нелинейные эффекты, является одним из направлений в теории разработки математических моделей. Построением математических моделей для этих задач фильтрации неньютоновских флюидов являются приоритетными направлениями среди исследователей занимающейся научными изучениями по разработки математических моделей. Сильные развития по этой тематике проводены сначала для однослойных пластов при различных вариациях нелинейных эффектов с учетом законов движения флюидов. В дальнейшем по мере разработки увеличение число исследований различных математических моделей и их применение в реальных месторождениях полезных ископаемых, направления моделирования расширилось и стали появляться математические модели и для многопластовых пористых сред [1-4]. В зависимости от пластовых характеристик эти пористые среды могут быть связанными или изолированными. Для неизолированных пластов в случае, когда хорошо проницаемые пласты чередуются плохо проницаемыми, разработаны различные модели перетока между пластами [5-7]. В изолированных пластах, когда движения флюида происходит только по горизонтали, а кровли и подошвы пласта непроницаемые, запасы флюида находится как бы ловушке. Если такие пласты соседствует со слоистыми и в них имеется наличные объемы, то возникает задачи разработки многослойных изолированных пластов. Обычно такие пласты в зависимости от мощности пласта и запаса разрабатывается через отдельно пробуренных скважин соединяющие эти пласты. Поэтому возникают задачи и в научном и в промышленном смысле разработки математических моделей и методов их решения с учетом законов движения этих флюидов. Ввиду того что, пласты изолированные то естественно что в них пластовые и фильтрационные характеристики пласта и флюида а также структурные свойства флюидов могут быть различными. Следовательно надо изучить их, когда пласты сообщаются через совместной скважины, а движения флюидов в них подчиняется различным законам фильтрации. Предположим имеется двух пластовая изолированная среда (области Ω_1 и Ω_2), где нижний пласт (Ω_1) насыщенно флюидом подчиняющему гиперболическому закону, а верхний (область Ω_2) насыщенно флюидом подчиняющим криволинейному [7,8] закону фильтраций. Математическая модель этой физической задачи можно сформулировать так: Необходимо найти непрерывную функцию $U(x,t)$ и $V(x,t)$, а также неизвестная подвижная граница $R(x,t)$ из следующей системы дифференциальных уравнений.

$$\frac{\partial}{\partial x} \frac{k_1 H_1}{\mu_1} \left(\sqrt{\beta_1^2 + (U)^2} - \beta_1 \right) \frac{\partial U}{\partial x} = M_1(x,t) \frac{\partial U}{\partial t}, t \in T, x \in \Omega_1, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \frac{k_2 H_2}{\mu_2} \left(1 - \frac{\gamma_2 \beta_2}{|V|} \right) \frac{\partial V}{\partial x} = M_2(x,t) \frac{\partial V}{\partial t}, t \in T, |V| > \beta_2, x \in (x_0, R(x,t)), \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \frac{k_2 H_2}{\nu_1} \frac{\partial V}{\partial x} = M_2(x,t) \frac{\partial V}{\partial t}, t \in T, |V| < \beta_2, x \in (R(x,t); L_2), \quad (3)$$

С начальными

$$U(x, 0) = U_0(x) = V(x, 0) = V_0(x), R(0, 0) = 0, \quad (4)$$

и граничными условиями

$$\left. \frac{k_2 H_2}{\mu_2} \left(1 - \frac{\gamma_2 \beta_2}{|V|} \right) \frac{\partial V}{\partial x} \right|_{x=R(t)-0} = \left. \frac{k_2 H_2}{\nu_1} \frac{\partial V}{\partial x} \right|_{x=R(t)+0}, \quad (5)$$

$$V(x, t)|_{x=R(t)-0} = V(x, t)|_{x=R(T)+0}, \quad (6)$$

$$\frac{k_1 H_1}{\mu_1} \left(\sqrt{\beta_1^2 + (U)^2} - \beta_1 \right) \frac{dU}{dx} \Big|_{x=x_0} + \frac{k_2 H_2}{\mu_2} \left(1 - \frac{\gamma_2 \beta_2}{|V|} \right) \frac{\partial V}{\partial x} \Big|_{x=x_0} = \varphi_0(t), \quad (7)$$

$$b_1 \frac{dV}{dx} \Big|_{x=L_2} = 0, \quad (8)$$

Задача (1)-(8) является нелинейной начально-краевой задачей. Здесь $k_1, \mu_1, k_2, \mu_2, \nu_1, \beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2, H_1, H_2$ -параметры пласта и флюидов выражающей проницаемости, динамической и кинематической вязкости флюида а также мощности пластов[1,3,6]. Функции $M_1(x, t)$, $M_2(x, t)$ связаны с пористостью среды и типами флюида, и имеют свои аналитические представления. $U_0(x)$, $V_0(x)$ -начальные значения флюида. β_1, β_2 –значения критических градиентов давления, b_1 -параметр балансирующий размерность уравнений, $\Omega_1 = \{x : x_0 \leq x \leq L_1\}$, $\Omega_2 = \{x : x_0 \leq x \leq L_2\}$

Ввиду отсутствия точного аналитического решения задачи (1)-(8), используется численные методы [6,9]. Численные алгоритмы решения этой задачи построены с использованием методы итерации, челночных итераций, метод прямых по t и потоковый вариант [6-9] метода разностной прогонки. Взаимное влияние возмущений флюидов в пластах после начала разработки учитывается через условий (8) по методу смены стационарных состояний.

Численные алгоритмы решения задачи апробированы с использованием гипотетических тестовых данных. Анализ результатов позволяет сделать вывод о применимости данного метода моделирования для конкретных месторождений флюидов, имеющие такие же геометрические характеристики как в постановке задачи.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Гусейнзада М.А., Колосовская А.К. Упругий режим в однородных пластах и многопластовых системах. М.: Недра, 1972. -452 с.
- [2] Аббасов М.Т., Кулиев А.М. Методы гидродинамических расчетов разработки многопластовых месторождений нефти и газа. Баку: ЭЛМ, 1976. -278 с.
- [3] Мухидинов Н. Методы расчета показателей разработки многопластовых месторождений нефти и газа. Ташкент: ФАН, 1978. -116 с.
- [4] Sh. Kayumov, G. Arzikulov, Sh. Bekchanov, Sh. Ziyadullayeva, A multiparameter mathematical model for nonlinear filtration in two-layer media. *Journal of Physics: Conference Series*, 2697 (2024), 012042.

[5] Kayumov Sh., Mardanov A.P., Tuychiyeva S.T., Kayumov A.B. Mathematical modeling of structured and Newtonian fluids in associated layer, E3S Web Conferences 401, 01086 (2023) V International Scientific Conference: <https://doi.org/10.1051/e3conf/202340101086>.

[6] Каюмов Ш. Математическое моделирование задач теории фильтрации нелинейных флюидов. Монография. Lambert Academic Publishing, 2024.-316с.

[7] Каюмов Ш. Численное моделирование задачи фильтрации вязко-пластических флюидов при различных законах движения// Численные методы решения задач фильтрации многофазной несжимаемой жидкости. Новосибирск: ИТПМ СОАН СССР, 1987. -с.139-145.

[8] Каюмов Ш. Приближенно-аналитические методы решения задач теории фильтрации вязкопластических флюидов. Тошкент: ФАН, 1991. -156 с.

[9] Samarski A.A. The Theory of Difference Schemes. New York - Basel: Marcel Denker. Inc. 2001-761p.

MAGNIT YARIMO‘TKAZGICHLAR VA SPINTRONIKANING TEXNOLOGIK YUTUQLARI

Mamadaliyeva N.Z.

Qo‘qon DU v.b.professori, PhD.

Annotatsiya. Magnit yarimo‘tkazgichlarning fizik xususiyatlarini, spintronikadagi rolini hamda ushbu materiallar asosida yaratilgan qurilmalarning ishlash mexanizmlarini ilmiy-nazariy va ilmiy-ommabop jihatdan yoritishdir. Magnit yarimo‘tkazgichlarning (xususan, GaMnAs) magnit xossalari teshiklar konsentratsiyasi, Mn kontsentratsiyasi va defektlar tarkibiga bog‘liqligi batafsil tahlil qilingan.

Kalit so‘zlar: magnit yarimo‘tkazgichlar, spintronika, GaMnAs, magnit tunnel o‘tish (MTJ), tunnel magnit qarshilik (TMR), spin-transfer torque (STT).

Аннотация. Освещение физических свойств магнитных полупроводников, их роли в спинтронике, а также механизмов функционирования устройств, созданных на основе этих материалов, с научно-теоретической и научно-популярной точек зрения. Подробно проанализирована зависимость магнитных свойств магнитных полупроводников (в частности, GaMnAs) от концентрации дырок, концентрации Mn и состава дефектов.

Ключевые слова: магнитные полупроводники, спинтроника, GaMnAs, магнитный туннельный переход (MTJ), туннельное магнитосопротивление (TMR), spin-transfer torque (STT).

Abstract. The aim is to provide a scientific-theoretical and popular-science overview of the physical properties of magnetic semiconductors, their role in spintronics, and the operating mechanisms of devices based on these materials. The dependence of the magnetic properties of magnetic semiconductors, particularly GaMnAs, on hole concentration, Mn concentration, and defect composition is analyzed in detail.

Keywords: magnetic semiconductors, spintronics, GaMnAs, magnetic tunnel junction (MTJ), tunnel magnetoresistance (TMR), spin-transfer torque (STT).

Yarimo‘tkazgichlar fizikasining rivojlanishi so‘nggi yillarda elektronikaning yangi spintronika yo‘nalishini vujudga keltirdi. An‘anaviy elektronika zaryad tashuvchilarning elektr maydonidagi harakatiga asoslangan bo‘lsa, spintronika elektronning zaryadidan tashqari uning spin kvant xususiyatidan ham foydalanadi. Magnit yarimo‘tkazgichlar esa bu sohaning asosiy materiallari bo‘lib, ular yarimo‘tkazgichlarning elektr xususiyatlarini magnit materiallarning xotira va axborotni saqlash imkoniyatlari bilan birlashtiradi.

Magnit yarimo‘tkazgichlar odatda ikki asosiy turga bo‘linadi :

1. Xususiy (intrinsic) magnit yarimo'tkazgichlar- o'z tabiatiga ko'ra magnit xususiyatga ega bo'lgan birikmalar.

2. Suyultirilgan (dilute) magnit yarimo'tkazgichlar (DMS)- asosiy yarimo'tkazgich materialga o'tish metallari (masalan, Mn, Co, Fe) yoki nodir yer metallarining kichik miqdori (odatda 1-5%) qo'shilgan materiallar.

Suyultirilgan magnit yarimo'tkazgichlar alohida qiziqish uyg'otadi, chunki ular mavjud yarimo'tkazgich texnologiyalariga integratsiya qilish imkonini beradi. Xususan, dietl va uning hamkorlari tomonidan ishlab chiqilgan nazariy modelga ko'ra, p-tipli yarimo'tkazgichlarga Mn ionlari qo'shilganda yuqori Kyuri haroratiga ega ferromagnit holat hosil bo'lishi mumkin .

Galliy arsenidga (GaAs) marganets (Mn) qo'shib olingan $Ga_{1-x}Mn_xAs$ materiali magnit yarimo'tkazgichlar ichida eng ko'p o'rganilgan namunadir. Bu materialda Mn atomlari Ga o'rnini egallab, teshik (hole) hosil qiladi va ferromagnit tartibni vujudga keltiradi .

GaMnAs ning magnit xossalari bir qancha muhim omillarga bog'liq :

- Teshiklar konsentratsiyasi- magnit tartib harorati (T_c) teshiklar zichligi ortishi bilan oshadi

- Mn konsentratsiyasi- optimal Mn miqdori ~5% atrofida bo'lib, undan oshganda magnit xususiyatlar yomonlashadi

- Defektlar- As antisit defektlari va Mn interstitsial defektlari ferromagnit xususiyatlarni susaytiradi

Past haroratli molekulyar nurli epitaksiya (MBE) usulida o'stirilgan GaMnAs namunalarida defektlar muammosi ayniqsa dolzarbdir. Qayta ishlash (annealing) jarayonlari orqali bu defektlarni kamaytirish va magnit xususiyatlarni yaxshilash mumkin .

Spintronik qurilmalarning asosiy elementlaridan biri magnit tunnel o'tish (MTJ) strukturasidir. Bu struktura ikkita ferromagnit qatlam orasida yupqa izolyator (masalan, MgO) qatlamdan iborat. Qatlamlar magnitlanish yo'nalishlariga ko'ra parallel yoki antiparallel holatda bo'lishi mumkin .

Spintronik xotira qurilmalarida magnitlanishni boshqarishning ikkita asosiy mexanizmi mavjud :

1. Spin-transfer torque (STT)- spin-polarizatsiyalangan tok orqali magnit qatlamning magnitlanish yo'nalishini o'zgartirish.

2. Spin-orbit torque (SOT)- og'ir metallar (masalan, Pt, Ta) bilan chegarada spin-orbit o'zaro ta'sir orqali magnitlanishni boshqarish.

SOT-MRAM texnologiyasi 2 ns dan kam kommutatsiya tezligi va 0.1 pJ/bit energiya sarfi bilan yuqori samaradorlikni namoyish etadi .

Magnit yarimo'tkazgichlarning asosiy vazifalaridan biri — yarimo'tkazgich kanaliga spin-polarizatsiyalangan tokni injeksiya qilishdir. Biroq, ferromagnit metall va yarimo'tkazgich orasidagi o'tkazuvchanlik nomutanosibli ($\sigma_F \gg \sigma_{SC}$) spin injeksiyasi samaradorligini cheklaydi .

Injeksiya samaradorligi quyidagi formula bilan aniqlanadi :

$$P = \frac{P_0}{1 + (1 - P_0^2) \frac{\sigma_F \lambda_{SC}}{\sigma_{SC} \lambda_F}}$$

bu yerda P_0 — ferromagnitdagi spin polarizatsiyasi, σ_F va σ_{SC} — mos ravishda ferromagnit va yarimo'tkazgich o'tkazuvchanliklari, λ_F va λ_{SC} — spin relaksatsiya uzunliklari.

Bu muammoni hal qilish uchun:

- Yuqori spin polarizatsiyali materiallar (masalan, yarim-metallik Heusler birikmalari) ishlab chiqilmoqda

- Ferromagnit/yupqa izolyator/yarimo'tkazgich strukturalari qo'llanilmoqda

- Magnit yarimo'tkazgichlarning o'zi ham spin manbai sifatida ishlatilmoqda

Ferromagnit metall va yarimo'tkazgichli geterostrukturalar spintronik qurilmalarning asosini tashkil qiladi. Datta-Das tranzistori - spin-FETning nazariy modeli bo'lib, unda ferromagnit kontaktlar orqali spin-polarizatsiyalangan tok 2D elektron gazli kanalga injeksiya qilinadi va gate kuchlanishi orqali spin pretsessiyasi boshqariladi.

Bu qurilmada:

- Ferromagnit kontaktlar spin injektor va detektor vazifasini bajaradi

- Yarimo'tkazgich kanalda spin transporti amalga oshiriladi

- Rashba maydoni orqali spin pretsessiyasi boshqariladi

Magnit yarimo'tkazgichlar va spintronika zamonaviy elektronikaning eng istiqbolli yo'nalishlaridan biridir. Ular an'anaviy yarimo'tkazgich texnologiyalarining afzalliklarini magnit materiallarning xotira va axborotni saqlash imkoniyatlari bilan birlashtiradi. GaMnAs kabi suyultirilgan magnit yarimo'tkazgichlar, shuningdek, MTJ va SOT/STT kabi mexanizmlar spintronik qurilmalarning asosini tashkil qiladi. Skymion xotira, neyromorf va kvant hisoblash kabi sohalardagi yutuqlar spintronikaning kelajakda axborot texnologiyalarida muhim rol o'ynashini ko'rsatmoqda. Shu bilan birga, ushbu fanning ta'lim tizimiga joriy etilishi interaktiv va innovatsion o'qitish usullari orqali mutaxassislar tayyorlash sifatini oshiradi, ularni zamonaviy ilmfan va texnologiya talablariga moslashtiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Sharipova, R., Yuldashev, Sh., & Botirova, N. (2025). Scientific and technological importance of the discipline "Magnetic semiconductors and spintronics" and its future prospects. *Higher education: traditions, values, perspectives*, Vol.2, 279-286. Chişinău: CEP UPS „I.Creangă”.

[2] Sharipova, R., Murodov, J., Yuldashev, Sh., Botirova, N., Arslonov, A., & Xudoyqulov, J. Improving lesson effectiveness in teaching "Magnetic Semiconductors and Spintronics" through the use of Mentimeter interactive technology. O'zbekiston Milliy universiteti ACTA NUUZ jurnali.

[3] Bandyopadhyay, S., & Cahay, M. (2015). *Introduction to Spintronics, Second Edition*. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis Group.

INTERFERENSIYA MAVZUSINI O'QITISHDA INTERFAOL METODLARDAN FOYDALANISH

Mamatov Z.U.

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti "Tabiiy va muhandislik fanlar" kafedrasi dotsenti.

Annotatsiya. Mazkur maqolada umumta'lim maktablari va o'rta maxsus ta'lim muassasalarida fizika fanining muhim bo'limlaridan biri hisoblangan interferensiya mavzusini o'qitishda interfaol metodlardan foydalanish masalalari yoritilgan. Interfaol metodlarning o'quvchilarning bilish faolligini oshirish, mustaqil fikrlashini rivojlantirish va nazariy bilimlarni amaliyot bilan bog'lashdagi ahamiyati tahlil qilingan. Maqolada interferensiya mavzusini o'qitishda qo'llaniladigan samarali interfaol metodlar, ularning dars jarayonidagi o'rni va pedagogik natijalari asoslab berilgan.

Kalit so'zlar: interferensiya, yorug'lik to'lqinlari, interfaol metodlar, fizika ta'limi, zamonaviy pedagogik texnologiyalar.

Аннотация. В данной статье рассматривается использование интерактивных методов в преподавании темы интерференции, которая считается одним из важных разделов физики в средних школах и специализированных средних учебных заведениях. Анализируется важность интерактивных методов в повышении познавательной активности учащихся, развитии самостоятельного мышления и установлении связи между теоретическими знаниями и практикой. В статье обосновываются эффективные интерактивные методы, используемые в преподавании темы интерференции, их роль в учебном процессе и педагогические результаты.

Ключевые слова: интерференция, световые волны, интерактивные методы, преподавание физики, современные педагогические технологии.

Abstract. This article examines the use of interactive methods in teaching the topic of interference, which is considered a key section of physics in secondary schools and specialized secondary educational institutions. It analyzes the importance of interactive methods in enhancing students' cognitive engagement, fostering independent thinking, and bridging the gap between theoretical knowledge and practical application. The article discusses effective interactive methods employed in teaching interference, their role in the educational process, and the resulting pedagogical outcomes.

Keywords: interference, light waves, interactive methods, physics teaching, modern pedagogical technologies.

KIRISH

Bugungi kunda ta'lim tizimida amalga oshirilayotgan islohotlar ta'lim sifati va samaradorligini oshirishga qaratilgan bo'lib, bunda o'qitishning zamonaviy pedagogik texnologiyalari va interfaol metodlardan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi. Ayniqsa, fizika fanini o'qitishda o'quvchilarning faolligini oshirish, ularni mustaqil fikrlashga o'rgatish va bilimlarni chuqur o'zlashtirishga erishish dolzarb vazifalardan biridir.

Fizika fanida yorug'likning to'liq xossalari oid mavzular, xususan, interferensiya mavzusi talabalar tomonidan o'zlashtirilishi qiyin bo'lgan mavzulardan hisoblanadi. Chunki bu mavzu mavhum tushunchalar, matematik ifodalar va tajribaviy hodisalar bilan bevosita bog'liqdir. Shu sababli interferensiya mavzusini an'anaviy ma'ruza usulida o'qitish ko'pincha kutilgan natijani bermaydi. Ushbu muammoni hal etishda interfaol metodlardan foydalanish samarali vosita hisoblanadi.

MATERIALLAR VA USULLAR

Interferensiya hodisasi bir xil chastotali va fazalar farqi doimiy bo'lgan to'liqlarning qo'shilishi natijasida ayrim nuqtalarda intensivlikning kuchayishi, ayrim nuqtalarda esa so'nishi bilan tavsiflanadi. Yorug'lik interferensiyasi hodisasi ilm-fan taraqqiyotida muhim o'rin tutib, Yung tajribasi, yupqa pardalarda interferensiya kabi klassik tajribalar orqali isbotlangan.

Mazkur mavzuni o'rganishda o'quvchilarda quyidagi qiyinchiliklar kuzatiladi:

- to'liqlarning qo'shilish jarayonini tasavvur qila olmaslik;
- fazalar farqi tushunchasini anglashdagi muammolar;
- formulalarning fizik mazmunini tushunmasdan yodlashga moyillik.

Ushbu muammolarni bartaraf etishda interfaol metodlar muhim ahamiyat kasb etadi.

Interfaol metodlarning ta'lim jarayonidagi o'rni

Interfaol metodlar — bu o'qituvchi va talaba o'rtasidagi hamkorlikka asoslangan, talabani ta'lim jarayonining faol ishtirokchisiga aylantiruvchi usullardir. Bunday metodlar:

- o'quvchilarning muloqot madaniyatini rivojlantiradi;
- mustaqil va tanqidiy fikrlashni shakllantiradi;
- bilimlarni chuqur va ongli o'zlashtirishga yordam beradi.

Interferensiya mavzusini o'qitishda interfaol metodlardan foydalanish o'quvchilarning abstrakt tushunchalarni vizual va mantiqiy jihatdan tushunishiga imkon yaratadi.

Interferensiya mavzusini o'qitishda qo'llaniladigan interfaol metodlar

“Aqliy hujum” metodi

Mazkur metod darsning kirish qismida qo'llanilib, talabalarning avvalgi bilimlarini faollashtirishga xizmat qiladi. O'qituvchi quyidagi savollarni beradi:

Yorug'lik to'lqin xususiyatiga egami?

Ikki yorug'lik to'lqini bir nuqtada uchrashsa nima sodir bo'ladi?

Talabalarning javoblari tahlil qilinib, yangi mavzuga asos yaratiladi.

“Klaster” metodi

Bu metod interferensiya mavzusini tizimli o'rganishga yordam beradi. Markazga “Interferensiya” tushunchasi yozilib, unga bog'liq bo'lgan “koherent manbalar”, “maksimum”, “minimum”, “faza farqi” kabi tushunchalar tarmoqlar orqali ifodalanadi.

Kichik guruhlarda ishlash metodi

Talabalar kichik guruhlariga bo'linadi va har bir guruhga alohida topshiriq beriladi:

Yung tajribasining mohiyatini tushuntirish;

interferensiya shartlarini izohlash;

interferensiyaning texnikadagi qo'llanilishini tahlil qilish.

Bu metod talabalarning jamoada ishlash va fikrini asoslab berish ko'nikmalarini rivojlantiradi.

“Insert” metodi

Talabalar matn bilan ishlash jarayonida o'z bilimlarini baholaydilar. Bu metod talabalarning o'z-o'zini nazorat qilish qobiliyatini shakllantiradi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Interferensiya mavzusini o'qitishda interfaol metodlardan foydalanish o'quvchilarning fizik hodisalarni nazariy jihatdan tushunishi bilan bir qatorda, ularni tajriba va amaliy faoliyat orqali o'zlashtirishiga ham ijobiy ta'sir ko'rsatdi. Dars jarayonida “Aqliy hujum”, “Klaster”, “Kichik guruhlarda ishlash” va “Insert” kabi interfaol metodlardan foydalanish talabalarning darsdagi faolligini oshirishga xizmat qildi.

Tajriba-sinov jarayonida interferensiya hodisasining mohiyatini tushuntirishda an'anaviy yondashuv bilan bir qatorda interfaol metodlardan foydalanish talabalarning mavzuni o'zlashtirish darajasiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi kuzatildi. Xususan, talabalarga yorug'lik interferensiyasining yuzaga kelish shartlari, kogerent to'lqinlar, interferensiya maksimumi va minimumi, yorug'likning kuchayishi va susayishi kabi tushunchalarni mustaqil tahlil qilish imkoniyati berildi.

“Aqliy hujum” metodidan foydalanish orqali darsning dastlabki bosqichida o'quvchilarning mavjud bilimlari aniqlanib, interferensiya hodisasiga oid boshlang'ich tasavvurlari faollashtirildi. Talabalarga “Nima sababdan yorug'lik to'lqinlari bir-birini kuchaytirishi yoki susaytirishi mumkin?”, “Ikki yorug'lik to'lqini uchrashganda qanday hodisa yuz beradi?” kabi muammoli

savollar berildi. Ushbu yondashuv talabalarda mavzuga qiziqish uyg'otib, yangi bilimlarni o'zlashtirishga psixologik tayyorgarlikni kuchaytirdi.

“Klaster” metodidan foydalanish natijasida interferensiya tushunchasi bilan bog'liq asosiy fizik atamalar o'rtasidagi aloqalarni tizimlashtirish imkoniyati yaratildi. Talabalar kogerent manbalar, fazalar farqi, interferensiya maksimumi, interferensiya minimumi, optik yo'l farqi kabi tushunchalarni o'zaro bog'lab, mavzuning mantiqiy tuzilishini yaxshiroq angladilar. Bu esa abstrakt fizik tushunchalarni tizimli ravishda o'zlashtirishga yordam berdi.

Guruhlar bilan ishlash jarayonida talabalar o'rtasida hamkorlik, fikr almashish va o'z nuqtayi nazarini asoslash ko'nikmalari rivojlandi. Har bir guruhga interferensiyaning turli jihatlari bo'yicha topshiriqlar berilib, ularni mustaqil tahlil qilish va natijalarni taqdim etish talab qilindi. Bunday faoliyat talabalarning nafaqat fanga oid bilimlarini, balki kommunikativ va ijtimoiy kompetensiyalarini ham rivojlantirdi.

Interfaol metodlarning yana bir muhim natijasi talabalarning darsga bo'lgan qiziqishi va motivatsiyasining oshishidir. An'anaviy ma'ruza shaklidagi darsga nisbatan muammoli savollar, guruhli topshiriqlar, tajribalar va munozaralardan foydalanilgan mashg'ulotlarda o'quvchilarning faol ishtiroki yuqori bo'ldi.

XULOSA

“Interferensiya mavzusini o'qitishda interfaol metodlardan foydalanish” mavzusini o'rganish natijasida shunday xulosaga kelish mumkinki, zamonaviy ta'lim jarayonida talabalarning faolligini oshirish, mustaqil fikrlash va amaliy ko'nikmalarini shakllantirishda interfaol metodlardan foydalanish muhim ahamiyatga ega.

Tadqiqot davomida interfaol metodlardan foydalanish talabalarning interferensiya hodisasining fizik mohiyatini tushunishi, kogerent to'lqinlar, interferensiya maksimumi va minimumi, optik yo'l farqi kabi asosiy tushunchalarni o'zlashtirishi hamda tegishli fizik masalalarni yechish ko'nikmalarini rivojlantirishga ijobiy ta'sir ko'rsatishi aniqlandi.

Shuningdek, guruhli va muammoli topshiriqlardan foydalanish talabalarda hamkorlikda ishlash, muloqot qilish, tahlil qilish, muammoni aniqlash va unga yechim topish kabi kompetensiyalarni shakllantirishga xizmat qiladi.

Umuman olganda, interferensiya mavzusini o'qitishda interfaol metodlardan foydalanish ta'lim samaradorligini oshirishning muhim vositalaridan biridir. Bunday yondashuv talabalarni dars jarayonining faol ishtirokchisiga aylantiradi, ularning fanga bo'lgan qiziqishini oshiradi hamda nazariy bilimlarni amaliy faoliyat bilan bog'lash imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Toal, V., Mihaylova, E. M. Double-Glazing Interferometry. — The Physics Teacher, 47(5), 295–296, 2009.
- [2] Soliyev A, Qurbonov A. Interfaol metodlar asosida dars o'tish yo'llari, Samarqand. 2021.
- [3] Azizxo'jayeva N.N. Pedagogik texnologiyalar va pedagogik mahorat. Toshkent. 2020.
- [4] Jalolov J. Fizika ta'limida innovatsion metodlar. - Toshkent, 2019.
- [5] Sh. Yo'ldoshev. Interaktiv ta'lim texnologiyalari va ularni qo'llash yo'llari. - Toshkent, 2021.

NUMERICAL SIMULATION AND PHASE-SPACE VISUALIZATION OF NONLINEAR OSCILLATORY SYSTEMS VIA THE FOURTH-ORDER RUNGE-KUTTA ALGORITHM IN PYTHON

Eshboltayev Iqbol Mamirjonovich^{1,*}, Meliqo'ziyev Dadaqo'zi Jo'raqo'ziyevich¹, Muratova Zulxumor¹, Eshboltayev Ikromjon Iqbol o'g'li¹, Abdumalikov Sardor Salimboy o'g'li²

¹Kokand State University, 23 Turon Street, Qo'qon 150700, Uzbekistan

²Uzbekistan National Pedagogical University, Tashkent, Uzbekistan

*e-mail: 998911558383a@gmail.com, dadaxon.xadjaev@gmail.com,

zulxumormuratova1990@gmail.com, i7259442@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu ilmiy maqolada nochiziqli dinamik tizimlarda yuzaga keladigan murakkab tebranishlar va xaos hodisalari matematik modellash tirish hamda dasturiy tahlil orqali tadqiq etiladi. Asosiy obyekt sifatida kuchli nochiziqlikka ega bo'lgan Dyuffing osillatorining majburiy va so'nuvchi tebranishlari tanlab olingan. Tizimning harakat tenglamalari to'rtinchi tartibli Runge-Kutta (RK4) sonli integrallash usuli asosida diskretlashtirilib, Python dasturlash tili muhitida maxsus algoritm ishlab chiqilgan. Nazariy hisob-kitoblar asosida tizimning fazoviy portreti, attraktorlari va harakat traektoriyalarining boshlang'ich shartlarga o'ta sezgirligi fazoviy fazoda modellash tirildi. Olingan natijalar garmonik tebranishlardan xaos holatga o'tish mexanizmini yaqqol tasdiqlaydi. Taklif etilgan dasturiy ta'minot murakkab fizik jarayonlarni tahlil qilish, muhandislik konstruksiyalarida dinamik barqarorlikni ta'minlash hamda zamonaviy amaliy matematika darslarida samarali vosita sifatida xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: nochiziqli tebranishlar, Dyuffing osillatori, Runge-Kutta usuli, fazoviy fazo, xaos dinamikasi, fazoviy portret, Python.

Аннотация. В данной исследовательской работе изучаются сложные колебания и феномен детерминированного хаоса в нелинейных динамических системах с использованием методов математического моделирования и численного анализа. В качестве базового физического объекта выбран осциллятор Дюффинга, описывающий вынужденные затухающие колебания с кубической нелинейностью. Дифференциальные уравнения движения дискретизированы с помощью классического численного метода Рунге-Кутты 4-го порядка (RK4), реализованного в среде программирования Python. На основе вычислительного эксперимента построены фазовые траектории, странные аттракторы и временные ряды, наглядно демонстрирующие высокую чувствительность системы к малым вариациям начальных условий. Полученные результаты позволяют отследить процесс бифуркации и перехода от регулярных периодических колебаний к хаотическому режиму. Разработанный вычислительный модуль имеет высокую практическую ценность для анализа устойчивости инженерных конструкций и моделирования механических систем.

Ключевые слова: нелинейные колебания, осциллятор Дюффинга, метод Рунге-Кутты, фазовое пространство, динамический хаос, фазовый портрет, Python.

Abstract. This paper presents a rigorous computational study of nonlinear oscillatory behavior and deterministic chaos within physical systems using mathematical modeling and Python-based visualization. The classical Duffing oscillator subjected to external periodic forcing and damping is selected as a benchmark nonlinear paradigm. The second-order nonlinear differential equation governing the system is decomposed into a system of autonomous first-order ordinary differential equations and solved via the classical fourth-order Runge-Kutta (RK4) numerical integration technique. Through systematic computational experimentation, time-series coordinates and corresponding phase-space trajectories (phase portraits) are constructed. The qualitative transitions from regular periodic limit cycles to complex chaotic strange attractors are demonstrated alongside extreme sensitivity to initial conditions. The algorithmic implementation

developed in Python provides an effective, highly accurate tool for simulating complex mechanical, electrical, and structural systems characterized by intrinsic nonlinearities.

Keywords: nonlinear oscillations, Duffing oscillator, Runge-Kutta method, phase space, chaotic dynamics, strange attractor, Python.

1. INTRODUCTION

The investigation of nonlinear oscillatory phenomena constitutes a foundational domain bridging classical mechanics, theoretical physics, and applied mathematics. While idealized linear physical systems obey Hooke's law:

$$F_{\text{linear}} = -kx \quad (1)$$

and satisfy the principle of superposition to generate predictable, closed-form analytical trajectories:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0 \implies x(t) = A \cos(\omega_0 t + \phi) \quad (2)$$

real-world physical and engineering architectures fundamentally incorporate non-ideal restoring forces characterized by power-series nonlinear expansions [1, 2]:

$$F_{\text{restoring}}(x) = -(ax + \beta x^3) \quad (3)$$

where $\beta > 0$ models hardening elastic stiffness and $\beta < 0$ denotes softening dynamics. Such non-ideal characteristics inevitably induce structural friction and external harmonic perturbations, prompting complex qualitative phenomena including bifurcations, multi-stability, subharmonic resonances, and deterministic chaos.

Among the canonical benchmarks representing cubic nonlinear behavior is the Duffing equation, originally formulated to describe the elasticity of iron beams and hardening spring dynamics [3]. Because closed-form analytic solutions for driven nonlinear systems are rarely derivable, high-order numerical integration methodologies become indispensable. The classical fourth-order Runge-Kutta (RK4) algorithm remains one of the most reliable and widely adopted explicit schemes due to its bounded local truncation error:

$$\tau_{n+1} = O(h^5) \quad (4)$$

which yields an accumulated global error of $O(h^4)$ alongside exceptional numerical stability across continuous integration intervals [4, 5].

The primary objective of this study is to formulate a robust mathematical model of driven nonlinear oscillators, discretize the underlying dynamical system utilizing the RK4 numerical scheme, and execute computational simulations via Python to visualize phase-space trajectories and chaotic attractors.

2. MATERIALS AND METHODS

Consider a driven, damped oscillator governed by a cubic nonlinear restoring potential, characterized by the generalized non-autonomous Duffing differential equation:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \delta \frac{dx}{dt} + ax + \beta x^3 = \gamma \cos(\omega t) \quad (5)$$

where $x(t)$ represents the generalized displacement coordinate, $\delta \geq 0$ is the viscous damping coefficient, α designates the linear stiffness parameter, β dictates the magnitude of cubic nonlinearity, and γ and ω denote the amplitude and angular frequency of the external periodic driving force, respectively.

To apply numerical integration schemes, Eq. (5) is decomposed into two coupled first-order ordinary differential equations by introducing the velocity coordinate $v(t)=dx/dt$:

$$\frac{dx}{dt}=v \quad (6)$$

$$\frac{dv}{dt}=-\delta v-\alpha x-\beta x^3+\gamma \cos(\omega t) \quad (7)$$

Let the state vector be designated as $\mathbf{Y}(t)=[x(t),v(t)]^T$ with dynamic derivative vector $\mathbf{F}(t,\mathbf{Y})=[dx/dt,dv/dt]^T$. Discretizing the continuous temporal continuum into uniform discrete intervals with step size $h=t_{n+1}-t_n$, the state vector advances via the classical Runge-Kutta scheme:

$$\mathbf{Y}_{n+1}=\mathbf{Y}_n+\frac{h}{6}(\mathbf{k}_1+2\mathbf{k}_2+2\mathbf{k}_3+\mathbf{k}_4) \quad (8)$$

where the intermediate slopes are evaluated as:

$$\mathbf{k}_1=\mathbf{F}(t_n,\mathbf{Y}_n) \quad (9)$$

$$\mathbf{k}_2=\mathbf{F}\left(t_n+\frac{h}{2},\mathbf{Y}_n+\frac{h}{2}\mathbf{k}_1\right) \quad (10)$$

$$\mathbf{k}_3=\mathbf{F}\left(t_n+\frac{h}{2},\mathbf{Y}_n+\frac{h}{2}\mathbf{k}_2\right) \quad (11)$$

$$\mathbf{k}_4=\mathbf{F}(t_n+h,\mathbf{Y}_n+h\mathbf{k}_3) \quad (12)$$

The computational pipeline was written in Python 3 utilizing standard numerical libraries: numpy for vector array operations and matplotlib.pyplot for rendering graphical outputs.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this section, the numerical implementation of the system is conducted under two distinct dynamical regimes: (i) the regular, stable limit-cycle oscillation regime, and (ii) the chaotic regime exhibiting a strange attractor.

Simulation 1: Numerical Algorithm and Phase Portrait of Stable Limit Cycle

To evaluate regular oscillatory dynamics, parameters were designated as $\alpha=1.0$, $\beta=1.0$, $\delta=0.2$, $\gamma=0.3$, and $\omega=1.0$ with initial conditions $x_0=1.0, v_0=0.0$. The Python script below performs the integration and generates the corresponding phase plane portrait.

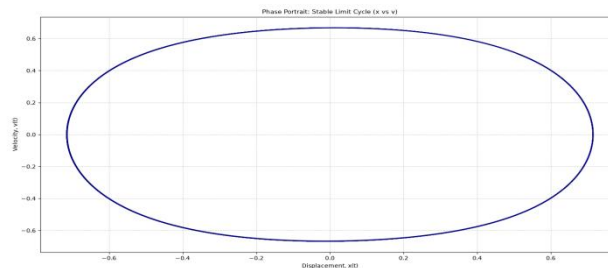


Fig. 1. Phase portrait of the Duffing oscillator in the stable limit cycle regime.

Interpretation of Result 1: In the regular regime, as transient behaviors decay due to the damping term δ , the trajectory in (x,v) phase space converges toward a closed, isolated loop known as a stable limit cycle. This behavior reflects asymptotic periodicity wherein energy dissipation is precisely replenished by external excitation over one period $T=2\pi/\omega$.

Simulation 2: Emergence of Chaos and Strange Attractor

By altering the potential well structure and driving amplitude to classic chaotic parameters ($\alpha=-1.0$, $\beta=1.0$, $\delta=0.3$, $\gamma=0.5$, $\omega=1.2$), the system enters a double-well potential characterized by two unstable foci and a central saddle point.

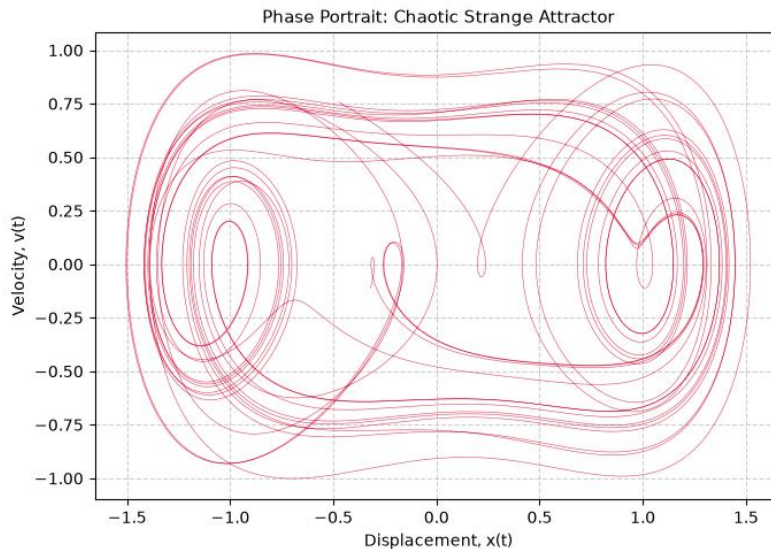


Fig. 2. Phase portrait displaying the chaotic strange attractor with double-well potential transitions.

Interpretation of Result 2: In the chaotic configuration, the system never settles into a closed orbit or static equilibrium. The continuous intertwining and folding of orbital curves produce a bounded fractal manifold known as a strange attractor. The trajectory oscillates unpredictably between the two potential wells, demonstrating extreme sensitivity to initial conditions.

4. CONCLUSION

In this research, the dynamics of nonlinear oscillatory systems were analyzed through mathematical modeling, the Runge-Kutta fourth-order numerical method, and Python programming. The classical Duffing oscillator served as an exemplary framework illustrating non-trivial dynamic behavior. The computational experiments confirmed that increasing driving amplitude under negative linear stiffness transitions the system from orderly, periodic limit cycles into deterministic chaos characterized by strange attractors.

The developed numerical algorithms demonstrate high stability and rapid convergence with manageable time steps ($h \leq 0.01$). This methodology provides a direct foundation for investigating structural resonance, aeroelastic flutter, and nonlinear energy harvesting mechanisms in contemporary engineering and physics research.

REFERENCES:

- [1] Strogatz, S. H. *Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering*. — Boca Raton: CRC Press, 2018. — 532 p.
- [2] Nayfeh, A. H., Mook, D. T. *Nonlinear Oscillations*. — New York: John Wiley & Sons, 2008. — 720 p.
- [3] Guckenheimer, J., Holmes, P. *Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems, and Bifurcations of Vector Fields*. — New York: Springer Science & Business Media, 2013. — 459 p.

[5] Butcher, J. C. Numerical Methods for Ordinary Differential Equations. — Chichester: John Wiley & Sons, 2016. — 538 p.

[6] Hairer, E., Nørsett, S. P., Wanner, G. Solving Ordinary Differential Equations I: Nonstiff Problems. — Berlin: Springer-Verlag, 1993. — 528 p.

[7] Kovacic, I., Brennan, M. J. The Duffing Equation: Nonlinear Oscillators and their Behaviour. — Chichester: John Wiley & Sons, 2011. — 392 p.

[8] Lorenz, E. N. Deterministic Nonperiodic Flow // Journal of the Atmospheric Sciences. — 1963. — Vol. 20, No. 2. — P. 130–141.

TO‘G‘RI BURCHAKLI KVANT IPDAGI ZARRACHANING TO‘LQIN FUNKSIYASI VA ENERGETIK HOLATLARI

Xujanova Dilafro‘z Shakarbekovna,

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti Samarqand kampusi

“Tabiiy va muhandislik fanlari” kafedrası dotsenti (PhD)

xujanova1980@gmail.com

Annotatsiya. *To‘g‘ri burchakli shakldagi kvant ipdagi zarrachaning to‘lqin funksiyasi va energetik holatlari hisoblangan. Elektron va kovak uchun alohida hisoblashlar olib borilgan. Shredinger tenglamasini mos ravishda chegaraviy shartlar yordamida yechib, c va v zonalaridagi elektronning to‘lqin funksiyasi uchun mos ravishda ifodalar olingan. Hisob-kitoblarni amalga oshirish uchun zarur bo‘lgan ifodalar keltirilgan. Effektiv massa yaqinlashishidan foydalanib hamda parabolik dispersiyali oddiy o‘tkazuvchanlik va valent zonalarini ko‘rib chiqilgan.*

Kalit so‘zlar: yarimo‘tkazgichlar, dielektrik, zona, elektron, kovak, energiya, to‘lqin funksiyasi, effektiv massa.

Аннотация. *Были рассчитаны волновая функция и энергетические состояния частицы в прямоугольной квантовой струне. Были проведены отдельные расчеты для электрона и дырки. Уравнение Шрёдингера было решено с использованием соответствующих граничных условий, и были получены соответствующие выражения для волновой функции электрона в c- и v-зонах.*

Ключевые слова: полупроводники, диэлектрик, зона, электрон, дырка, энергия, поглощение волн, эффективная масса.

Abstract. *The wave function and energy states of a particle in a rectangular quantum string were calculated. Separate calculations were performed for the electron and the hole. The Schrödinger equation was solved using the appropriate boundary conditions, and the corresponding expressions for the wave function of the electron in the c and v bands were obtained.*

Key words: semiconductors, dielectric, band, electron, hole, energy, wave absorption, effective mass.

KIRISH

Bugungi kunlarda past o‘lchamli yarim o‘tkazgichli strukturalar fizikasi kundalik ilmiy tadqiqotlarning muhim qismi bo‘lib ulgurdi. Bu asosan past o‘lchamli yarim o‘tkazgichli strukturalarning ko‘pgina yangi fizik hodisalarning xususiyatlarini ochishda tadqiqotchiga katta imkoniyatlar ochib berishi bilan bog‘langan. Bu yerda asosiy e‘tiborni ayniqsa oxirgi yillarda kuchayib borayotgan bir o‘lchamli elektron strukturalar (quantum wire) ni o‘rganishga [1-5] bo‘lgan qiziqishga qaratish zarur.

Ma‘lumki, yorug‘likning kombinasion sochilishi (YKS) o‘rganilayotgan tizimlar energetik zonalarini strukturalari va optik xossalari to‘g‘risida to‘g‘ridan-to‘g‘ri ma‘lumotlar olish uchun juda ham foydali usullardan biri hisoblanadi [7]. Xususan, yarim o‘tkazgichli materiallar va

nanostuktura-larning energetik strukturalarini o'yg'otuvchi va sochilgan nurlarning turli qutblanishlarida yengil o'rganish mumkin [7]. Umumiy holda, sochilishning differensial kesimi odatda zonalar ichida va zonalararo o'tishlarga mos keluvchi singulyarliklarga ega. Bu oxirgi hol sochilishning konfiguratsiyasiga kuchli bog'liq: singulyarlik strukturalari fotonning qutblanishi o'zgarishi bilan o'zgaradi. YKSning bu xossasi spektrdagi singulyarliklar holatlarini kuzata borib zonachalar strukturasini aniqlash imkonini beradi.

MATERIALLAR VA USULLAR

Infraqizil (IQ) nurlarning yutilishi bo'yicha o'tkazilgan tajribalar optik usullarning qanchalik effektiv ekanligini, ya'ni ular yordamida o'lchamli kvantlangan energetik sathlarning hosil bo'lishini to'g'ridan-to'g'ri kuzatish imkonini yaratdi [6-7]. Qayd qilib o'tish kerakki, metall-dielektrik-yarim o'tkazgich (MDYA) strukturalardagi yuza yaqinida hosil bo'ladigan qatlamlardagi, o'lchamli kvantlangan yupqa pardalardagi, yagona va juft geteroo'tishlardagi zonalararo magnitoptik yutilish spektrlari turlicha. Birinchi holda elektronlarning ikki muhit chegarasiga perpendikulyar bo'lgan yo'nalishda valent zonasidagi harakati kvantlanmaydi va erkin qoladi [2]. Bundan kelib chiqadiki, MDYA strukturalarda va yagona getero-o'tishlarda magnitoptik yutilish spektrlari ossillyasiyalari nosingulyar va ularning soni o'raning parametrlari qiymatlari bilan aniqlanadi [7]. Yupqa qatlam (plyonka) larda va juft geteroo'tishlarda zonalararo yutilish spektrlari pag'ona ko'rinishda [7] va magnit maydonida esa δ -obrazli cheksiz, ingichka chiziqlar seriyasidan iborat bo'ladi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Koordinatalar tizimi o'qlarini kubik kristallning 4 tartibli simmetriya o'qlari bo'ylab yo'naltiramiz. Yarim o'tkazgichli ip z o'qi bo'ylab joylashtirilgan yoki oxy tekisligiga perpendikulyar yo'naltirilgan. Uning x o'qi bo'ylab kengligi d , y o'qi bo'ylab l , ya'ni ko'rsatilgan yarim o'tkazgichli to'g'ri burchak shakldagi yoki ko'ndalang kesimi yuzasi radiusi r_0 bo'lgan silindrik shakldagi ip joylashtirilgan. Fazoning qolgan sohasi dielektrik (masalan, havo) yoxud dielektrik kirituvchanligi ϵ_1 bo'lgan keng zonali yarim o'tkazgich bilan to'ldirilgan deb faraz qilingan.

Tor zonali va keng zonali qatlamlar simmetrik o'qlari yo'nalishlari mos keladi deb faraz qilingan.

Elektron uchun potensial energiya quyidagi ko'rinishga ega:

$$V_e(x) = \begin{cases} 0 & \text{yoki } 0 < x < d \\ \infty & \text{yoki } x \leq 0 \text{ yoki } x \geq d \end{cases} \quad (1)$$

$$V_e(y) = \begin{cases} 0 & \text{yoki } 0 < y < l \\ \infty & \text{yoki } y \leq 0 \text{ yoki } y \geq l \end{cases} \quad (2)$$

kovak uchun esa

$$V_v(x) = \begin{cases} 0 & \text{yoki } 0 < x < d \\ -\infty & \text{yoki } x \leq 0 \text{ yoki } x \geq d \end{cases} \quad (3)$$

$$V_v(y) = \begin{cases} -E_g & \text{yoki } 0 < y < l \\ -\infty & \text{yoki } 0 \leq 0 \text{ yoki } y \geq l \end{cases} \quad (4)$$

ko'rinishga ega bo'ladi.

Bu holda to'liq funktsiyasi chegaraviy shartlarni qanoatlantirishi zarur, ya'ni

$$\begin{cases} \Psi(x=0, d, y, z) = 0 \\ \Psi(x=d, y, z) \neq 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \Psi(x, y=0, l, z) = 0 \\ \Psi(x, y=l, z) \neq 0 \end{cases} \quad (6)$$

bo'lishi kerak.

U holda elektron va kovak uchun (1), (2) va (3), (4) larni hisobga olgan holda Shredinger tenglamasini mos ravishda (5) va (6) chegaraviy shartlar yordamida yechib, c va v zonalaridagi elektronning to'liqin funksiyasi uchun mos ravishda quyidagi ifodalarni olamiz:

$$\Psi_{ca}(\vec{r}) = \sqrt{\frac{4}{L_z d^* l}} e^{ik_e z} \sin\left(\frac{\pi n_e}{d} x\right) \sin\left(\frac{\pi m_e}{l} y\right) U_e(\vec{r}) \quad (7)$$

$$\Psi_{h\beta}(\vec{r}) = \sqrt{\frac{4}{L_z d^* l}} e^{ik_h z} \sin\left(\frac{\pi n_h}{d} x\right) \sin\left(\frac{\pi m_h}{l} y\right) U_h(\vec{r}). \quad (8)$$

Bu yerda $U_e(\vec{r})$ va $U_h(\vec{r})$ - modellashtiruvchi blox ko'paytiruvchilari, L_z - z o'qi bo'ylab noriallashtiruvchi uzunlik, k_e va k_h - mos ravishda elektron va kovak to'liqin vektorlarining 0x o'qiga proyeksiyalari, $\alpha = (k_e, n_e, m_e)$ i $\beta = (k_h, n_h, m_h)$, n_e, m_e - o'tkazuvchanlik zonasi(c)dagi o'lchamli kvantlangan energetik holatlar raqamlari, n_h, m_h - valent zonasi (v)dagi o'lchamli kvantlangan energetik holatlar raqamlari.

XULOSA

c va v zonalaridagi elektronning energiyasi quyidagi ifodalar bilan aniqlanadi:

$$E_{ca} = \frac{\hbar^2 k_e^2}{2m_e^*} + \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m_e^* d^2} n_e^2 + \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m_h^* l^2} m_e^2; n_e, m_e = 1, 2, \quad (9)$$

$$E_{v\beta} = E_g - \frac{\hbar^2 k_h^2}{2m_h^*} - \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m_h^* d^2} n_h^2 - \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m_h^* l^2} m_h^2; n_h, m_h = 1, 2, \dots \quad (10)$$

bu yerda E_g - hajmiy yarim o'tkazgichning taqiqlangan zonasi kengligi, $m_{e(h)}^*$ - elektron(kovak)ning effektiv massasi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Павлов С.Т., Ланг И.Г., Коровин Л.И. *Аналог формулы Кубо для электропроводности в случае пространственно неоднородных сред и электрических полей.* – Физика твердого тела. -2003. –т.**45**, №7. –с.1316-1324.
- [2] Поздняков Д.В., Борздов В.М. *Интенсивность междуподзонного рассеяния электронов на полярных оптических фононах в полупроводниковом квантовом проводе с учетом уширения энергетических уровней.* – Физика твердого тела. – 2003. –т.**45**, №12-с.2238-2241.
- [3] Ланг И.Г., Коровин Л.И., Павлов С.Т. *Упругое рассеяние света полупроводниковыми точками произвольной формы.* – Физика твердого тела. -2007.-т.**49**, №7. –с.1304-1309.
- [4] Коровин Л.И., Ланг И.Г., Павлов С.Т. *Резонансное прохождение электромагнитного импульса сквозь квантовую яму.* – Физика твердого тела. -2008. –т.**50**, №2. –с.328-335.
- [5] Ковалев В.М., Чаплик А.В., *Магнетополяронные состояние частиц в квантовых кольцах конечной ширины.* –Журнал экспериментальной и теоретической физики. -2005. – т.**128**, №4. –с.796-802.
- [6] Воробьев Л.Е., Ивченко Е.Л., Фирсов Д.А., Шалыгин В.А. *Оптические свойства наноструктур.*-2002-Наука. - СПб.-188с.
- [7] Eshpulatov B.E., Arzikulov E.U. *Pinningovaya struktura razmerno- fononnogo rezonansa v kvantovых nitkax.*- Elektronnaya obrabotka materialov. - 2008.-№2 (250). - s. 105-109.-Kishinev.

KVANT MEXANIKASIDA ONTOLOGIK REALLIK VA O'LCHASH MUAMMOSI: KOPENGAGEN, BOMIAN VA EVERETT TALQINLARINING QIYOSIY TAHLILI VA DEKOGERENSIYAVIY YECHIMI

Eshboltayev Iqbol', Shokirov Maqsadjon ²

¹ Qo`qon Davlat Universiteti, Qo`qon, O`zbekiston

² Qo`qon Davlat Universiteti Akademil Litseyi, Qo`qon, O`zbekiston

e-mail: mas'ul 998911558383a@gmail.com

e-mail: maqsadjonshokirov3@gmail.com,

Annotatsiya. Ushbu maqolada kvant mexanikasining konseptual poydevori, to'liq funksiyasi va o'lchash muammosining ontologik mohiyati tahlil qilinadi. Standart Kopenhagen talqini hamda Bohmian mexanikasining cheklovlari ko'rib chiqilib, o'lchash muammosiga va to'liq funksiyasi "kollapsi" paradoksiga Kvant Dekogerensiyasi nazariyasi va Everettning Ko'p Olamlar talqini (MWI) doirasida mantiqiy hamda matematik yechim beriladi. Maqolada ochiq kvant tizimlarining zichlik matritsasi evolyutsiyasi, 3D sirt grafigi hamda rangli interferensiyon Heatmap modeli tahlillar orqali to'liq funksiyasining uzluksiz unitar tarmoqlanishi isbotlanadi.

Kalit so'zlar: kvant mexanikasida o'lchash muammosi, Everett talqini, kvant dekoherensiyasi, zichlik matritsasi, unitar evolyutsiya, superpozitsiya, Bell holati, 3D dekoherensiya grafigi.

Аннотация. В данной статье анализируются концептуальные основы квантовой механики, онтологическая природа волновой функции и проблема измерения. Рассматриваются ограничения стандартной Копенгагенской интерпретации и Бомовской механики, а также предлагается логическое и математическое решение проблемы измерения и парадокса «коллапса» волновой функции в рамках теории квантовой декогеренции и многомировой интерпретации Эверетта (MWI). В работе на основе анализа эволюции матрицы плотности открытых квантовых систем и модели декогеренции доказывается непрерывное унитарное ветвление волновой функции.

Ключевые слова: проблема измерения в квантовой механике, интерпретация Эверетта, квантовая декогеренция, матрица плотности, унитарная эволюция, суперпозиция, состояние Белла, 3D график декогеренции.

Abstract. This paper analyzes the conceptual foundations of quantum mechanics, the wave function, and the ontological nature of the measurement problem. The limitations of the standard Copenhagen interpretation and Bohmian mechanics are examined, providing a logical and mathematical resolution to the measurement problem and the wave function "collapse" paradox within the framework of Quantum Decoherence theory and Everett's Many-Worlds Interpretation (MWI). Through the analysis of the density matrix evolution of open quantum systems and the decoherence model, the paper demonstrates the continuous unitary branching of the wave function.

Keywords: measurement problem in quantum mechanics, Everett interpretation, quantum decoherence, density matrix, unitary evolution, superposition, Bell state, 3D decoherence plot.

1. KIRISH

XX asr boshida subatomik darajadagi fizik jarayonlarni tasvirlashda klassik Nyuton mexanikasining cheklanganligi ma'lum bo'ldi. Yaratilgan kvant mexanikasining matematik apparati favqulodda aniqlik namoyish etdi. Tizimning dinamik holati vaqtga bog'liq Shrödinger tenglamasi orqali ifodalanadi:

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(r,t) = \hat{H} \Psi(r,t) \quad (1)$$

Bunda $\hbar$ — keltirilgan Plank doimiysi ($\hbar \approx 6.58212 \times 10^{-16} \text{ eV} \cdot \text{s}$), $\hat{H}$ — tizimning Gamiltonian operatoridir. Mikro-dunyoda o'lchov va kuzatuv chegaralarini esa Geyzenberg noaniqlik prinsipi belgilab beradi:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2} \quad (2)$$

Biroq, matematik apparatning mukammalligiga qaramay, to'liq funksiyasi (Ψ) ortida turgan obyektiv borliq va o'lchash vaqtida sodir bo'ladigan "to'liq funksiyasi kollapsi" masalasi uzoq vaqt ochiq qoldi. Ushbu tadqiqotning maqsadi Kopengagen va Bomian talqinlaridagi ziddiyatlarni ko'rsatib, Everettning Ko'p olamlar talqini va Dekogerensiya mexanizmi orqali o'lchash muammosiga deterministik va tugallangan yechim berishdan iborat.

2. ADABIYOTLAR TAHLILI VA MATEMATIK FORMALLASHUV

Standart kopengagen talqini va Born qoidasi

N. Bohr va W. Heisenberg modelida tizim holati superpozitsiya ko'rinishida bo'ladi:

$$\Psi = \sum_i c_i \psi_i \quad (3)$$

Makroskopik o'lchash o'tkazilganda holat birdaniga bitta xos holatga kollaps bo'ladi. Bu holatni kuzatish ehtimolligi Born qoidasi bilan topiladi:

$$P_i = |c_i|^2 \quad (4)$$

Ziddiyat: Kopengagen talqini "kollaps" aynan qaysi fizik mexanizm evaziga va qaysi soniyada yuz berishini hamda kuzatuvchi shuurining rolini tushuntirib bera olmaydi.

Bohmian Mexanikasi (Nodeterministik Yashirin Parametrlar)

D. Bohm modelida zarracha real trayektoriyaga va aniq koordinataga ega. Zarracha harakatini yo'naltiruvchi to'liq tenglamasi boshqaradi:

$$v = \frac{\hbar}{m} \text{Im} \left(\frac{\nabla \Psi}{\Psi} \right) \quad (5)$$

Ziddiyat: Bohmian mexanikasi relyativistik kvant maydon nazariyasi (QFT) bilan qiyin moslashadi.

3. ZIDDIYATLARNING YECHIMI: DEKOGERENSIYVA VA EVERETT TALQINI

O'lchash muammosidagi barcha paradokslar (shu jumladan Shrödinger mushugi paradoksi) Kvant dekoherensiyasi va Everettning ko'p olamlar talqini birgalikda qaralganda to'liq yechiladi.

Ochiq tizimlar va zichlik matritsasi evolyutsiyasi

Kvant tizimi (S) hech qachon mutloq ajratilgan bo'lmaydi, u atrof-muhit (E) bilan doimiy ta'sirlashadi. Tizimning to'liq holati zichlik matritsasi ($\hat{\rho}$) orqali tasvirlanadi:

$$\hat{\rho} = \sum_{ij} \rho_{ij} |i\rangle \langle j| \quad (6)$$

Atrof-muhit bilan ta'sirlashganda chigallashgan holat hosil bo'ladi:

$$|\Psi_{S+E}\rangle = c_1 |\Psi_1\rangle |E_1\rangle + c_2 |\Psi_2\rangle |E_2\rangle \quad (7)$$

Atrof-muhit ortogonal holatlarga o'tganda ($\langle E_1 | E_2 \rangle \rightarrow 0$) zichlik matritsasining nodiagonal elementlari eksponensial tarzda nolga intiladi:

$$\rho_{12}(t) = \rho_{12}(0) e^{-\gamma t} \quad (8)$$

Bu jarayon **Dekogerensiya** deyiladi.

Everett tarmoqlanishi (Many-Worlds)

Everett modeliga ko'ra, to'liq funksiyasining sun'iy kollapsi mavjud emas. O'lchash jarayonida Koinot to'liq funksiyasi o'zaro ta'sirlashmaydigan parallel tarmoqlarga ajraladi:

$$|\Psi_{Koinot}\rangle = \sum_i c_i |\Psi_i\rangle_{tizim} \otimes |\Phi_i\rangle_{detektor} \otimes |Kuzatuvchi_i\rangle \quad (9)$$

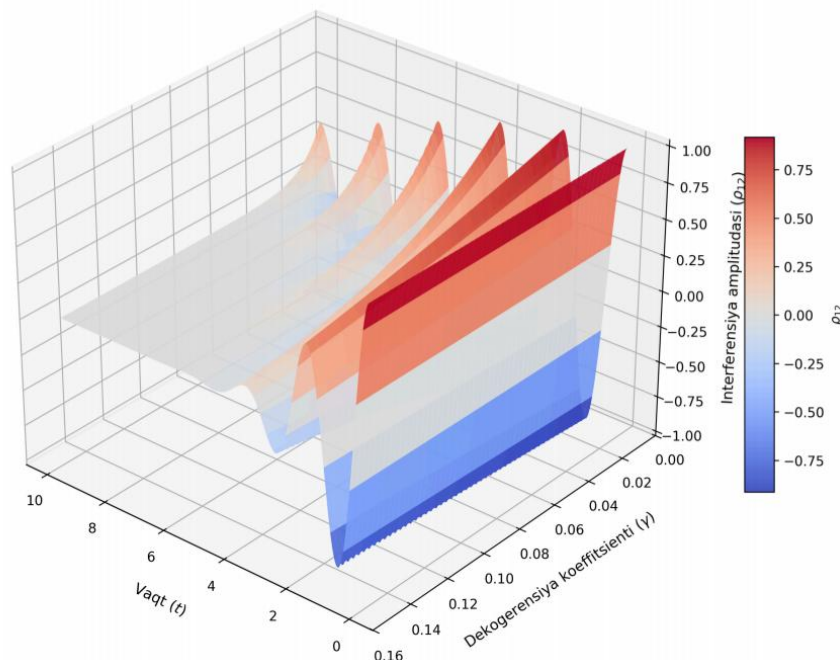
4. DEKOGERENSIYA JARAYONINI MODELLASHTIRISH

Dekogerensiya vaqtida kvant interferensiyasining yo'qolishi va klassik ehtimollikka o'tish jarayonini modellashtirish uchun quyidagi funktsiyani ko'rib chiqamiz:

$$\rho_{12}(t, \gamma) = \cos(\omega t) \cdot e^{-\gamma t^2} \quad (10)$$

(Bu yerda t — vaqt, γ — atrof-muhit bilan ta'sirlashuv koeffitsiyenti).

Kvant Dekogerensiyasining 3D Sirt Modeli ($\rho_{12}(t, \gamma)$)



5. NATIJALAR VA QIYOSIY TAHLIL

Tadqiqot doirasida kvant mexanikasining uchta asosiy talqini parametrik jihatdan solishtirildi:

Parametr	Kopengagen talqini	Bohmian mexanikasi	Everett + Dekogerensiya
----------	--------------------	--------------------	-------------------------

Superpozitsiya tabiati	Ehtimolliklar to'liq funksiyasi	Real to'liq va zarracha	Unitar koinot to'liq funksiyasi
O'lchash / Kollaps	O'lchash kollapsni keltirib chiqaradi	Kollaps yo'q (Pilot wave)	Kollaps yo'q, unitar tarmoqlanish bor
Kuzatuvchi roli	Subyektiv (Shuur / Detektor)	Obyektiv, bog'liq emas	Obyektiv (Atrof-muhit dekogerensiyasi)
Reallik va determinizm	Probabilistik (Nodeterministik)	Aniq deterministik	Unitar va Deterministik

6. XULOSA

Ushbu tadqiqot natijasida kvant mexanikasidagi fundamental "O'lchash muammosi" Kopengagen talqinidagi kabi subyektiv kuzatuvchi yoki sun'iy "to'liq funksiyasi kollapsi" postulatlarisiz ham to'liq mantiqiy va matematik yechimga ega ekanligi ko'rsatildi. Tahlillar shuni ko'rsatadiki, Everettning Ko'p Olamlar talqini va Dekogerensiya nazariyasi simbiozi ushbu ziddiyatni to'liq hal etadi. Shrödinger tenglamasi Koinot miqyosida doimiy unitar bo'lib qoladi, bu esa fizika qonunlarining uzluksizligini, axborot saqlanishini va determinizmini ta'minlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

[1] Bohr N. Atomic Physics and Human Knowledge. — New York: John Wiley & Sons, 1958. — p. 102.

[2] Bohm D. A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of "Hidden" Variables. // Physical Review, 1952. Vol. 85, No. 2. pp. 166-179.

[3] Everett H. "Relative State" Formulation of Quantum Mechanics. // Reviews of Modern Physics, 1957. Vol. 29, No. 3. — pp. 454-462.

[4] Zurek W. H. Decoherence, einselection, and the quantum origins of the classical. // Reviews of Modern Physics, 2003. Vol. 75, No. 3. pp. 715-775.

[5] Schlosshauer M. Decoherence and the Quantum-to-Classical Transition. Springer, 2007.

A(z)-ANISOTROPIC POINCARÉ METRICS: COMPARISON ESTIMATES, COMPLETENESS, AND CURVATURE CHANGE

Bozarov Dilmurod Uralovich¹, Uralova Ruxshona Alijon qizi²

¹Department of Mathematics, University of Economics and Pedagogy, Qarshi, Uzbekistan

d.bozorov@inbox.ru

²Third-year student of Mathematics, University of Economics and Pedagogy, Qarshi, Uzbekistan Email: ruxshonau@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu tezisda $A(z)$ -analitik funksiyalarning strukturaviy koeffitsiyenti asosida anizotrop Puankare metrikasi quriladi. Metrik tensorning musbat aniqligi va determinantining birga tengligi ko'rsatiladi. Klassik Puankare metrikasi bilan aniq ikki tomonlama baholar olinib, egri chiziqli uzunliklari va masofalarning kvazi-izometrik ekvivalentligi hamda yangi metrikaning to'liqligi isbotlanadi. Doimiy noldan farqli koeffitsiyent misolida anizotrop metrika oddiy pullback metrika emasligi va uning Gauss egriligi, umuman olganda, -1 ga teng o'zgarishga ega bo'lganligi ko'rsatiladi.

Kalit so'zlar: $A(z)$ -analitik funksiya, Beltrami tenglamasi, anizotrop Puankare metrikasi, metrik tensor, kvazi-izometriya, to'liqlik, Gauss egriligi.

Abstract. An $A(z)$ -anisotropic Poincaré metric is constructed from the structural coefficient of $A(z)$ -analytic functions. The associated metric tensor is shown to be positive definite with determinant one. Sharp two-sided estimates relative to the classical Poincaré metric yield quasi-isometric equivalence of curve lengths and distances, as well as completeness of the deformed metric. A constant nonzero coefficient on the unit disk demonstrates that this construction is not an ordinary pullback metric and that its Gaussian curvature is generally neither constant nor equal to -1 .

Keywords: $A(z)$ -analytic function, Beltrami equation, anisotropic Poincaré metric, metric tensor, quasi-isometry, completeness, Gaussian curvature.

Аннотация. На основе структурного коэффициента $A(z)$ -аналитических функций строится $A(z)$ -анизотропная метрика Пуанкаре. Доказываются положительная определённость соответствующего метрического тензора и равенство его определителя единице. Точные двусторонние оценки относительно классической метрики Пуанкаре приводят к квазиизометрической эквивалентности длин кривых и расстояний, а также к полноте деформированной метрики. Пример постоянного ненулевого коэффициента в единичном диске показывает, что данная конструкция не является обычной pullback-метрикой, а её гауссова кривизна, вообще говоря, не постоянна и не равна -1 .

Ключевые слова: $A(z)$ -аналитическая функция, уравнение Бельтрами, анизотропная метрика Пуанкаре, метрический тензор, квазиизометрия, полнота, гауссова кривизна.

Introduction. The Poincaré metric is a central conformal invariant in geometric function theory and hyperbolic geometry [1, 2]. Its completeness and constant curvature are classical, while quasiconformal mappings and Beltrami equations provide the natural framework for direction-dependent deformation [3, 4]. The theory of $A(z)$ -analytic functions develops analytic analogues associated with a structural coefficient $A(z)$ [5]. Recent results on automorphisms and analytic-geometric properties of $A(z)$ -lemniscates provide an additional motivation for constructing intrinsic metrics adapted to this structure [6]. The aim of this thesis is to isolate a concise metric construction and establish its positivity, comparison estimates, completeness, localization, and curvature change.

Structural equation and anisotropic tensor.

Consider the structural equation $f_{\bar{z}} = A(z)f_z$.

For the geometric construction, assume that the coefficient is twice continuously differentiable and uniformly elliptic:

In the general geometric part of the paper, we assume that

$$A \in C^2(\Omega), \quad |A(z)| \leq k < 1.$$

Writing the complex differential form in real coordinates gives the quadratic expression

$$|dz + A d\bar{z}|^2 = |1 + A|^2 dx^2 + 4\operatorname{Im} A dx dy + |1 - A|^2 dy^2.$$

After determinant normalization, define the symmetric tensor

$$M_A(z) = \frac{1}{1 - |A(z)|^2} \begin{pmatrix} |1 + A(z)|^2 & 2\operatorname{Im} A(z) \\ 2\operatorname{Im} A(z) & |1 - A(z)|^2 \end{pmatrix}.$$

A direct determinant calculation and Sylvester's criterion show that this matrix is positive definite whenever $|A(z)| < 1$. Moreover,

$$\det M_A(z) = 1.$$

Its two eigenvalues are

$$\mu_-(A) = \frac{1 - |A|}{1 + |A|}$$

and

$$\mu_+(A) = \frac{1 + |A|}{1 - |A|}.$$

These reciprocal eigenvalues describe the principal contraction and stretching directions. Their product equals one, while their ratio increases as $|A(z)|$ approaches one. Thus $A(z)$ determines directional anisotropy without changing the area element of the normalized tensor.

Definition of the metric. Let the classical Poincaré density on the simply connected hyperbolic domain Ω be denoted by $\lambda_\Omega(z)$. The $A(z)$ -anisotropic Poincaré metric is defined by

$$ds_{A,P}^2 = \frac{\lambda_\Omega^2(z)}{1 - |A(z)|^2} |dz + A(z)d\bar{z}|^2.$$

Equivalently, its metric tensor is obtained by multiplying the normalized anisotropic tensor by the square of the classical Poincaré density. This construction must be distinguished from the ordinary pullback of the disk metric. A genuine pullback preserves Gaussian curvature by definition, whereas the present metric couples the classical density with an independently specified anisotropic tensor. When the structural coefficient vanishes identically, the tensor becomes the identity and the classical Poincaré metric is recovered.

Two-sided estimates and completeness. Assume that the coefficient is uniformly bounded in modulus by a constant smaller than one. The eigenvalue bounds imply the sharp pointwise comparison

$$\frac{1-k}{1+k} g_0(v, v) \leq g_{A,P}(v, v) \leq \frac{1+k}{1-k} g_0(v, v).$$

Taking square roots and integrating along every piecewise smooth curve γ gives

$$\sqrt{\frac{1-k}{1+k}} L_0(\gamma) \leq L_{A,P}(\gamma) \leq \sqrt{\frac{1+k}{1-k}} L_0(\gamma).$$

Taking the infimum over all curves joining x and y yields the corresponding distance estimate

$$\sqrt{\frac{1-k}{1+k}} d_0(x, y) \leq d_{A,P}(x, y) \leq \sqrt{\frac{1+k}{1-k}} d_0(x, y).$$

Consequently, the identity map between the classical and anisotropic metric spaces is bi-Lipschitz, with constants depending only on the uniform bound. Since the classical Poincaré metric is complete, the lower distance estimate makes every anisotropic Cauchy sequence classically Cauchy; the upper estimate then transfers convergence back to the anisotropic distance. Hence the $A(z)$ -anisotropic Poincaré metric is complete. These estimates also quantify stability: as the

uniform anisotropy bound tends to zero, both length and distance distortions converge uniformly to one.

Localization. If the structural coefficient vanishes on an open subset of the domain, the normalized tensor equals the identity there. Therefore the anisotropic metric agrees exactly with the classical Poincaré metric on that subset, and its Gaussian curvature is -1. The deformation is thus localized to the support of the coefficient. This property is useful for constructing metrics that preserve classical hyperbolic geometry outside a prescribed region while introducing controlled anisotropy inside it.

Constant-coefficient curvature example.

Consider the unit disk $\Omega = \mathbb{D}$ and a constant coefficient $A(z) = \alpha$, $0 < |\alpha| < 1$.

In this case, $M_A = M_\alpha$ is a constant positive definite matrix and $\det M_\alpha = 1$.

The metric takes the form

$$g_{\alpha,P} = \frac{4}{(1-|z|^2)^2} M_\alpha.$$

A direct curvature computation at the origin gives

$$K_{\alpha,P}(0) = -\frac{1+|\alpha|^2}{1-|\alpha|^2}.$$

For $\alpha \neq 0$, we have $K_{\alpha,P}(0) < -1$.

Thus the anisotropic metric does not have the same Gaussian curvature as the classical Poincaré metric. More generally, evaluation along an eigendirection of M_α shows that the curvature depends on the point, so it is not constant in general. This does not contradict conformal or pullback invariance: the metric introduced here is an independent anisotropic deformation rather than the pullback of the disk metric [1–4].

Conclusion. The coefficient $A(z)$ determines a positive-definite, area-normalized anisotropic tensor. Coupling it with the Poincaré density produces a complete metric quantitatively equivalent to classical hyperbolic geometry. The estimates control curve lengths and intrinsic distances, while localization removes the deformation wherever the coefficient vanishes. The constant-coefficient model proves that the resulting Gaussian curvature need not remain -1. This construction provides a metric basis for further research on $A(z)$ -isometries, automorphisms, geodesics, and spectral invariants [5–7].

REFERENCES:

- [1] Ahlfors, L. V. Complex Analysis. 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 1979.
- [2] Ahlfors, L. V. Conformal Invariants: Topics in Geometric Function Theory. McGraw-Hill, New York, 1973.
- [3] Lehto, O., and Virtanen, K. I. Quasiconformal Mappings in the Plane. 2nd ed., Springer-Verlag, Berlin, 1973.
- [4] Astala, K., Iwaniec, T., and Martin, G. Elliptic Partial Differential Equations and Quasiconformal Mappings in the Plane. Princeton University Press, Princeton, 2009.
- [5] Sadullaev, A., and Jabborov, N. M. On a class of A-analytic functions. Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics 9(3), 374–383, 2016.

[6] Zhabborov, N. M., Husenov, B. E., Bobokhonov, Sh. S., and Bozarov, D. U. Automorphisms of $A(z)$ -Lemniscates and Their Analytic-Geometric Properties. *Ilm Sarchashmalari* 12/1, 44–53, 2025.

[7] Vekua, I. N. Generalized Analytic Functions. Pergamon Press, Oxford, 1962.

SPECTRUM AND PSEUDOSPECTRUM OF MULTIPLICATION OPERATORS IN A QUASICONFORMAL PULLBACK MODEL

Bozarov Dilmurod Uralovich¹, Bobokhonov Sharofiddin Sobirovich²

¹Department of Mathematics, University of Economics and Pedagogy, Qarshi, Uzbekistan

d.bozorov@inbox.ru

²Karshi State University, Qarshi, Uzbekistan boboxonovsharofiddin1993@gmail.com

Annotatsiya. Chegaralangan sodda bog‘lamli Jordan sohasida kvazikonformal pullback funksiyalar algebrasi quriladi va nuqtada nolga aylanuvchi yopiq bosh ideal ajratiladi. Ushbu idealda multiplikator operatorining normasi, spektri, rezolventa normasi va psevdospektri uchun aniq formulalar olinadi. Natijalarning o‘lchanuvchi Beltrami deformatsiyasida saqlanishi doimiy koeffitsiyentli ellips misolida ko‘rsatiladi.

Kalit so‘zlar: kvazikonformal akslantirish, pullback algebra, Beltrami tenglamasi, ko‘paytirish operatori, spektr, rezolventa, psevdospektr, Jordan sohasi.

Abstract. A quasiconformal pullback function algebra and a closed point-generated principal ideal are constructed on a bounded simply connected Jordan domain. Exact formulas are obtained for the norm, spectrum, resolvent norm, and pseudospectrum of a multiplication operator. Their invariance under measurable Beltrami deformation is illustrated by a constant-coefficient ellipse model. Isometric conjugacy, polynomial functional calculus, and stability under perturbations of the multiplier are also established.

Keywords: quasiconformal mapping, pullback algebra, Beltrami equation, multiplication operator, spectrum, resolvent, pseudospectrum, Jordan domain.

Аннотация. В ограниченной односвязной области Жордана строятся квазиконформная pullback-алгебра и замкнутый главный идеал, порождённый точкой. Для оператора умножения получены точные формулы нормы, спектра, нормы резольвенты и псевдоспектра. Их инвариантность при измеримой деформации Бельтрами показана на модели эллипса с постоянным коэффициентом.

Ключевые слова: квазиконформное отображение, pullback-алгебра, уравнение Бельтрами, оператор умножения, спектр, резольвента, псевдоспектр, область Жордана.

Introduction. Multiplication operators are among the most natural operators on spaces of analytic functions, and their spectra and resolvents are closely related to the structure of the underlying function algebra [4–6]. For $A(z)$ -analytic functions, this relationship is considered under quasiconformal deformation. The main question is how the spectral properties of a multiplier change when the Euclidean geometry of the domain is anisotropically deformed by a Beltrami coefficient.

Let $\Omega \subset \mathbb{C}$ be a bounded simply connected Jordan domain and let $A \in L^\infty(\Omega)$ satisfy

$$\|A\|_\infty \leq k < 1.$$

Extend A by zero outside Ω . By the measurable Riemann mapping theorem [2, 7, 8], there exists a normalized quasiconformal homeomorphism $\Phi: \mathbb{C} \rightarrow \mathbb{C}$ such that

$$\Phi_{\bar{z}} = A(z)\Phi_z \quad \text{almost everywhere in } \Omega.$$

We write $\Omega_A = \Phi(\Omega)$.

Pullback algebra. Consider the uniform algebra on Ω_A ,

$$A(\Omega_A) = C(\overline{\Omega_A}) \cap H(\Omega_A), \quad \|F\|_\infty = \max_{w \in \Omega_A} |F(w)|.$$

Define the quasiconformal pullback algebra by

$$A_A(\Omega) = \{F \circ \Phi : F \in A(\Omega_A)\},$$

with $\|F \circ \Phi\|_A = \|F\|_\infty$. The composition operator

$$U_\Phi : A(\Omega_A) \rightarrow A_A(\Omega), \quad U_\Phi F = F \circ \Phi,$$

is a unital isometric Banach-algebra isomorphism. By the chain rule,

$$(F \circ \Phi)_z = F(\Phi) \Phi_z = A(z) F(\Phi) \Phi_z = A(z) (F \circ \Phi)_z.$$

Thus every element of $A_A(\Omega)$ satisfies the same Beltrami equation. Although quasiconformal deformation changes the geometry of the domain, algebraic multiplication and the norm are transported isometrically from the holomorphic model.

Closed point ideal. Let $z_0 \in \Omega$, $w_0 = \Phi(z_0)$, and

$$p_{z_0}(z) = \Phi(z) - w_0.$$

The principal ideal generated by p_{z_0} coincides with the ideal of functions vanishing at z_0 :

$$I_{z_0} = p_{z_0} A_A(\Omega) = \{u \in A_A(\Omega) : u(z_0) = 0\}.$$

One inclusion is immediate. Conversely, suppose that $u = F \circ \Phi$ and $u(z_0) = 0$. Then $F(w_0) = 0$, and the removable singularity theorem gives

$$G(w) = \begin{cases} \frac{F(w)}{w - w_0}, & w \neq w_0, \\ F'(w_0), & w = w_0, \end{cases}$$

with $G \in A(\Omega_A)$. Consequently,

$$u = p_{z_0} (G \circ \Phi).$$

Since the evaluation functional $u \mapsto u(z_0)$ is continuous, $I_{z_0} = \ker \delta_{z_0}$ is a closed ideal.

Exact norm and spectrum. Let $h = H \circ \Phi \in A_A(\Omega)$ and define

$$T_h : I_{z_0} \rightarrow I_{z_0}, \quad T_h u = hu.$$

Then

$$\|T_h\| = \|h\|_\infty, \quad \sigma(T_h) = h(\overline{\Omega}), \quad r(T_h) = \|h\|_\infty.$$

The upper estimate follows from $\|T_h u\|_\infty \leq \|h\|_\infty \|u\|_\infty$. For the reverse estimate, assume first that H is nonconstant. By the maximum modulus principle, there exists $\xi \in \partial\Omega_A$ such that $|H(\xi)| = \|H\|_\infty$. Let $\psi : D \rightarrow \Omega_A$ be a conformal map extending homeomorphically to the boundary, and put $a = \psi^{-1}(w_0)$. The disk automorphism

$$v(w) = \frac{\psi^{-1}(w) - a}{1 - \bar{a} \psi^{-1}(w)}$$

satisfies $v(w_0) = 0$, $\|v\|_\infty = 1$, and $|v| = 1$ on the boundary. The test function $u = v \circ \Phi$ belongs to I_{z_0} and gives $\|T_h u\|_\infty \geq |H(\xi)|$. The constant case is immediate, so equality holds in all cases.

For the spectrum, if $\lambda \notin h(\overline{\Omega})$, then $(h-\lambda)^{-1} \in A_A(\Omega)$ and $T_h - \lambda I$ is invertible. If $\lambda = h(z)$ for some $z \in \overline{\Omega}$, evaluation at z , together with the ideal structure, shows that the restriction cannot have a bounded inverse. Hence the operator spectrum is precisely the compact range of its symbol.

Resolvent and pseudospectrum. If $\lambda \notin h(\overline{\Omega})$, then

$$(T_h - \lambda I)^{-1} = T_{(h-\lambda)^{-1}},$$

and the exact norm identity yields

$$\| (T_h - \lambda I)^{-1} \| = \frac{1}{\min_{z \in \overline{\Omega}} |h(z) - \lambda|} = \frac{1}{\text{dist}(\lambda, h(\overline{\Omega}))}.$$

For $\varepsilon > 0$, define

$$\sigma_\varepsilon(T_h) = \sigma(T_h) \cup \{ \lambda \notin \sigma(T_h) : \| (T_h - \lambda I)^{-1} \| > \varepsilon^{-1} \}.$$

Then

$$\sigma_\varepsilon(T_h) = \{ \lambda \in \mathbb{C} : \text{dist}(\lambda, h(\overline{\Omega})) < \varepsilon \}.$$

Thus the pseudospectrum is exactly the open ε -neighborhood of the spectral set. In this multiplier model, resolvent growth is governed entirely by Euclidean distance to the range of the symbol; there is no additional pseudospectral enlargement of the type commonly associated with strongly nonnormal operators.

Isometric conjugacy and further consequences. Let

$$J_{w_0} = \{ F \in A(\Omega_A) : F(w_0) = 0 \}.$$

The restriction of U_Φ maps J_{w_0} isometrically onto I_{z_0} . If M_H denotes multiplication by H on J_{w_0} , then

$$U_\Phi^{-1} T_h U_\Phi = M_H.$$

This identity explains why the norm, spectrum, resolvent, and pseudospectrum are preserved exactly: the deformed operator is not merely similar to the holomorphic model but isometrically conjugate to it. The Beltrami coefficient changes the coordinates and the shape of the domain, while the operator-theoretic data remain invariant under the pullback.

The same representation gives an explicit polynomial functional calculus. For every polynomial P ,

$$P(T_h) = T_{P \circ h}, \quad \sigma(P(T_h)) = P(\sigma(T_h)) = P(h(\overline{\Omega})).$$

In particular, $T_h^n = T_{h^n}$ and

$$\| T_h^n \| = \| h^n \|_\infty = \| h \|_\infty^n,$$

which directly recovers the spectral-radius identity. This also shows that the powers of T_h exhibit no transient norm growth beyond that already present in the multiplier.

The model is stable under uniform perturbations of the symbol. If $g \in A_A(\Omega)$, then

$$\| T_h - T_g \| = \| h - g \|_\infty.$$

Writing $\delta = \| h - g \|_\infty$, the compact sets $h(\overline{\Omega})$ and $g(\overline{\Omega})$ have Hausdorff distance at most δ . Consequently,

$$\sigma_\varepsilon(T_h) \subseteq \sigma_{\varepsilon+\delta}(T_g), \quad \sigma_\varepsilon(T_g) \subseteq \sigma_{\varepsilon+\delta}(T_h).$$

Hence small perturbations of an $A(z)$ -analytic multiplier produce quantitatively controlled changes in both the spectrum and pseudospectrum. These estimates are useful when the Beltrami coefficient or multiplier is known only approximately.

Constant-coefficient ellipse example. Let $0 < |a| < 1$ and set

$$\Phi_a(z) = z + a\bar{z}, \quad \Omega_a = \Phi_a^{-1}(\mathbb{D}).$$

The map Φ_a is an orientation-preserving real-linear homeomorphism satisfying

$$(\Phi_a)_{\bar{z}} = a(\Phi_a)_z.$$

For $a \neq 0$, the domain Ω_a is an ellipse up to rotation. The pullback of the disk algebra,

$$R_a = \{H \circ \Phi_a : H \in A(\mathbb{D})\},$$

is an isometric Banach algebra. On the closed ideal generated by Φ_a , consider

$$b(z) = 2 + \Phi_a(z), \quad T_b u = bu.$$

Since $2 + w$ has no zero in the closed unit disk, b is invertible and

$$\|T_b\| = 3, \quad \|T_b^{-1}\| = 1, \quad \sigma(T_b) = \{2 + w : |w| \leq 1\}.$$

If instead $c(z) = \Phi_a(z)$, then

$$\sigma(T_c) = \{w : |w| \leq 1\},$$

so $0 \in \sigma(T_c)$ and T_c is not an automorphism. The example shows that although quasiconformal deformation changes circular geometry into elliptical geometry, the pullback isomorphism transports the norm, spectrum, and pseudospectrum exactly. The geometric distortion satisfies $K \leq (1+k)/(1-k)$, whereas the spectral set is determined by $h(\overline{\Omega})$.

Conclusion. The quasiconformal pullback links an algebra of $A(z)$ -analytic functions isometrically with a classical holomorphic uniform algebra. This connection yields exact formulas for the norm, spectrum, spectral radius, resolvent norm, and pseudospectrum of a multiplication operator on a closed point-generated ideal. Isometric conjugacy, polynomial functional calculus, and perturbation estimates further demonstrate that the spectral picture is stable under measurable Beltrami deformation.

REFERENCES:

- [1] Vekua I.N. *Generalized Analytic Functions*. Pergamon Press, Oxford, 1962.
- [2] Ahlfors L.V. *Lectures on Quasiconformal Mappings*. 2nd ed., American Mathematical Society, Providence, 2006.
- [3] Sadullaev A., Jabborov N.M. On a class of A -analytic functions. *J. Sib. Fed. Univ. Math. Phys.*, 9(3), 374–383, 2016.
- [4] Dales H.G. *Banach Algebras and Automatic Continuity*. Clarendon Press, Oxford, 2000.
- [5] Gamelin T.W. *Uniform Algebras*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1969.
- [6] Zhu K. *Operator Theory in Function Spaces*. 2nd ed., American Mathematical Society, Providence, 2007.
- [7] Astala K., Iwaniec T., Martin G. *Elliptic Partial Differential Equations and Quasiconformal Mappings in the Plane*. Princeton University Press, Princeton, 2009.
- [8] Ahlfors L.V., Bers L. Riemann's mapping theorem for variable metrics. *Ann. of Math.*, 72(2), 385–404, 1960.

PRINCIPAL IDEALS AND MULTIPLIER ENDOMORPHISMS IN ALGEBRAS OF $A(z)$ -ANALYTIC FUNCTIONS

Bozarov Dilmurod Uralovich¹, Bobokhonov Sharofiddin Sobirovich²

¹Department of Mathematics, University of Economics and Pedagogy, Qarshi, Uzbekistan

d.bozorov@inbox.ru

²Karshi State University, Qarshi, Uzbekistan boboxonovsharofiddin1993@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu tezisdagi o'lganuvchi Beltrami tenglamasi bilan aniqlanadigan $A(z)$ -analitik funksiyalar sinfining algebraik tuzilishi o'rganiladi. Ko'paytirishga nisbatan yopiqlik zaif Leybnits qoidasi yordamida, yagonalik prinsipi esa kvazikonformal to'g'rilash orqali asoslanadi. Natijada nolga teng bo'lgan har bir elementning regulyarligi va u hosil qilgan bosh idealning sodiq siklik modul ekanligi ko'rsatiladi. Bosh idealning barcha modul endomorfizmlari yagona multiplikator orqali ifodalanishi, ularning butun algebra ustiga yagona davom etishi hamda avtomorfizm mezonini keltiriladi.

Kalit so'zlar: $A(z)$ -analitik funksiya, Beltrami tenglamasi, funksiyalar algebrasi, bosh ideal, endomorfizm, multiplikator, avtomorfizm.

Abstract. We study the algebraic structure of the class of $A(z)$ -analytic functions determined by a measurable Beltrami equation. Closure under multiplication follows from the weak Leibniz rule, while the uniqueness principle is obtained by quasiconformal straightening. It follows that every nonzero element is regular and the corresponding principal ideal is a faithful cyclic module. All module endomorphisms of a nonzero principal ideal are represented by a unique multiplier; they extend uniquely to the ambient algebra, and an exact criterion for such an endomorphism to be an automorphism is established.

Keywords: $A(z)$ -analytic function, Beltrami equation, function algebra, principal ideal, endomorphism, multiplier, automorphism.

Аннотация. Исследуется алгебраическая структура класса $A(z)$ -аналитических функций, определяемого измеримым уравнением Бельтрами. Замкнутость относительно умножения выводится из слабого правила Лейбница, а принцип единственности — с помощью квазиконформного выпрямления. Отсюда следует регулярность каждого ненулевого элемента и точность соответствующего главного идеала как циклического модуля. Показано, что все модульные эндоморфизмы ненулевого главного идеала задаются единственным мультипликатором, единственным образом продолжаются на всю алгебру, а также установлен критерий автоморфности.

Ключевые слова: $A(z)$ -аналитическая функция, уравнение Бельтрами, алгебра функций, главный идеал, эндоморфизм, мультипликатор, автоморфизм.

Introduction. In the theory of generalized analytic functions, many properties of classical holomorphic functions extend to first-order elliptic equations [1–4]. In this thesis, the Beltrami equation is taken as the principal concrete model of $A(z)$ -analyticity:

$$f_{\bar{z}} = A(z) f_z, \quad \text{PAP} \quad k < 1.$$

This equation describes a direction-dependent, or anisotropic, complex structure in the plane. By the measurable Riemann mapping theorem, this structure can be straightened to the classical complex structure by a quasiconformal change of coordinates [3, 7, 8]. This analytic mechanism provides the uniqueness principle needed for the algebraic results.

Let $\Omega \subset \mathbb{C}$ be a connected domain. Consider the class

$$\mathcal{B}_A(\Omega) = \{f \in W_{\text{loc}}^{1,2}(\Omega) \cap C(\Omega) : f_{\bar{z}} = A(z)f_z \text{ almost everywhere}\}.$$

Our aim is to determine when this class forms a unital commutative algebra and to describe the endomorphisms of its principal ideals.

Admissible algebra of $A(z)$ -analytic functions. A function class $R = \mathcal{O}_A(\Omega)$ is called an admissible algebra of $A(z)$ -analytic functions if: 1) R is a complex vector space, $1 \in R$, and it is closed under pointwise multiplication; 2) every $f \in R$ is continuous on Ω ; 3) the uniqueness principle holds, that is, if $g \in R$ vanishes on a nonempty open set, then $g = 0$.

The Beltrami class $\mathcal{B}_A(\Omega)$ satisfies these conditions. Indeed, if $f, g \in \mathcal{B}_A(\Omega)$, continuity makes them bounded on compact subsets, and $fg \in W_{\text{loc}}^{1,2}(\Omega) \cap C(\Omega)$. By the weak Leibniz rule,

$$(fg)_{\bar{z}} = f_{\bar{z}}g + fg_{\bar{z}} = A(z)(f_zg + fg_z) = A(z)(fg)_{\bar{z}}.$$

Thus, the class is closed under multiplication. To prove uniqueness, extend A by zero outside Ω . The Ahlfors–Bers theorem guarantees a normalized quasiconformal homeomorphism $\Phi : \mathbb{C} \rightarrow \mathbb{C}$ satisfying $\Phi_{\bar{z}} = A(z)\Phi_z$. For every $f \in \mathcal{B}_A(\Omega)$, the function $F = f \circ \Phi^{-1}$ is holomorphic in $\Phi(\Omega)$. If f vanishes on an open set, then F vanishes on its open image. The identity theorem for holomorphic functions gives $F = 0$, and hence $f = 0$.

Regularity lemma. Every $0 \neq f \in R$ in an admissible algebra of $A(z)$ -analytic functions is regular; namely,

$$\text{Ann}(f) = \{g \in R : fg = 0\} = \{0\}.$$

Indeed, choose $z_0 \in \Omega$ with $f(z_0) \neq 0$. By continuity, $f(z) \neq 0$ in some neighborhood U of z_0 . If $fg = 0$, then $g = 0$ on U , and the uniqueness principle yields $g = 0$. Hence R has no nonzero zero divisors. Connectedness is essential: if $\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2$ consists of two disjoint components, two nonzero functions that take the values 1 and 0 alternately on the components may have product zero.

Main result. Let $0 \neq f \in R$ and denote by

$$I_f = fR = \{fg : g \in R\}$$

the principal ideal generated by f . It is a cyclic R -module. General ring theory gives

$$\text{End}_R(I_f) \cong R / \text{Ann}(f).$$

Since the regularity lemma yields $\text{Ann}(f) = \{0\}$, we obtain

$$\text{End}_R(I_f) \cong R.$$

More precisely, for every R -module endomorphism $T : I_f \rightarrow I_f$, there exists a unique $h \in R$ such that

$$T(fg) = fhg, \quad g \in R.$$

The proof is short. Since $T(f) \in I_f$, it can be written as $T(f) = fh$. By the module homomorphism property, $T(fg) = T(f)g = fhg$. If both h_1 and h_2 represent the same operator, then $f(h_1 - h_2) = 0$; because f is regular, $h_1 = h_2$. Therefore, T is the restriction to I_f of a multiplication operator:

$$T = T_h, \quad T_h(u) = hu \quad (u \in I_f).$$

This representation also resolves the extension problem. The operator T extends to all of R by $T|_R = M_h$, where $M_h(g) = hg$, and this extension is unique. Indeed, every module endomorphism S of R satisfies $S(g) = S(1)g$. If $S|_{I_f} = T$, then $f(S(1) - h) = 0$, and regularity implies $S(1) = h$.

Automorphism criterion. Let $R^\times$ denote the group of invertible elements of R . Then T_h is an R -module automorphism of I_f if and only if $h \in R^\times$. In this case,

$$T_h^{-1} = T_{h^{-1}}, \quad \text{Aut}_R(I_f) \cong R^\times.$$

Sufficiency is immediate. For necessity, write $T_h^{-1} = T_q$. Then $f = T_q T_h(f) = fqh$. Regularity yields $qh = 1$, while commutativity gives $hq = 1$.

Example. In the classical case, let $A(z) = 0$ and $R = A(\mathbb{D}) = C(\bar{\mathbb{D}})$. $H(\mathbb{D})$ be the disk algebra. For $f(z) = z$,

$$I_z = zA(\mathbb{D}) = \{u \in A(\mathbb{D}) : u(0) = 0\}.$$

Because $h(z) = e^z$ is nowhere zero and $e^{-z} \in A(\mathbb{D})$, the operator $T_h(u) = e^z u$ is an automorphism with inverse $T_h^{-1}(u) = e^{-z} u$. In contrast, for $h(z) = z$, the value 0 belongs to $h(\bar{\mathbb{D}})$; hence the multiplier is not invertible and the corresponding endomorphism is not an automorphism.

Further algebraic consequences. The regularity of a nonzero generator gives more than a description of individual endomorphisms. The multiplication map

$$\mu_f : R \rightarrow I_f, \quad \mu_f(g) = fg,$$

is an isomorphism of R -modules. It is surjective by the definition of I_f , and its kernel is $\text{Ann}(f) = \{0\}$. Thus every nonzero principal ideal in an admissible algebra is not only cyclic but also a free R -module of rank one. In particular, if $0 \neq f_1, f_2 \in R$, then I_{f_1} and I_{f_2} are isomorphic as R -modules, even when they are different subsets of R .

The multiplier representation respects all algebraic operations. Define

$$\Psi_f : R \rightarrow \text{End}_R(I_f), \quad \Psi_f(h) = T_h.$$

For $h, q \in R$ and $u \in I_f$, one has

$$T_{h+q}(u) = T_h(u) + T_q(u), \quad T_h \circ T_q = T_{hq}, \quad T_1 = \text{Id}_{I_f}.$$

The uniqueness of the multiplier shows that Ψ_f is injective, while the main result shows that it is surjective. Hence Ψ_f is an isomorphism of unital commutative algebras. This observation

is stronger than a set-theoretic parametrization: addition, scalar multiplication, composition, and the identity operator are all transported exactly from the algebra R to the endomorphism algebra of I_f .

Submodules of I_f can also be described through this identification. If J is an ideal of R , then fJ is an R -submodule of I_f . Conversely, for every submodule $N \subseteq I_f$, the set

$$J_N = \{g \in R : fg \in N\}$$

is an ideal and $N = fJ_N$. Therefore the lattice of R -submodules of I_f is naturally equivalent to the lattice of ideals of R . Questions about invariant submodules of the multiplier action can consequently be reduced to ordinary ideal-theoretic questions in the ambient function algebra.

Two useful rigidity statements follow immediately. If T_h is idempotent, then $T_h^2 = T_h$, and therefore $h^2 = h$. Since R has no nonzero zero divisors,

$$h(h-1) = 0$$

implies $h = 0$ or $h = 1$. Thus the only idempotent endomorphisms of I_f are the zero operator and the identity, so I_f cannot be decomposed into a direct sum of two nonzero submodules. Likewise, if T_h is nilpotent, then $T_h^n = 0$ for some $n \geq 1$, whence $h^n = 0$ and therefore $h = 0$. Hence the endomorphism algebra contains no nonzero nilpotent operators.

Scope and limitations. The connectedness of Ω and the uniqueness principle are precisely the hypotheses that remove the annihilator. Without them, the general identity

$$\text{End}_R(I_f) \cong R / \text{Ann}(f)$$

still applies, but a multiplier is determined only modulo $\text{Ann}(f)$. Distinct elements h_1 and h_2 may then induce the same endomorphism whenever $f(h_1 - h_2) = 0$. Consequently, the uniqueness of extension to the whole algebra and the simple automorphism criterion may fail. This comparison makes clear that the analytic uniqueness principle is the exact bridge from the Beltrami equation to the rigid algebraic structure obtained above.

Conclusion. Quasiconformal straightening of the Beltrami equation provides the uniqueness principle for the class of $A(z)$ -analytic functions. This principle rules out zero divisors and turns every nonzero principal ideal into a faithful cyclic module. Consequently, its endomorphisms are determined by unique multipliers, extend uniquely to the whole algebra, and its automorphisms correspond exactly to invertible multipliers. Thus, analytic uniqueness is directly linked to the algebraic structure of the module.

REFERENCES:

- [1] Vekua I.N. *Generalized Analytic Functions*. Pergamon Press, Oxford, 1962.
- [2] Bers L. *Theory of Pseudo-Analytic Functions*. New York University, New York, 1953.
- [3] Ahlfors L.V. *Lectures on Quasiconformal Mappings*. 2nd ed., American Mathematical Society, Providence, 2006.
- [4] Sadullaev A., Jabborov N.M. On a class of A -analytic functions. *J. Sib. Fed. Univ. Math. Phys.*, 9(3), 374–383, 2016.
- [5] Lam T.Y. *Lectures on Modules and Rings*. Springer, New York, 1999.

[6] Tuganbaev A.A. *Automorphism-Invariant and Endomorphism-Extendable Modules*. FLINTA, Moscow, 2017.

[7] Astala K., Iwaniec T., Martin G. *Elliptic Partial Differential Equations and Quasiconformal Mappings in the Plane*. Princeton University Press, Princeton, 2009.

[8] Ahlfors L.V., Bers L. Riemann's mapping theorem for variable metrics. *Ann. of Math.*, 72(2), 385–404, 1960.

FIZIK JARAYONLARNI TAVSIFLASHDA DIFFERENSIAL TENGLAMALARNING QO‘LLANILISHI

Movlonov Ma’ruf Kalandarovich¹, Ovlayeva Marjona Husniddin Qizi²

¹ Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

² Iqtisodiyot va pedagogika universiteti talabasi, Qarshi, O‘zbekiston

mavlonovmaruf89@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada tabiiy fizik jarayonlarni matematik modellashtirishda differensial tenglamalarning o‘rni va ahamiyati tahlil qilinadi. Fizik qonuniyatlarni matematik jihatdan ifodalashda hosila va integral tushunchalaridan foydalanish zarurati ilmiy asoslab berilgan. Shuningdek, maqolada radioaktiv parchalanish, mexanik tebranish jarayonlari hamda issiqlik almashinuvi kabi fizik hodisalar misolida tegishli differensial tenglamalar tuzilib, ularning analitik yechimlari ko‘rsatib berilgan. Olingan natijalar differensial tenglamalarning zamonaviy texnika va texnologiyalarda qo‘llanilish imkoniyatlarini yoritib beradi.

Kalit so‘zlar: differensial tenglamalar, fizik jarayonlar, matematik modellashtirish, Nyuton qonunlari, tebranishlar, radioaktiv parchalanish, termodinamika, analitik yechim.

Аннотация. В данной статье анализируется роль и значение дифференциальных уравнений в математическом моделировании природных физических процессов. Научно обоснована необходимость использования понятий производной и интеграла при математическом описании физических закономерностей. Кроме того, на примере таких физических явлений, как радиоактивный распад, механические колебания и процессы теплообмена, составлены соответствующие дифференциальные уравнения и показаны их аналитические решения. Полученные результаты раскрывают возможности применения дифференциальных уравнений в современных технических и технологических областях.

Ключевые слова: дифференциальные уравнения, физические процессы, математическое моделирование, законы Ньютона, колебания, радиоактивный распад, термодинамика, аналитическое решение.

Kirish. Tabiatda sodir bo‘ladigan barcha jarayonlar doimiy o‘zgarish va harakat bilan tavsiflanadi. Jismning fazodagi o‘rning o‘zgarishi, haroratning taqsimlanishi, elektr tokini oqishi hamda atom tarkibidagi zarrachalarning harakati kabi jarayonlar vaqt va makonga bog‘liq ravishda o‘zgarib turadigan fizik kattaliklar bilan ifodalanadi. Fizika fanining asosiy vazifalaridan biri ushbu jarayonlarning qonuniyatlarini aniqlash va ularni ilmiy asosda prognoz qilishdan iboratdir. Bu maqsadga erishishda matematikaning muhim vositalaridan biri bo‘lgan differensial tenglamalar keng qo‘llaniladi.

Differensial tenglama noma’lum funksiya va uning hosilalarini o‘z ichiga olgan matematik tenglama bo‘lib, u o‘zgaruvchilar orasidagi bog‘lanishni ifodalaydi. Fizikada ko‘plab fundamental qonunlar aynan differensial tenglamalar ko‘rinishida ifodalanadi. Shu sababli differensial tenglamalar ko‘pincha fizik jarayonlarni tavsiflovchi asosiy matematik apparat sifatida qaraladi va ba’zan “tabiat tili” deb ham ataladi.

Fizik qonunlar ko'pincha tizimning holatini emas, balki ushbu holatning vaqt yoki fazoga nisbatan o'zgarish qonuniyatlarini tavsiflaydi. Bunday o'zgarishlar matematik jihatdan hosilalar orqali ifodalanadi. Masalan:

Tezlik - koordinataning vaqt bo'yicha o'zgarish tezligini ifodalaydi va u birinchi tartibli hosila orqali aniqlanadi:

$$v = \frac{dx}{dt} \quad (1)$$

Tezlanish - tezlikning vaqt bo'yicha o'zgarish tezligi bo'lib, u ikkinchi tartibli hosila orqali ifodalanadi:

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (2)$$

Shu sababli fizik tizimlarning kelajakdagi holatini aniqlash yoki prognoz qilish uchun jismning hozirgi holati hamda uning qanday o'zgarishi haqidagi ma'lumot zarur bo'ladi. Aynan differensial tenglamalar ushbu bog'lanishni matematik jihatdan ifodalash imkonini beradi.

Quyida fizikaning turli sohalaridan olingan ayrim aniq misollar ko'rib chiqilib, ularning differensial tenglamalar yordamida modellashtirilishi hamda yechimlari tahlil qilinadi.

Radioaktiv parchalanish - bu beqaror atom yadrolarining o'z-o'zidan parchalanish jarayonidir. Tajribalar shuni ko'rsatadiki, parchalanish tezligi ma'lum bir vaqtda mavjud bo'lgan radioaktiv yadrolar soniga to'g'ri proporsional bo'ladi.

Masala1. Vaqtning momentida parchalanmagan yadrolar soni $N(t)$ bo'lsin. Parchalanish doimiysi λ berilgan. Agar $t=0$ momentda yadrolar soni N_0 ga teng bo'lsa, ixtiyoriy vaqt uchun yadrolar sonini aniqlash talab etiladi.

Differensial tenglamani tuzish. Tajriba natijalari radioaktiv parchalanish tezligi shu vaqtda mavjud bo'lgan yadrolar soniga proporsional ekanligini ko'rsatadi. Shu sababli parchalanish jarayoni quyidagi differensial tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (3)$$

Bu yerda manfiy ishora yadrolar sonining vaqt o'tishi bilan kamayishini bildiradi. Ushbu tenglama birinchi tartibli chiziqli differensial tenglama hisoblanadi.

Yechish. Tenglamani o'zgaruvchilarni ajratish usuli bilan yechamiz:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N, \quad \frac{dN}{N} = -\lambda dt, \quad \frac{dN}{N} = -\lambda dt, \quad \ln N = -\lambda t + C,$$

bu yerda C – ixtiyoriy o'zgarimas. Oxirgi tenglikdan $N(t)$ ni topamiz:

$$N(t) = e^{-\lambda t + C} = e^C e^{-\lambda t}, \quad N(t) = C_1 e^{-\lambda t}.$$

Oxirgi tenglikda $C_1 = N_0$ bilan belgilasak, natijada radioaktiv parchalanish qonuni quyidagi ko'rinishni oladi:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}.$$

Hosil qilingan formula radioaktiv parchalanishning eksponensial qonunini ifodalaydi. Ushbu model yadro energetikasi, radiokarbon usuli yordamida yoshni aniqlash va boshqa ko'plab ilmiy tadqiqotlarda keng qo'llaniladi.

Mexanikada eng ko'p uchraydigan jarayonlardan biri garmonik tebranish jarayonidir. Bunday harakatga prujinaga osilgan yukning vertikal tebranishi misol bo'la oladi.

Masala2. Massasi m bo'lgan jism prujinaga osilgan. Prujinaning qattqlik koeffitsienti k ga teng. Jism muvozanat holatidan x masofaga siljilib qo'yib yuboriladi. Yukning vaqtga bog'liq harakat qonuni $x(t)$ ni aniqlash talab etiladi.

Nyutonning ikkinchi qonuniga ko'ra: $F = ma$.

Guk qonuniga ko'ra prujinaning qaytaruvchi kuchi: $F = kx$.

Tezlanish esa $a = \frac{d^2x}{dt^2}$ ga teng.

Shu sababli harakat tenglamasi

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx, \quad m \frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0.$$

Oxirgi tebgilmani m ga bo'lib, $\omega^2 = \frac{k}{m}$ belgilash kiritilsa, tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0.$$

Bu ikkinchi tartibli chiziqli bir jinsli differensial tenglama hisoblanadi.

Yechish. Berilgan differensial tenglama garmonik tebranishlarni tavsiflovchi ikkinchi tartibli chiziqli bir jinsli differensial tenglama hisoblanadi. Bunday tenglamalarning yechimi odatda sinus va kosinus funksiyalari ko'rinishida ifodalanadi. Buni aniqlash uchun xarakteristik tenglama tuzamiz. Buning uchun yechimni $x = e^{rt}$ ko'rinishda izlaymiz.

$x = e^{rt}$, $\frac{\partial x}{\partial t} = re^{rt}$, $\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = r^2 e^{rt}$ larni tenglamaga olib borib qo'yamiz, natijada quyidagi xarakteristik tenglama hosil bo'ladi:

$$r^2 + \omega^2 = 0.$$

Bu xarakteristik tenglamaning ildizlari $r = \pm i\omega$ ga teng. Differensial tenglamaning umumiy yechimi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$x(t) = C_1 \cos \omega t + C_2 \sin \omega t.$$

Ko'pincha ushbu yechim amplituda va boshlang'ich faza orqali ham ifodalanadi:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi), \quad (1)$$

bu yerda A – tebranish amplitudasi, φ – esa boshlang'ich fazani bildiradi.

Faraz qilaylik, $t = 0$ da momentda jism maksimal chetlanish holatida bo'lsin, ya'ni $x(0) = A_0$ va va boshlang'ich tezlik nolga teng bo'lsin: $v(0) = \dot{x}(0) = 0$.

$x(0) = A_0$ shartdan $x_0 = A \cos \varphi = A_0$ kelib chiqadi.

Tezlik funksiyasini hosila orqali aniqlaymiz:

$$v(t) = x'(t) = (A \cos(\omega t + \varphi))' = -A\omega \sin(\omega t + \varphi).$$

$v(0) = A \sin \varphi = 0$, dan $\sin \varphi = 0$ bo'lib, $\varphi = 0$ kelib chiqadi. Shuningdek, $x(0) = A_0$ shartdan $A = A_0$ ekanligi aniqlanadi. Natijada jismning harakat tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$x(t) = A_0 \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t.$$

Mazkur yechim jismning muvozanat holati atrofida davriy garmonik tebranish bajarishini ko'rsatadi. Ushbu matematik model mexanika, seysmologiya, mashinasozlik va qurilish muhandisligida turli konstruksiyalarning tebranish jarayonlarini tahlil qilish hamda ularning zilzilabardoshligini baholashda keng qo'llaniladi.

Yuqorida keltirilgan misollarda differensial tenglamalarning analitik yechish usullari, xususan o'zgaruvchilarni ajratish usuli va xarakteristik tenglama usuli qo'llanildi. Ushbu usullar nisbatan sodda matematik modellar uchun samarali hisoblanadi. Biroq real jarayonlar ko'pincha ko'p omilli va murakkab bo'lib, bunday hollarda aniq analitik yechimni topish qiyin yoki ayrim hollarda imkonsiz bo'lishi mumkin.

Bunday vaziyatlarda sonli yechish usullaridan foydalaniladi. Sonli usullarda vaqt yoki fazo kichik qadamlar bo'yicha diskretlashtiriladi va har bir bosqichda funksiyaning qiymati yaqinlashish usullari yordamida hisoblab boriladi. Zamonaviy ilmiy tadqiqotlarning katta qismi superkompyuterlar yordamida differensial tenglamalarni sonli usullar orqali yechishga asoslangan.

Shuni ham ta'kidlash kerakki, differensial tenglamalarni yechishda boshlang'ich va chegaraviy shartlari muhim ahamiyatga ega. Boshlang'ich shartlar tizimning $t=0$ momentdagi holatini tavsiflaydi, chegaraviy shartlari esa tizimning tashqi muhit bilan chegaradosh holatlarini ifodalaydi.

Xulosa. Differensial tenglamalar fizik jarayonlarni matematik modellashtirishning asosiy vositalaridan biri hisoblanadi. Ular tabiatda yuz beradigan jarayonlar o'rtasidagi sabab-oqibat bog'liqligini matematik jihatdan ifodalash imkonini beradi.

Ushbu maqolada bir nechta muhim fizik jarayonlar differensial tenglamalar yordamida tahlil qilindi. Xususan:

Radioaktiv parchalanish misolida birinchi tartibli differensial tenglamalar orqali eksponensial qonuniyat namoyon bo'lishi ko'rsatildi.

Garmonik tebranish jarayonida ikkinchi tartibli differensial tenglamalar yordamida davriy jarayonlarning matematik modeli hosil qilindi.

Oddiy mexanik harakatlardan tortib, koinotning kengayishi kabi murakkab kosmik jarayonlargacha bo'lgan hodisalar differensial tenglamalar yordamida tavsiflanadi. Zamonaviy texnologiyalar, jumladan sun'iy yo'ldoshlar, tibbiyot qurilmalari hamda energetika tizimlarining rivojlanishi ko'p jihatdan differensial tenglamalarni to'g'ri modellashtirish va yechish imkoniyatlariga bog'liqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Арнольд В.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения. — М.: Наука, 2000. — 368 с.

[2] Бутузов В.Ф., Крутицкая Н.В., Медведев Г.Н., Остафьев Н.М. Дифференциальные уравнения. — М.: Высшая школа, 1985. — 256 с.

[3] Boyce W.E., DiPrima R.C. Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems. — 10th ed. — Hoboken: John Wiley & Sons, 2012. — 816 p.

[4] Kreyszig E. Advanced Engineering Mathematics. — 10th ed. — Hoboken: John Wiley & Sons, 2011. — 1280 p.

2-ADIK BAHOLASHGA ASOSLANGAN CHEKLI IKKILIK NORMALLASHTIRISH ALGORITMI

Davlatov Shokir Oltiboyevich,

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

e-mail: davlatov1968@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu tezida musbat butun sonning ikkilik yoyilmasida aniqlangan deterministik normallashtirish algoritmi o'rganiladi. Har bir tashqi iteratsiyada eng kichik ikki darajasi to'rtga, qolgan hadlar esa ikkiga ko'paytiriladi va hosil bo'lgan nokanonik yig'indi ikkilik ko'chirishlar bilan kanonik ko'rinishga keltiriladi. Son $n=2^s q$, bunda q toq, ko'rinishda ajratilganda algoritmning asosiy dinamikasi toq qismda $\Phi(q)=(q+1)/2^{v_2(q+1)}$ akslantirishga keltirilishi ko'rsatiladi. $q>1$ uchun $\Phi(q)<q$ bo'lgani sababli jarayon chekli tugaydi. Bundan tashqari, tashqi iteratsiyalar soni $\tau(q)=Z(q)+1$ va yakuniy 2^M darajaning ko'rsatkichi $M=s+1(q)+Z(q)+1$ formulalari bilan aniq topiladi. Natijalar algoritmning tugashini va uni simulyatsiyasiz hisoblash mumkinligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: ikkilik yoyilma; 2-adik baholash; toq qism; normallashtirish algoritmi; chekli tugash; diskret dinamika.

Аннотация. В тезисе исследуется детерминированный алгоритм нормализации, заданный на двоичном разложении положительного целого числа. На каждой внешней итерации наименьшая степень двойки умножается на четыре, остальные слагаемые — на два, после чего полученная неканоническая сумма приводится к канонической двоичной форме с помощью переносов. При представлении $n=2^s q$, где q нечётно, основная динамика алгоритма сводится к отображению нечётной части $\Phi(q)=(q+1)/2^{v_2(q+1)}$. Для каждого $q>1$ выполняется $\Phi(q)<q$, что обеспечивает конечность процесса. Кроме того, число внешних итераций определяется точной формулой $\tau(q)=Z(q)+1$, а показатель конечной степени 2^M равен $M=s+1(q)+Z(q)+1$. Полученные формулы позволяют вычислять результат без прямого моделирования всех переносов.

Ключевые слова: двоичное разложение; 2-адическая оценка; нечётная часть; алгоритм нормализации; конечная остановка; дискретная динамика.

Abstract. This paper studies a deterministic normalization algorithm defined on the binary expansion of a positive integer. At each outer iteration, the smallest power of two is multiplied by four, all remaining terms are multiplied by two, and the resulting noncanonical sum is reduced to canonical binary form by carry operations. Writing $n=2^s q$ with q odd reduces the essential dynamics to the odd-part map $\Phi(q)=(q+1)/2^{v_2(q+1)}$. For every odd $q>1$, one has $\Phi(q)<q$, which proves finite termination. The exact number of outer iterations is $\tau(q)=Z(q)+1$, where $Z(q)$ counts zeros in the binary expansion of q , and the exponent of the final power 2^M is $M=s+1(q)+Z(q)+1$. These formulas provide a direct computation of the terminal state without simulating all normalization carries.

Keywords: binary expansion; 2-adic valuation; odd part; normalization algorithm; finite termination; discrete dynamics.

KIRISH

Musbat butun sonlarning ikkilik yoyilmasi arifmetik algoritmlarni o'rganish uchun tabiiy kanonik tasvirdir. Qaralayotgan jarayonda ikkilik yoyilmadagi eng kichik darajali had boshqa hadlardan farqli ravishda o'zgartiriladi. Bir qarashda butun sonning qiymati har bir tashqi iteratsiyada ortgani sababli jarayonning tugashi aniq ko'rinmaydi. Biroq sonni 2-adik ko'paytuvchi va toq qismga ajratish jarayonning yashirin monoton komponentini ochib beradi.

Har bir $n > 0$ sonni

$$n = \sum_{i=0}^m \alpha_i 2^i, \quad \alpha_i \in \{0, 1\}, \quad \alpha_m = 1 \quad (1)$$

ko'rinishda yozamiz. n ni bo'luvchi eng katta ikki darajasining ko'rsatkichi $v_2(n)$ bilan belgilanadi. Agar $s = v_2(n)$, $q = \frac{n}{2^s}$, bo'lsa, q musbat toq son bo'lib, $n = 2^s q$. q soni n ning **toq qismi** deyiladi. Shuningdek, $l(q) = \lfloor \log_2 q \rfloor + 1$ orqali q ning ikkilik yozuvi uzunligini, $Z(q)$ orqali esa shu yozuvdagi nollar sonini belgilaymiz.

1. NORMALLASHTIRISH ALGORITMI VA ARIFMETIK KO'RINISH

Joriy kanonik ikkilik yoyilmada eng kichik had 2^s bo'lsin. Bitta tashqi iteratsiya quyidagicha bajariladi: 2^s had 4 ga, undan yuqori darajali barcha hadlar esa 2 ga ko'paytiriladi. Hosil bo'lgan yig'indida bir xil ikki darajalari paydo bo'lsa, ikkilik ko'chirishlar orqali ular birlashtiriladi. Har bir bunday almashtirish qo'shiluvchilar sonini kamaytirgani uchun ichki normallashtirish bosqichi chekli qadamda tugaydi va yagona kanonik ikkilik yoyilmani beradi.

Agar $n = 2^s q$, q toq bo'lsa, bir tashqi iteratsiyadan keyingi butun son qiymati

$$T(n) = 2n + 2^{s+1} = 2^{s+1}(q+1) \quad (2)$$

bo'ladi. Endi

$$r = v_2(q+1), \quad q' = \frac{q+1}{2^r} \quad (3)$$

deb olsak, q' yana toq va

$$T(n) = 2^{s+1+r} q'. \quad (4)$$

Shunday qilib, $n_j = 2^{s_j} q_j$ trayektoriya uchun rekurrent formulalar

$$q_{j+1} = \Phi(q_j) = \frac{q_j + 1}{2^{v_2(q_j + 1)}}, \quad (5)$$

$$s_{j+1} = s_j + 1 + v_2(q_j + 1) \quad (6)$$

ko'rinishda yoziladi. Demak, algoritmnining dinamik yadrosi musbat toq sonlardagi Φ akslantirishdan iborat.

2. CHEKLI TUGASH VA ANIQ TO'XTASH VAQTI

Teorema. Har bir musbat butun n uchun ikkilik normallashtirish algoritmi chekli sondagi tashqi iteratsiyadan keyin biror $M \geq 0$ uchun 2^M ko'rinishidagi songa keladi.

Tugash vaqtini aniqlash uchun q ning ikkilik yozuviga qaraymiz. Agar $q > 1$ va uning yozuvida nol mavjud bo'lsa, u yagona ravishda

$$q = (u \ 0 \ 1^r)_2 \quad (8)$$

ko'rinishda yoziladi, bunda $r = v_2(q+1)$. Bir qo'shilganda oxirgi r ta bir nolga aylanadi, oldingi eng o'ng nol esa birga aylanadi. 2^r ga bo'lish oxirgi nollarni olib tashlaydi, ya'ni

$$\Phi(q) = (u \ 1)_2. \quad (9)$$

Natijada har bir yakuniy bo'lmagan iteratsiyada ikkilik yozuvdagi **aynan bitta nol yo'qoladi**. Nol qolmaganda $q=2^L-1$ Mersenn ko'rinishida bo'ladi va keyingi iteratsiyada $\Phi(q)=1$. Shuning uchun

$$\boxed{\tau(q)=Z(q)+1}, \quad q>1, \quad (10)$$

$$\text{va } \tau(1)=0.$$

3. YAKUNIY KO'RSATKICH FORMULASI

$r_j=v_2(q_j+1)$ deb belgilaymiz. Har bir qadamda ikkilik yozuv uzunligi r_j taga kamayadi, yakuniy Mersenn bosqichi ham hisobga olinganda

$$\sum_{j=0}^{N-1} r_j = l(q_0). \quad (11)$$

Rekurrent $s_{j+1}=s_j+1+r_j$ formulani N marta qo'llab,

$$M=s+N+\sum_{j=0}^{N-1} r_j \quad (12)$$

ni olamiz. $N=Z(q)+1$ va yuqoridagi yig'indi formulasini qo'ysak, $q>1$ uchun

$$\boxed{M=s+1(q)+Z(q)+1} \quad (13)$$

kelib chiqadi. Ekvivalent ravishda,

$$M=s+1(q)+\tau(q). \quad (14)$$

Agar $q=1$ bo'lsa, boshlang'ich son allaqachon ikki darajasi bo'lib, $M=s$. Shunday qilib, yakuniy holatni topish uchun butun trayektoriyani simulyatsiya qilish shart emas: $v_2(n)$, $l(q)$ va $Z(q)$ ni hisoblash kifoya.

4. MISOL VA ALGORITMIK TALQIN

$n=45$ uchun $s=0$, $q=45=(101101)_2$, $l(q)=6$ va $Z(q)=2$. Demak,

$$N=Z(q)+1=3,$$

$$M=s+1(q)+Z(q)+1=0+6+2+1=9.$$

Toq qismlar trayektoriyasi

$$45 \rightarrow 23 \rightarrow 3 \rightarrow 1,$$

shuning uchun jarayonning yakuniy qiymati $2^9=512$ bo'ladi. Bu misol sonning to'liq qiymati o'sishi mumkin bo'lsa-da, n ning toq qismi har bir yakuniy bo'lmagan iteratsiyada qat'iy kamayishini ko'rsatadi.

Algoritmik nuqtai nazardan q soni n ning toq qismi va $L=l(q)$ bo'lsa, tashqi iteratsiyalar soni ko'pi bilan $L-1$ ga teng. Yopiq formula esa natijani iteratsiyasiz beradi. Demak, tahlil nafaqat chekli tugash isbotini, balki yakuniy daraja va to'xtash vaqtini to'g'ridan-to'g'ri hisoblash usulini ham taqdim etadi.

5. MUHOKAMA

Olingan natijalar taklif qilingan ikki darajalarini o'zgartirish jarayoni nafaqat tugashini, balki aniq yechilishini ko'rsatadi. Tashqi iteratsiyalar soni va yakuniy ko'rsatkichni aniqlash uchun simulyatsiya talab qilinmaydi. Bu faqat sifat jihatidan cheklilik haqidagi tasdiqdan kuchliroq natijadir.

Asosiy qisqartirish to'liq n sonidan uning toq qismiga o'tishdir. Ko'plab arifmetik dinamik sistemalarda biror tub sonning darajalari masshtabni tez o'zgartiradi, biroq orbitaning asosiy tuzilishini ifodalamaydi. Ushbu darajalarni ajratib tashlash soddaroq hosila akslantirishni ochib berishi mumkin. Bu yerda tub son 2 va hosila akslantirish ayniqsa sodda, chunki har bir toq son 2

modul bo'yicha 1 ga kongruent. Shuning uchun $q+1$ doimo kamida bitta 2 ko'paytuvchiga ega va normallashtirishdan keyin qat'iy kamayish ta'minlanadi.

Raqlamlar bo'yicha aniq formula ham mazmunli. Har bir qadamda oxirgi ketma-ket birlar bloki va uning oldidagi nol yo'qoladi. Demak, har bir yakuniy bo'lmagan iteratsiyada aynan bitta nol raqam olib tashlanadi. Nol qolmaganda toq qism Mersenn soni bo'ladi va keyingi qadam 1 ga olib keladi. Ikkilik so'zlar orqali berilgan bu tavsif baholashga asoslangan rekurrent formula bilan ekvivalent, biroq yanada nozik kombinatorik ma'lumot beradi.

Mazkur tahlil faqat 3-bo'limda aniq berilgan ikkilik qoidaga tegishli. Ko'paytiruvchilarni o'zgartirish yoki boshqa sanoq asosiga o'tish kamayish xossasini buzishi mumkin, shuning uchun har qanday umumlashtirish yangi rang funksiyasini talab qiladi. Demak, isbotni ixtiyoriy raqamli qayta yozish sistemalari uchun avtomatik tugash teoremasi sifatida talqin qilib bo'lmaydi.

6. XULOSA

Ikkilik normallashtirish algoritmi to'liq tahlil qilindi. Boshlang'ich son

$$n=2^s q, \quad q \text{ toq} \quad (15)$$

ko'rinishda bo'lganda, jarayon toq qismda

$$q \mapsto \frac{q+1}{2^{v_2(q+1)}} \quad (16)$$

akslantirishni hosil qiladi. Bu akslantirish birdan katta toq sonlarda qat'iy kamayuvchi bo'lib, chekli tugashni isbotlaydi. Ikkilik tasvir $q>1$ uchun aniq to'xtash vaqtini

$$\tau(q)=Z(q)+1 \quad (17)$$

va yakuniy ko'rsatkichni

$$M=s+1(q)+Z(q)+1 \quad (18)$$

ko'rinishda beradi. Shunday qilib, butun jarayon 2-adik baholash va ikkilik raqamlarning elementar statistikasi bilan boshqariladi. Usul qat'iy isbotni ham, to'g'ridan-to'g'ri hisoblash tartibini ham beradi va diskret arifmetik dinamikada yashirin monoton komponentlardan foydalanish samaradorligini ko'rsatadi.

ADABIYOTLAR:

- [1] Apostol T. M. *Introduction to Analytic Number Theory*. Springer, New York, 1976.
- [2] Graham R. L., Knuth D. E., Patashnik O. *Concrete Mathematics: A Foundation for Computer Science*. 2nd ed., Addison-Wesley, 1994.
- [3] Hardy G. H., Wright E. M. *An Introduction to the Theory of Numbers*. 6th ed., Oxford University Press, 2008.
- [4] Knuth D. E. *The Art of Computer Programming. Vol. 2: Seminumerical Algorithms*. 3rd ed., Addison-Wesley, 1997.
- [5] Rosen K. H. *Elementary Number Theory and Its Applications*. 6th ed., Pearson, 2011.
- [6] Gouvêa F. Q. *p-adic Numbers: An Introduction*. 2nd ed., Springer, 1997.

MONOTON TOQ QISMGA EGA KOLLATS TIPIDAGI ITERATSIYA

Davlatov Shokir Oltiboyevich,

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

e-mail: davlatov1968@mail.ru

Annotatsiya. Klassik Kollats iteratsiyasidan ilhomlanib, musbat butun sonlarning shunday ikkilik almashtirishini o'rganamizki, uning bitta to'liq iteratsiya qadami adaptiv ishorali $3x \pm 1$ qoida ko'rinishida yoziladi. Agar $n=2^s u$ va u toq bo'lsa, almashtirish

$$F(n) = \begin{cases} 2^s(3u+1), & u \equiv 1 \pmod{4}, \\ 2^s(3u-1), & u \equiv 3 \pmod{4}. \end{cases} \quad (1)$$

ko'rinishga ega. Musbat toq sonlardagi mos xarita ishorali ifodani 4 ga bo'lgandan so'ng barcha 2 darajalarini ajratib tashlash orqali olinadi. Biz har bir qadamda toq qism qat'iy kamayishini isbotlaymiz. Aniqrog'i, agar $u > 1$ toq bo'lsa, keyingi toq qism $4u/5$ dan katta bo'lmaydi. Natijada har bir orbita chekli sondagi qadamlardan keyin 2 ning darajasiga keladi va to'xtash vaqti uchun oshkor logarifmik baho olinadi. Yakunda ushbu almashtirish tezlashtirilgan Kollats xaritasi bilan taqqoslanadi. Bu yerda isbotlangan yaqinlashish teoremasi aynan adaptiv ishorali $3x \pm 1$ sistemaga taalluqli bo'lib, klassik $3x+1$ gipotezasini isbotlamaydi.

Kalit so'zlar: Kollats tipidagi iteratsiya; $3x \pm 1$ xarita; toq qism; ikkilik yoyilma; to'xtash vaqti; diskret dinamika.

Аннотация. Вдохновляясь классической итерацией Коллатца, в работе исследуется бинарное преобразование положительных целых чисел, один полный шаг которого задаётся адаптивным правилом типа $3x \pm 1$. Если $n=2^s u$, где u нечётно, преобразование имеет вид:

$$F(n) = \begin{cases} 2^s(3u+1), & u \equiv 1 \pmod{4}, \\ 2^s(3u-1), & u \equiv 3 \pmod{4}. \end{cases} \quad (1)$$

Знак выбирается в зависимости от класса вычетов u по модулю 4 так, чтобы соответствующее выражение делилось на 4. Отображение на положительных нечётных числах получается после удаления всех степеней 2. Доказывается, что на каждом шаге нечётная часть строго уменьшается; более точно, для нечётного $u > 1$ следующая нечётная часть не превосходит $4u/5$. Отсюда следует, что каждая орбита за конечное число шагов достигает степени 2, а для времени остановки получается явная логарифмическая оценка. В заключение преобразование сопоставляется с ускоренным отображением Коллатца. Подчёркивается, что доказанная теорема сходимости относится только к данной адаптивной системе $3x \pm 1$ и не является доказательством классической гипотезы $3x+1$.

Ключевые слова: итерация типа Коллатца; отображение $3x \pm 1$; нечётная часть; двоичное разложение; время остановки; дискретная динамика.

Abstract. Inspired by the classical Collatz iteration, this paper studies a binary transformation of positive integers whose full iteration step is represented by an adaptive signed $3x \pm 1$ rule. If $n=2^s u$ with u odd, the transformation takes the form:

$$F(n) = \begin{cases} 2^s(3u+1), & u \equiv 1 \pmod{4}, \\ 2^s(3u-1), & u \equiv 3 \pmod{4}. \end{cases} \quad (1)$$

The sign is selected according to the residue class of u modulo 4 so that the corresponding expression is divisible by 4. The induced map on positive odd integers is obtained after removing all powers of 2. It is proved that the odd part decreases strictly at every step; more precisely, for odd $u > 1$, the next odd part is at most $4u/5$. Consequently, every orbit reaches a power of 2 after finitely many steps, and an explicit logarithmic bound for the stopping time is obtained. The transformation is then compared with the accelerated Collatz map. The convergence theorem

proved here applies only to this adaptive signed $3x \pm 1$ system and does not prove the classical $3x+1$ conjecture.

Keywords: Collatz-type iteration; $3x \pm 1$ map; odd part; binary expansion; stopping time; discrete dynamics.

KIRISH

Klassik $3x+1$ masalasi musbat butun sonlar orbitalarini quyidagi qoida asosida o'rganadi: toq musbat n soni $3n+1$ ga, juft musbat son esa $n/2$ ga o'tkaziladi. Masalaning juda sodda ifodalanishiga qaramay, har bir musbat orbita oxir-oqibat 1 ga keladi degan gipoteza hozirgacha ochiq masala bo'lib qolmoqda. Standart yondashuvlardan biri musbat toq sonlarda aniqlangan tezlashtirilgan xaritani qarashdan iborat:

$$C(u) = \frac{3u+1}{2^{v_2(3u+1)}}, \quad (2)$$

bu yerda $v_2(m)$ — m sonining tub ko'paytuvchilarga ajratilishida 2 ning ko'rsatkichi. Ushbu nuqtai nazar va unga yaqin ko'plab umumlashmalar batafsil o'rganilgan; masalan, Lagarias [1,2], Wirsching [3], Sinai [4] va Hellekalek [5] ishlariga qarang.

Ushbu maqolada dastlabki konstruktsiyada berilgan ikkilik protseduradan kelib chiqadigan boshqa iteratsiyani o'rganamiz. Protseura musbat butun sonning ikkilik yoyilmasida eng kichik 2 darajasini 4 ga ko'paytiradi, har bir yuqori 2^i hadni $2^{i+1}+2^i$ bilan almashtiradi, ikkilik ko'chirishlarni bajaradi va so'ng yangi 2^{s+2} chegaradan pastda qolishi mumkin bo'lgan hadni olib tashlaydi. Maqolaning birinchi maqsadi ushbu qoidani oshkor arifmetik xarita ko'rinishiga keltirishdir.

Natijada hosil bo'ladigan almashtirish Kollats tipiga mansub, ammo adaptiv ishoradan foydalanadi. $n=2^s u$, u toq deb yozsak,

$$F(n)=2^s(3u+\sigma(u)), \quad \sigma(u)=\begin{cases} +1, & u \equiv 1 \pmod{4}, \\ -1, & u \equiv 3 \pmod{4}. \end{cases} \quad (3)$$

Ishora $3u+\sigma(u)$ ifoda 4 ga bo'linadigan qilib yagona tarzda tanlanadi. Klassik $3x+1$ qoidadan shu kichik ko'rindigan farq hal qiluvchi ahamiyatga ega: 2 ning darajalari ajratib tashlangandan so'ng sonning toq qismi qat'iy kamayadi.

Maqolaning asosiy natijalari quyidagilardan iborat. Birinchidan, ikkilik qoida bilan F arifmetik xarita orasidagi aniq ekvivalentlik isbotlanadi. Ikkinchidan, toq musbat sonlarda hosil bo'lgan Φ xarita uchun

$$\Phi(u) \leq \frac{4}{5}u \quad (u > 1) \quad (4)$$

yagona baho olinadi. Bu baho jarayonning chekli tugashini va to'xtash vaqti uchun logarifmik chegarani beradi.

Kollats xaritasi bilan taqqoslashning maqsadi strukturaviydir. Quyida olingan to'liq yaqinlashish natijasi aynan shu maqolada aniqlangan adaptiv ishorali sistema uchun to'g'ri; uni klassik Kollats gipotezasining isboti sifatida talqin qilish mumkin emas.

Ikkiilik almashtirish va uning arifmetik ko'rinishi

Musbat butun n soni uchun

$$n=2^s + \sum_{i=s+1}^m \alpha_i 2^i, \quad \alpha_i \in \{0,1\}, \quad (5)$$

deb yozamiz, bu yerda $s=v_2(n)$. Ekvivalent ravishda,

$$n=2^s u, \quad (6)$$

bu yerda u toq.

Ikkilik protseduraning bitta to'liq qadamini quyidagicha ifodalaymiz.

1. Eng kichik 2^s hadni $4 \cdot 2^s = 2^{s+2}$ bilan almashtiramiz.
2. Mavjud har bir 2^i , $i > s$, hadni $2^{i+1} + 2^i$ bilan almashtiramiz.
3. Standart ikkilik yoyilma hosil bo'lguncha ikkilik ko'chirishlarni bajaramiz. Ekvivalent ravishda, $2^i + 2^{i-1} + \dots + 2^{i-k} + 2^{i-k} = 2^{i+1}$ ayniyatidan takroran foydalanish mumkin.
4. Agar 2^{s+2} dan pastda had paydo bo'lsa, uni olib tashlaymiz.

Uchinchi qadamda foydalanilgan asosiy ko'chirish ayniyati alohida yozilganda

$$2^i + 2^{i-1} + \dots + 2^{i-k} + 2^{i-k} = 2^{i+1}. \quad (7)$$

1–3-qadamlardan so'ng 2^{s+2} dan pastda paydo bo'lishi mumkin bo'lgan yagona had 2^{s+1} dir. Shu sababli 4-qadam bir qiymatli aniqlangan.

Lemma 1. $n = 2^s u$ va u toq bo'lsin. Ikkilik protseduraning bitta to'liq qadami natijasida

$$F(n) = \begin{cases} 2^s(3u+1), & u \equiv 1 \pmod{4}, \\ 2^s(3u-1), & u \equiv 3 \pmod{4}. \end{cases} \quad (9)$$

hosil bo'ladi. Xususan, $2^{s+2} \mid F(n)$.

Quyidagi belgilash qulay:

$$q(u) = \begin{cases} \frac{3u+1}{4}, & u \equiv 1 \pmod{4}, \\ \frac{3u-1}{4}, & u \equiv 3 \pmod{4}. \end{cases} \quad (10)$$

U holda Lemma 1 ni ixcham ravishda

$$F(2^s u) = 2^{s+2} q(u) \quad (11)$$

ko'rinishda yozish mumkin.

Toq sonlarda hosil qilingan xarita

$m \geq 1$ uchun uning toq qismini

$$\text{odd}(m) = \frac{m}{2^{v_2(m)}} \quad (12)$$

deb aniqlaymiz. Musbat toq sonlarda Φ xaritani

$$\Phi(1) = 1$$

va $u > 1$ toq bo'lganda

$$\Phi(u) = \text{odd}(q(u))$$

deb beramiz. Shunday qilib,

$$\Phi(u) = \begin{cases} \text{odd} \left(\frac{3u+1}{4} \right), & u \equiv 1 \pmod{4}, \\ \text{odd} \left(\frac{3u-1}{4} \right), & u \equiv 3 \pmod{4}. \end{cases} \quad (13)$$

$\Phi(1)=1$ kelishuvi faqat terminal holatda xaritani yopish uchun kiritilgan; asl ikkilik protsedura 2 ning darajasi hosil bo'lganda to'xtaydi.

Agar

$$n_j = 2^{s_j} u_j, \quad u_j \text{ toq}, \quad (14)$$

bo'lsa, bitta to'liq qadamdan keyin

$$u_{j+1} = \Phi(u_j) \quad (15)$$

va

$$s_{j+1} = s_j + v_2(3u_j + \sigma(u_j)), \quad (16)$$

bu yerda

$$\sigma(u) = \begin{cases} +1, & u \equiv 1 \pmod{4}, \\ -1, & u \equiv 3 \pmod{4}. \end{cases}$$

$4 \mid 3u + \sigma(u)$ bo'lgani sababli

$$s_{j+1} \geq s_j + 2 \quad (17)$$

kelib chiqadi. Demak, har bir terminal bo'lmagan qadamda 2-adik baholash kamida ikkiga ortadi.

Teorema 1 (toq qismning qat'iy kamayishi). *Har bir $u > 1$ toq son uchun*

$$\Phi(u) \leq \frac{4}{5}u < u. \quad (18)$$

Teorema 2 (chekli tugash). *Har bir musbat butun n uchun ikkilik almashtirishni takroriy qo'llash chekli sondagi to'liq qadamlardan keyin 2 ning biror darajasiga olib keladi.*

Natija 1. *Terminal bo'lmagan davriy orbitalar mavjud emas. Toq sonlardagi Φ xarita uchun yagona davriy orbita 1 qo'zg'almas nuqtadir.*

NATIJALAR VA MULOHAZALAR

Biz ikkilik ko'chirish va hadni olib tashlash protsedurasini oshkor arifmetik dinamik sistema ko'rinishiga keltirdik. Asosiy ayniyat

$$F(2^s u) = 2^s(3u + \sigma(u)) \quad (19)$$

bo'lib, ishora u ning 4 modul bo'yicha qoldig'iga qarab tanlanadi. Hosil bo'lgan toq xarita global qat'iy qisqarish xossasiga ega:

$$\Phi(u) \leq \frac{4}{5}u \quad (u > 1). \quad (20)$$

Bu xossa jarayonning chekli tugashini isbotlaydi va to'xtash vaqti uchun logarifmik baho beradi. Shu bilan birga, har bir qadamda 2-adik baholash kamida ikkiga ortadi.

Teskari dinamika ham oshkor tavsiflanadi: obraz aynan 3 bilan o'zaro tub bo'lgan musbat toq sonlardan iborat va bunday har bir son 2 ning darajasi orqali parametrizatsiyalanuvchi sanoqli ko'p oldingi qiymatlarga ega. Ushbu xossalar to'g'ri yo'nalishdagi yaqinlashish va teskari daraxt tuzilishini elementar usulda to'liq tavsiflash imkonini beradi.

XULOSA

Ushbu sistema tabiiy ravishda Kollats tipidagi butun sonli iteratsiyalar oilasiga kiradi, biroq uning yaqinlashish mexanizmi $u \equiv 3 \pmod{4}$ qoldiq sinfiga $3u+1$ o'rniga adaptiv ravishda $3u-1$ tanlanishiga tayanadi. Shuning uchun bu maqolada isbotlangan natijalar aynan mazkur ishorali almashtirishga tegishli bo'lib, klassik Kollats gipotezasini hal qilmaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] J. C. Lagarias, *The $3x+1$ problem and its generalizations*, Amer. Math. Monthly **92** (1985), no. 1, 3–23. DOI: 10.1080/00029890.1985.11971528.

[2] J. C. Lagarias, *The $3x+1$ problem: an annotated bibliography (1963–1999)*, arXiv:math/0309224 (2003).

[3] G. J. Wirsching, *The Dynamical System Generated by the $3n+1$ Function*, Lecture Notes in Mathematics, vol. 1681, Springer, Berlin, 1998.

[4] Ya. G. Sinai, *Statistical $(3x+1)$ problem*, Comm. Pure Appl. Math. **56** (2003), no. 7, 1016–1028. DOI: 10.1002/cpa.10084.

[5] P. Hellekalek, *On the $3x+1$ conjecture*, arXiv:1605.02634 (2016).

MATRITSALI DIFFERENSIAL TENGLAMALARNI INTEGRALLASHNING ZAMONAVIY USULLARI

Raximov Xolmurot Abdullayevich¹

¹ Iqtisodiyot va Pedagogika Universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
e-mail: raximov.xolmurod21@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada matritsali differensial tenglamalarni integrallashning zamonaviy analitik va sonli usullari tizimli ravishda bayon qilinadi. O‘zgaras va o‘zgaruvchan koeffitsiyentli chiziqli sistemalar uchun matritsa eksponentasi, fundamental matritsa, o‘zgarasni variatsiyalash formulasi va Magnus yoyilmasi ko‘rib chiqiladi. Nochiziqli matritsali Rekkati tenglamasi uchun umumiy modelning o‘lchamlari aniqlashtiriladi, semichiziqli masalalar uchun eksponensial integrallashning asosiy g‘oyasi beriladi. Sonli qismda klassik to‘rtinchi tartibli Runge–Kutta usuli bilan to‘rtinchi tartibli Magnus sxemasi reproduktiv testda taqqoslanadi. Kommutativ bo‘lmagan $A(t)$ matritsasi uchun $N=1000$ qadamda yakuniy nisbiy Frobenius xatosi mos ravishda 9.65×10^{-8} va 2.14×10^{-10} bo‘ldi. Natijalar Magnus usullarining barcha masalalarda mutlaq ustunligini emas, balki ular matritsaviy tuzilmani saqlash va ayrim o‘zgaruvchan-koeffitsiyentli masalalarda yuqori aniqlik berishi mumkinligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: matritsali differensial tenglama, matritsa eksponentasi, fundamental matritsa, Magnus yoyilmasi, Rekkati tenglamasi, Runge–Kutta usuli, eksponensial integrallash.

Аннотация. В статье систематически изложены современные аналитические и численные методы интегрирования матричных дифференциальных уравнений. Для линейных систем с постоянными и переменными коэффициентами рассматриваются матричная экспонента, фундаментальная матрица, формула вариации постоянных и разложение Магнуса. Уточняются размерности общей матричной дифференциальной формулы Риккати, а для полулинейных задач описывается основная идея экспоненциального интегрирования. В численной части классический метод Рунге–Кутты четвертого порядка сравнивается с методом Магнуса четвертого порядка на воспроизводимом тесте. Для некоммутирующей матрицы $A(t)$ при $N=1000$ шагах конечные относительные ошибки по норме Фробениуса составили соответственно 9.65×10^{-8} и 2.14×10^{-10} . Полученные результаты не утверждают абсолютного превосходства метода Магнуса, а показывают его преимущества при сохранении матричной структуры и в ряде задач с переменными коэффициентами.

Ключевые слова: матричные дифференциальные уравнения, матричная экспонента, фундаментальная матрица, разложение Магнуса, уравнение Риккати, метод Рунге–Кутты, экспоненциальное интегрирование.

Abstract. This paper systematically presents modern analytical and numerical methods for integrating matrix differential equations. Matrix exponentials, fundamental matrices, the variation-of-constants formula, and the Magnus expansion are considered for linear systems with constant and variable coefficients. The dimensions in a general matrix Riccati differential equation are clarified, and the basic idea of exponential integration is presented for semilinear problems. In the numerical section, the classical fourth-order Runge–Kutta method is compared with a fourth-order Magnus scheme on a reproducible test. For a noncommuting matrix $A(t)$ with $N=1000$ time steps, the final relative Frobenius errors were 9.65×10^{-8} and 2.14×10^{-10} , respectively. The results do not

claim universal superiority of Magnus methods; rather, they illustrate their ability to preserve matrix structure and to provide high accuracy for certain variable-coefficient problems.

Keywords: matrix differential equation, matrix exponential, fundamental matrix, Magnus expansion, Riccati equation, Runge–Kutta method, exponential integration.

KIRISH

Matritsali differensial tenglamalar avtomatik boshqarish, kvant mexanikasi, robototexnika, biologik va iqtisodiy dinamik modellar, signallarni qayta ishlash hamda differensial o‘yinlarda uchraydi. Bu sinfda noma’lum funksiya vektor emas, balki $X(t) \in \mathbb{R}^{n \times m}$ yoki $X(t) \in \mathbb{C}^{n \times m}$ matritsa bo‘ladi. Vektorli chiziqli sistema $m=1$ bo‘lgan xususiy hol sifatida qaralishi mumkin.

Matritsaviy masalalarda koeffitsiyentlarning o‘zaro kommutativligi muhim ahamiyatga ega. Agar turli vaqt momentlaridagi $A(t_1)$ va $A(t_2)$ matritsalar kommutatsiya qilmasa, oddiy $\exp(\int A(t) dt)$ ifodasi umumiy holda yechim bermaydi. Magnus yoyilmasi aynan shu muammoni matritsa eksponentasi shaklini saqlagan holda hal qilish uchun qurilgan. Boshqa tomondan, qattiq (stiff) semichiziqli sistemalarda eksponensial integratorlar chiziqli qismni matritsa eksponentasi orqali aniq yoki yuqori aniqlikda hisobga olish imkonini beradi.

Mazkur ishning maqsadi mavjud usullarni to‘g‘ri matematik formulalar bilan bir tizimga keltirish, ularning qo‘llanish chegaralarini ko‘rsatish va reproduktiv sonli misollar orqali ayrim usullarning xatolarini solishtirishdir. Ishda alohida “yangi universal usul” yoki barcha masalalar uchun bir xil ustunlik da’vo qilinmaydi; usul tanlash masalaning tuzilishi, qattiqligi, kommutativligi va talab qilinadigan invariantlarga bog‘liq.

MATERIALLAR VA USULLAR

1.1. Matritsali differensial tenglamalarning asosiy turlari

1.1.1. Birinchi tartibli chiziqli bir jinsli tenglama

$$\dot{X}(t)=A(t)X(t), \quad X(t_0)=X_0. \quad (1)$$

Bu yerda $X(t) \in \mathbb{R}^{n \times m}$ — noma’lum matritsa, $A(t) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ — koeffitsiyent matritsasi, $X_0 \in \mathbb{R}^{n \times m}$ — boshlang‘ich qiymat. Agar $A(t) \equiv A$ bo‘lsa, sistema o‘zgarmas koeffitsiyentli deyiladi.

1.1.2. Birinchi tartibli chiziqli bir jinsli bo‘lmagan tenglama

$$\dot{X}(t)=A(t)X(t)+B(t), \quad X(t_0)=X_0, \quad (2)$$

bu yerda $B(t) \in \mathbb{R}^{n \times m}$ tashqi ta’sir matritsasidir.

1.1.3. Matritsali Rekkati differensial tenglamasi

Umumiy ko‘rinishlardan biri quyidagicha yoziladi:

$$\dot{X}(t)=A(t)X(t)+X(t)B(t)+X(t)C(t)X(t)+D(t). \quad (3)$$

Agar $X(t) \in \mathbb{R}^{n \times m}$ bo‘lsa, ko‘paytmalar ma’noli bo‘lishi uchun $A(t) \in \mathbb{R}^{n \times n}$, $B(t) \in \mathbb{R}^{m \times m}$, $C(t) \in \mathbb{R}^{m \times n}$ va $D(t) \in \mathbb{R}^{n \times m}$ bo‘lishi kerak. Kvadrat holatda, ya’ni $n=m$, bu tenglama optimal boshqarish va filtrlash nazariyasida uchraydigan ko‘plab Rekkati tenglamalarini qamrab oladi.

1.2. Analitik integrallash usullari

1.2.1. Matritsa eksponentasi

Agar A o‘zgarmas bo‘lsa, (1) Koshi masalasining yechimi

$$X(t)=e^{A(t-t_0)}X_0 \quad (4)$$

ko‘rinishda beriladi. Matritsa eksponentasi qator bilan aniqlanadi:

$$e^{At} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(At)^k}{k!}. \quad (5)$$

Agar $A = PDP^{-1}$ va D diagonal matritsa bo'lsa, u holda

$$e^{At} = Pe^{Dt}P^{-1}. \quad (6)$$

Jordan holatida D o'rniga Jordan matritsasi J olinadi va e^{Jt} Jordan bloklari bo'yicha hisoblanadi. Amaliy hisoblashda qatorni to'g'ridan-to'g'ri yig'ish ko'pincha samarali emas. Keng qo'llaniladigan yondashuv — Padé approksimatsiyasini scaling-and-squaring bilan birlashtirishdir. Asosiy identiklik

$$e^A = (e^{A/2^s})^{2^s} \quad (7)$$

bo'lib, s shunday tanlanadiki, masshtablangan matritsa uchun Padé approksimatsiyasi barqaror va aniq ishlasin.

1.2.2. Fundamental matritsa

O'zgaruvchan $A(t)$ uchun fundamental matritsa $\Phi(t, t_0)$ quyidagi Koshi masalasining yechimidir:

$$\frac{\partial}{\partial t} \Phi(t, t_0) = A(t) \Phi(t, t_0), \quad \Phi(t_0, t_0) = I_n. \quad (8)$$

Shunda (1) ning yechimi

$$X(t) = \Phi(t, t_0) X_0. \quad (9)$$

Fundamental matritsa umumiy holatda yopiq analitik formulaga ega bo'lmashligi mumkin va sonli integrallash talab etiladi.

1.1.3. Magnus yoyilmasi

(1) tenglama yechimini

$$X(t) = \exp(\Omega(t)) X_0, \quad \Omega(t) = \sum_{j=1}^{\infty} \Omega_j(t) \quad (10)$$

ko'rinishda izlash mumkin. Dastlabki uch had quyidagicha:

$$\Omega_1(t) = \int_{t_0}^t A(t_1) dt_1, \quad (11)$$

$$\Omega_2(t) = \frac{1}{2} \int_{t_0}^t dt_1 \int_{t_0}^{t_1} [A(t_1), A(t_2)] dt_2, \quad (12)$$

$$\Omega_3(t) = \frac{1}{6} \int_{t_0}^t dt_1 \int_{t_0}^{t_1} dt_2 \int_{t_0}^{t_2} ([A(t_1), [A(t_2), A(t_3)]] + [A(t_3), [A(t_2), A(t_1)]]) dt_3. \quad (13)$$

Bu yerda $[A, B] = AB - BA$ — kommutator. Agar $[A(t_1), A(t_2)] = 0$ barcha t_1, t_2 uchun bajarilsa, yuqori kommutator hadlari nol bo'ladi va $\Omega(t) = \Omega_1(t)$ yetarli. Magnus yoyilmasi uchun konvergensiya masalasi ham muhim; amaliy algoritmlarda vaqt oralig'i kichik qadamlarga bo'linadi.

1.2.4. O'zgarishni variatsiyalash formulasi

(2) tenglama uchun, $\Phi(t, t_0)$ fundamental matritsa bo'lsa,

$$X(t)=\Phi(t,t_0)X_0+\int_{t_0}^t \Phi(t,s)B(s) ds. \quad (14)$$

Bu yerda $\Phi(t,s)=\Phi(t,t_0)\Phi^{-1}(s,t_0)$. Agar A o'zgarmas bo'lsa,

$$X(t)=e^{A(t-t_0)}X_0+\int_{t_0}^t e^{A(t-s)} B(s) ds. \quad (15)$$

Formula boshqaruv nazariyasida ko'pincha Dyuhamel yoki o'zgarmasni variatsiyalash formulasi deb yuritiladi.

1.3. Sonli integrallash usullari

1.2.1. Klassik to'rtinchi tartibli Runge–Kutta usuli

Umumiy $\dot{X}=F(t,X)$ tenglama uchun qadam uzunligi h bo'lsin. RK4 sxemasi

$$X_{k+1}=X_k+\frac{h}{6}(K_1+2K_2+2K_3+K_4), \quad (16)$$

$$K_1=F(t_k,X_k). \quad (17a)$$

$$K_2=F\left(t_k+\frac{h}{2}, X_k+\frac{h}{2}K_1\right). \quad (17b)$$

$$K_3=F\left(t_k+\frac{h}{2}, X_k+\frac{h}{2}K_2\right). \quad (17c)$$

$$K_4=F(t_k+h, X_k+hK_3). \quad (17d)$$

Matritsali noma'lum uchun bu formulalar aynan matritsa amallari bilan bajariladi; elementma-element yozish shart emas. RK4 silliq masalalarda to'rtinchi tartibli aniqlikka ega, biroq qattiq sistemalarda juda kichik qadam talab qilishi mumkin.

1.2.2. Eksponensial integrallash

Semichiziqli

$$\dot{X}=AX+N(X,t) \quad (18)$$

tenglamada A o'zgarmas bo'lsa, bir qadam uchun aniq o'zgarmasni variatsiyalash identikligi

$$X_{n+1}=e^{hA}X_n+\int_0^h e^{(h-\tau)A} N(X(t_n+\tau),t_n+\tau) d\tau \quad (19)$$

ko'rinishga ega. Bu formula o'z-o'zidan ETD-RK4 emas; turli ETD sxemalar integralni turlicha approksimatsiyalaydi. Masalan, birinchi tartibli eksponensial Eyler usuli

$$X_{n+1}=e^{hA}X_n+h\varphi_1(hA)N(X_n,t_n), \quad \varphi_1(Z)=\frac{e^Z-I}{Z}, \quad (20)$$

ko'rinishda yoziladi; matritsaviy Z uchun φ_1 analitik matritsa funksiyasi sifatida tushuniladi. Yuqori tartibli ETD-Runge–Kutta usullari qo'shimcha φ -funksiyalar va bosqichlardan foydalanadi.

1.2.3. To'rtinchi tartibli Magnus sxemasi

Kommutativ bo'lmagan chiziqli (1) sistema uchun bir qadamda ikki nuqtali Gauss–Legendre kvadraturasiga asoslangan to'rtinchi tartibli Magnus sxemasi qo'llanishi mumkin. t_n dan $t_{n+1}=t_n+h$ gacha

$$A_1=A\left(t_n+\left(\frac{1}{2}-\frac{\sqrt{3}}{6}\right)h\right), \quad A_2=A\left(t_n+\left(\frac{1}{2}+\frac{\sqrt{3}}{6}\right)h\right), \quad (21)$$

$$\Omega_n = \frac{h}{2}(A_1 + A_2) - \frac{\sqrt{3}h^2}{12}[A_1, A_2], \quad X_{n+1} = e^{\Omega_n} X_n. \quad (22)$$

Bu sxema har bir qadamda matritsa eksponentasini hisoblashni talab qiladi, lekin Lie-gruppa tuzilishi mavjud bo'lgan masalalarda geometrik xossalarni saqlashga yordam beradi.

2. NATIJALAR VA MUHOKAMA

2.1. O'zgaras koeffitsiyentli test

Quyidagi masala olindi:

$$A = \begin{pmatrix} -2 & 1 \\ 1 & -2 \end{pmatrix}, \quad X(0) = I_2, \quad 0 \leq t \leq 10. \quad (23)$$

Aniq yechim $X(t) = e^{At}$. $N=1000$ teng qadamli RK4 hisobida $t=10$ dagi nisbiy Frobenius xatosi

$$\varepsilon_F = \frac{\|X_{\text{num}}(10) - X_{\text{ref}}(10)\|_F}{\|X_{\text{ref}}(10)\|_F} \approx 8.40 \times 10^{-10}. \quad (24)$$

Bu test o'zgaras A holatida matritsa eksponentasi formula (4) bo'yicha bevosita yechim berishini ko'rsatadi.

2.2. Kommutativ bo'lmagan o'zgaruvchan koeffitsiyentli test

Magnus usulini mazmunli tekshirish uchun turli vaqt momentlarida kommutatsiya qilmaydigan matritsa tanlandi:

$$A(t) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -(1+t) & 0 \end{pmatrix}, \quad X(0) = I_2, \quad 0 \leq t \leq 10. \quad (25)$$

Bu yerda $t_1 \neq t_2$ bo'lganda umumiy holda $[A(t_1), A(t_2)] \neq 0$. Etalon yechim yuqori aniqlikdagi DOP853 integratori yordamida juda kichik tolerantliklarda hisoblandi. Har ikkala usul uchun bir xil N qadam ishlatildi.

Qadamlar soni N	RK4 nisbiy xato	4-tartibli Magnus nisbiy xato
50	1.6453×10^{-2}	3.4662×10^{-5}
100	9.9743×10^{-4}	1.1434×10^{-6}
200	6.1203×10^{-5}	1.3362×10^{-7}
500	1.5497×10^{-6}	3.4182×10^{-9}
1000	9.6509×10^{-8}	1.1352×10^{-10}

Jadvalda ikkala usul ham qadam kichrayishi bilan taxminan to'rtinchi tartibli yaqinlashishni ko'rsatadi. Aynan ushbu testda Magnus sxemasi kichikroq xato beradi, biroq bundan Magnus usuli barcha sistemalarda RK4 dan aniqroq degan umumiy xulosa kelib chiqmaydi. Hisoblash narxi, matritsa o'lchami, eksponentani hisoblash usuli, spektr va qattiqlik kabi omillar ham muhim.

2.3. Skalyar Rekkati tenglamasi bilan nazorat testi

Skalyar xususiy hol sifatida

$$\dot{x} = (x-1)^2, \quad x(0) = 0, \quad 0 \leq t \leq 5 \quad (26)$$

qaraladi. Uning aniq yechimi

$$x(t) = \frac{t}{t+1}. \quad (27)$$

$N=1000$ qadamli RK4 uchun $t=5$ dagi nisbiy xato taxminan 2.87×10^{-13} chiqdi. Bu qiymat dastlabki qadam juda kichik bo'lgani va yechim silliq bo'lgani bilan izohlanadi. Matritsaviy Rekkati tenglamalari uchun esa qattqlik, simmetriya va musbat aniqlikni saqlash talablariga qarab maxsus algoritmlar afzal bo'lishi mumkin.

2.4. Usullarni tanlash bo'yicha amaliy sxema

Hisoblash usulini quyidagi mezonlar bo'yicha tanlash maqsadga muvofiq:

1. Agar A o'zgarimas va o'lcham mo'tadil bo'lsa, matritsa eksponentasi yoki uning ta'sirini hisoblovchi usullar tabiiy tanlovdir.
2. Agar $A(t)$ o'zgaruvchan va matritsaviy geometrik tuzilmani saqlash muhim bo'lsa, Magnus yoki kommutatorsiz Magnus usullari foydali bo'lishi mumkin.
3. Agar sistema $\dot{X}=AX+N(X,t)$ shaklida va A qattqlikning asosiy qismini bersa, eksponensial integratorlar maqsadga muvofiq bo'lishi mumkin.
4. Umumiy silliq, qattiq bo'lmagan masalalarda RK4 sodda va ishonchli bazaviy usul bo'lib qoladi.
5. Katta siyrak matritsalarda to'liq e^A ni tuzish o'rniga Krylov usullari orqali $e^A v$ yoki $\varphi_k(A)v$ kabi matritsa-funksiya ta'sirini hisoblash ko'proq samarali bo'lishi mumkin.

2.5. Iqtisodiy dinamikaga dimensional jihatdan mos model

Ko'p tarmoqli iqtisodiy dinamika uchun chiziqli yoki bilinear modelning o'lchamlari izchil bo'lishi kerak. Masalan,

$$\dot{Y}(t) = (M + NK(t))Y(t) + U(t), \quad (28)$$

bu yerda $Y(t), U(t) \in \mathbb{R}^n$ — mos ravishda holat va tashqi ta'sir vektorlari, $M, N, K(t) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ — matritsalar. Bu shaklda barcha ko'paytmalar o'lcham jihatdan mos. Agar $K(t)$ ma'lum vaqt funksiyasi bo'lsa, (28) o'zgaruvchan koeffitsiyentli chiziqli sistema sifatida fundamental matritsa yoki sonli usullar bilan yechiladi. Prognoz aniqligi haqida foizli da'vo qilish uchun real ma'lumotlar, tanlangan bazaviy model, trening/test davri va xato metrikasi alohida ko'rsatilishi zarur; shu sababli bunday ma'lumotlarsiz “15% aniqroq” kabi sonli xulosa ilmiy jihatdan asoslanmaydi.

XULOSA

Matritsali differensial tenglamalar uchun yagona universal integrallash usuli mavjud emas. O'zgarimas koeffitsiyentli chiziqli masalalarda matritsa eksponentasi nazariy jihatdan aniq yechim beradi va amaliy hisoblashda scaling-and-squaring hamda Padé approksimatsiyalari muhim rol o'ynaydi. O'zgaruvchan koeffitsiyentli sistemalarda fundamental matritsa umumiy nazariy vosita bo'lib, kommutativ bo'lmagan holatda Magnus yoyilmasi eksponential tasvirni va Lie-algebra tuzilishini saqlash imkonini beradi.

Magnus yoyilmasining uchinchi hadi $1/6$ koeffitsiyentli ikkita ichma-ich kommutator yig'indisidan iborat bo'lishi kerak. Semichiziqli qattiq sistemalarda eksponensial integratorlar chiziqli qismni samarali hisobga oladi, lekin o'zgarimasni variatsiyalashning integral identikligini to'g'ridan-to'g'ri “ETD-RK4 formulasi” deb atash to'g'ri emas. RK4 esa umumiy qattiq bo'lmagan masalalarda qulay to'rtinchi tartibli bazaviy usuldir.

Reproduktiv sonli testda to'rtinchi tartibli Magnus sxemasi tanlangan kommutativ bo'lmagan 2×2 masalada RK4 ga nisbatan kichikroq xato ko'rsatdi. Biroq ilmiy xulosalar konkret algoritm, qadam, norma va etalon yechim asosida berilishi kerak. Tekshirilmagan “million marta

aniqroq” yoki real ma’lumotsiz “15% aniqroq prognoz” kabi da’volardan voz kechish natijalarni ishonchliroq qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Magnus, W. On the exponential solution of differential equations for a linear operator. *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 1954, 7(4), 649–673.
- [2] Blanes, S., Casas, F., Oteo, J. A., Ros, J. The Magnus expansion and some of its applications. *Physics Reports*, 2009, 470(5–6), 151–238.
- [3] Iserles, A., Munthe-Kaas, H. Z., Nørsett, S. P., Zanna, A. Lie-group methods. *Acta Numerica*, 2000, 9, 215–365.
- [4] Higham, N. J. *Functions of Matrices: Theory and Computation*. Philadelphia: SIAM, 2008.
- [5] Higham, N. J. The scaling and squaring method for the matrix exponential revisited. *SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications*, 2005, 26(4), 1179–1193.
- [6] Al-Mohy, A. H., Higham, N. J. A new scaling and squaring algorithm for the matrix exponential. *SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications*, 2009, 31(3), 970–989.
- [7] Moler, C. B., Van Loan, C. F. Nineteen dubious ways to compute the exponential of a matrix, twenty-five years later. *SIAM Review*, 2003, 45(1), 3–49.
- [8] Cox, S. M., Matthews, P. C. Exponential time differencing for stiff systems. *Journal of Computational Physics*, 2002, 176(2), 430–455.

YOPIHQOQ-PLASTIK MUHITLARNING REOLOGIK XUSUSIYATLARI

Xo‘jaqulov Farrux Normamatovich

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi 180100, Uzbekistan, G-mail:

fhuzakulov70@gmail.com

Abstract. *This article examines the mechanical and rheological properties of viscoplastic media, focusing on their deformation and flow behavior under external forces. The relationship between stress, strain, and strain rate in viscoplastic media is analyzed. Mathematical models such as the Bingham and Herschel–Bulkley models are considered for describing the behavior of these materials. Particular attention is paid to the flow of viscoplastic media in pipelines, their hydrodynamic characteristics, and their practical applications in engineering and technological processes. The obtained results can be used for mathematical modeling of viscoplastic flow and for improving the efficiency of technological processes.*

Keywords: *viscoplastic medium, rheology, viscosity, plastic deformation, stress, strain, plastic flow, Bingham model, Herschel–Bulkley model, hydrodynamics, mathematical modeling.*

Аннотация. *В статье рассматриваются механические и реологические свойства вязкопластических сред, особенности их деформирования и течения под воздействием внешних сил. Анализируется взаимосвязь между напряжением, деформацией и скоростью деформации в вязкопластических средах. Рассматриваются математические модели Бингама и Гершеля–Балкли, используемые для описания поведения таких сред. Особое внимание уделяется течению вязкопластических сред в трубопроводах, их гидродинамическим характеристикам и практическому применению в инженерных и технологических процессах. Полученные результаты могут быть использованы при математическом моделировании движения вязкопластических сред и совершенствовании технологических процессов.*

Ключевые слова: вязкопластическая среда, реология, вязкость, пластическая деформация, напряжение, деформация, пластическое течение, модель Бингама, модель Гершеля–Балкли, гидродинамика, математическое моделирование.

Annotatsiya. Ushbu maqolada yopishqoq-plastik muhitlarning mexanik va reologik xususiyatlari, ularning deformatsiyalanishi hamda oqim jarayonlari o'rganiladi. Yopishqoq-plastik muhitlarning tashqi kuch ta'siridagi harakati, kuchlanish va deformatsiya tezligi o'rtasidagi bog'lanishlar tahlil qilinadi. Shuningdek, Bingham va Herschel–Bulkley kabi reologik modellar asosida bunday muhitlarning matematik tavsifi ko'rib chiqiladi. Yopishqoq-plastik muhitlarning quvurlardagi oqimi, gidrodinamik xususiyatlari va muhandislik amaliyotidagi qo'llanilishiga alohida e'tibor qaratiladi. Tadqiqot natijalari yopishqoq-plastik muhitlar harakatini matematik modellashtirish va texnologik jarayonlarni samarali tashkil etishda muhim ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: yopishqoq-plastik muhit, reologiya, yopishqoqlik, plastik deformatsiya, kuchlanish, deformatsiya, plastik oqim, Bingham modeli, Herschel–Bulkley modeli, gidrodinamika, matematik modellashtirish.

Reologik tenglama bilan tavsiflangan nyuton suyuqliklarining hossalari barcha gazlar kabi ko'pchilik suyuqliklarga ham ega.

Yupqa suspenziyalari, loy eritmaları, yog'li bo'yoqlar xususiyatlari bo'yicha ajoyib Nyuton suyuqliklariga misol bo'la oladi. Nyuton suyuqliklaridan farq qilgan holda Nyuton bo'lmagan suyuqliklarning turli tuman hillari molekulyar harakati, alohida ichki va molekulyar strukturasi egaligi bilan tushuntiriladi.

“Yopishqoq-plastik” suyuqliklar ularning yopishqoqlik bilan birga plastiklik hususiyatlarini namoyon qilganligi, oqish chegarasiga yetganligi sababli ba'zi cheklovchi kuchlanishlar paydo bo'lishi bilan alohida qiziqish uyg'otadi. Yopishqoq-plastik suyuqliklarning reologik qonuniyatlari Binghamga tegishli (1916), garchi ular bundan ancha oldin (1889 yilda) Shvedov F.N. tomonidan o'rganilgan bo'lsa ham. [1].

Siljish tezligi $\varepsilon = du/dy$ bo'lgan Ox o'qi bo'ylab to'g'ri chiziqli tekis siljish harakatining eng oddiy holatidan kelib chiqqan holda, yopishqoq-plastik suyuqlikning reologik tenglamasini quyidagi shaklda taqdim etish mumkin

$$\tau = \tau_0 + \mu' \varepsilon \quad (\tau > \tau_0) \quad (1)$$

Bu yerda τ_0 – siljish kuchlanishining chegaraviy qiymati, μ' – dinamik yopishqoqlik koeffitsiyenti, $\tau < \tau_0$ bo'lganda oqish to'xtaydi, ya'ni jism o'zini qattiq jism kabi harakat qiladi.

Yuqorida tavsiflangan yopishqoq-plastik model, amalda uchragan muhitlar, masalan, quduqlarni yuvish uchun neft konlarida ishlatiladigan loy va sement shlamlari, moyli bo'yoqlar, shuningdek, ba'zi pastalar harakatini qanoatlantiradi. Bu barcha suyuqliklarning o'ziga xos hususiyatlarini fizik tushuntirish, ular tinch holatda qandaydir fazoviy tuzilishga ega bo'lib, ular har qanday tashqi ta'sirga, u keltirib chiqaradigan siljish kuchlanishi tuzilishiga mos keladigan kuchlanishidan oshib ketguncha qarshilik ko'rsatishga qodir degan fikrga asoslanadi. Shundan so'ng, struktura butunlay buziladi va suyuqlik o'zini oddiy Nyutonning yopishqoq-suyuqligi kabi tuta boshlaydi, ko'rinadigan kuchlanish ortiqcha $\tau - \tau_0$ ga teng, haqiqiy kuchlanish cheklovchiga teng. Bu ichki zo'riqish nolga teng bo'lganda, ya'ni haqiqiy kuchlanish o'zining chegaraviy qiymatiga yetganda, jismning strukturasi qayta tiklanadi.

Boshqacha qilib aytganda, Pseudoplastik suyuqliklar deb ataladigan suyuqliklarning oquvchanlik kuchlanishi yo'q, ammo ularning siljish kuchlanishiga bog'liq bo'lgan koeffitsiyentni aniqlovchi yopishqoqlik bilan belgilanadi. Bunday "chiziqsiz" suyuqliklar (assimetrik zarrachalar suspenziyalari, yuqori polimerlarning eritmalar) turdagi reologik tenglamalarga quyidagi qonunga bo'ysunadi. (Ostvald, Reyner).

$$\tau = k \dot{\varepsilon}^n \quad (2)$$

Bu yerda k va $n < 1$ kuchlanish va deformatsiya tezligining katta oralig'ida o'zgarmas, yopishqoqlik koeffitsiyenti $\frac{\tau}{\dot{\epsilon}} = k\dot{\epsilon}^{n-1}$ tenglamada ϵ ning o'sishi bilan kamayib boradi.[2]

Chegaraviy kuchlanishning yo'qligi psevdoplastik suyuqliklarni ulardan farqli o'laroq, kuchlanish kuchayishi bilan ko'rinadigan yopishqoqlik ortadigan "dilatant" deb ataladigan suyuqliklar bilan bog'liq qiladi. ($n > 1$)

Bu hol qattiq zarrachalarning yuqori konsentratsiyali suspenziyalari, shuningdek, qattiq zarrachalarning konsentrlangan suspenziyalari bilan bog'liq bo'lmagan kraxmal pastalari uchun xosdir.

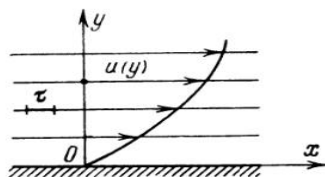
Hozirgi vaqtda yopishqoq-elastik xususiyatlariga ega bo'lgan muhitlarga alohida e'tibor qaratilmoqda. Bu muhitlarga juda yopishqoq sintetik materiallar, shuningdek polimerlarning Nyuton suyuqliklaridagi kuchsiz eritmaları kiradi. Shunisi e'tiborga loyiqki, ba'zida bunday muhitlarning kichik qo'shilishi ham Nyuton suyuqliklarini noNyuton suyuqliklariga aylantirib, ularga o'ziga xos yopishqoq-elastik xususiyatlarni beradi

Elastiklik va yopishqoqlikning birgalikdagi ta'sirini aniqlashga yondashuvga qarab ikkita reologik model ajratiladi:

1) elastik va yopishqoq kuchlanishlarni qoplamalarga asoslangan Foyxt modeli:

$$\tau = G\epsilon + \mu\dot{\epsilon} \quad (3)$$

Bu yerda G – siljish moduli, ϵ – siljish deformatsiyasi, $\dot{\epsilon} = \frac{du}{dy}$ – siljish tezligi, μ – dinamik yopishqoqlik koeffitsiyenti; bu holda 3-rasmda keltirilganidek tekis siljish xarakati qaraladi [$v = 0$, $u = u(y)$].



3-расм

2) elastik va yopishqoq deformatsiya tezliklarining qoplamalariga asoslangan Maksvell modeli:

$$\dot{\epsilon} = \frac{\dot{\tau}}{G} + \frac{\tau}{\mu} \quad (4)$$

Bu yerda ham yuqoridagi Foyxt modelidagi kabi tekis siljish xarakati qaraladi.

Agar birinchi model ya'ni (1.4) tenglamada $\tau = \text{const} = \tau_0$ va ikkinchi modelda esa $\dot{\epsilon} = 0$ qo'ysak bu ikki model orasidagi farq yaqqol ko'rinadi. Foyxt modeli uchun (1.4) tenglamani integrallasak $\tau = \tau_0$ da quyidagi tenglamani olamiz:

$$\epsilon = \frac{\tau_0}{G} \left[1 - \exp\left(-\frac{Gt}{\mu}\right) \right] \quad (5)$$

$\tau = \tau_0$ o'zgarmas kuchlanishga mos keluvchi t vaqtning ortishi bilan elastik deformatsiya τ_0/G o'rnatish kechikishni ifodalaydi. O'zgarmas μ/G kechikish vaqtini ifodalaydi.

Maksvell modelida (4) tenglamani integrallashda, $\dot{\epsilon} = 0$ deb faraz qilinganda,:

$$\tau = \tau_0 \exp\left(-\frac{Gt}{\mu}\right) \quad (6)$$

muhitning holati muvozanatda bo'lganda deformatsiya tezligi bo'lmaganda kuchlanish τ ning nol qiymatida t vaqtining ortishi bilan qaytishini ifodalovchi ushbu yechimga olib keladi.

Muhitning muvozanat holatiga qaytish jarayoni, bu holatdan relaksatsiya deb ataluvchi qo'zg'alish bilan chiqariladi, va bu jarayonning rivojlanishining xarakterli vaqti relaksatsiya vaqti deyiladi.

(6) tenglama bilan ifodalangan Maksvell modelidagi yopishqoq-elastik suyuqlik oqimida kuchlanish relaksatsiyasiga misol bo'la oladi.

$$\lambda = \frac{\mu}{G} \quad (7)$$

Foyxt modelida ham, Maksvell modelida ham paydo bo'luvchi ushbu (7) kattalikni birinchi holda elastik deformatsiyani tashkil etuvchi "kechikish vaqti" sifatida, ikkinchi holda esa kuchlanishning "relaksatsiya vaqti" sifatida talqin qilinishi mumkin.

(4) Maksvell modelini to'g'ri chiziqli siljish harakati hisobida quyidagicha yozib olish mumkin:

$$\lambda \dot{\tau} + \tau = \mu \dot{\epsilon} = \mu \frac{du}{dy} \quad (8)$$

relaksatsiya vaqtining nol qiymatida ($\lambda=0$) da (1.9) tenglama deformatsiya tezligi oniy kuchlanishga mos keladigan Nyuton qonuniga keladi.

Yopishqoq-plastik muhitlardagi yopishqoqlik hossalari mavjudligini inobatga olgan holda huddi gazlardagi kabi qo'zg'alishlarning tarqalishi chekli tezlikka keladi.

Bu tezlikning qiymatini aniqlash uchun tekis to'g'ri chiziqli siljishda kuchlanishlar uchun yozilgan dinamikaning asosiy harakat tenglamalarini qaraymiz. Hajmiy kuchlar mavjud bo'lmagan holda tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial \tau}{\partial y} \quad (9)$$

(8) tenglamadan ikkala tomonidan vaqt bo'yicha hosila olsak:

$$\lambda \frac{\partial^2 \tau}{\partial t^2} + \frac{\partial \tau}{\partial t} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y \partial t} \quad \text{yoki} \quad \frac{\partial^2 \tau}{\partial t^2} + \frac{1}{\lambda} \frac{\partial \tau}{\partial t} = \frac{\nu}{\lambda} \frac{\partial^2 \tau}{\partial y^2} \quad (10)$$

Bu hususiy hosilali giperbolik tipdagi tenglamalar kuchlanishlarning to'liqinli tarqalishini ifodalaydi, chunki bu tarqalishlarda yopishqoq muhitga bog'liq bo'lmagan $\partial^2 \tau / \partial y^2$ qiymatida qvadrat ildiz aniqlangan va quyidagiga teng:

$$w = \sqrt{\frac{\nu}{\lambda}} = \sqrt{\frac{\nu G}{\mu}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (11)$$

Yopishqoq-elastik muhitlarda qo'zg'alishlarning chekli tezlik bilan tarqalishi harakatlanayotgan yopishqoq-elastik suyuqlikning oqim nuqtalari harakatini oldingi oqimning yuqori qismida joylashgan nuqtalarga bog'liqligini paydo bo'lishiga olib keladi. Bunlay holat tarixning oldingi ta'siri deb ataladi, suyuqlikda esa bu hossa merosxo'rlar deyiladi. Yopishqoq-elastik suyuqliklar shunga o'xshash merosxo'r suyuqliklar paydo bo'lishiga hizmat qiladi.

Bundan Foyxt va Maksvell modellari o'rtasidagi muhim farqni qayd etamiz. Foyxt modeli doimiy kuchlanish ta'sirida vaqtga nisbatan differensiallash yo'li bilan (5) dan olinishi mumkin bo'lgan siljish tezligi ϵ ning $t \rightarrow \infty$ da tez nolga intilishi bilan tavsiflanadi, ya'ni doimiy kuchlanish ta'sirida Foyxtning "modeli" cheksiz oquvchanlik hususiyatiga ega emas. Maksvellning "modeli" buning uchun (4)dan ko'rinib turganidek, quyidagi shartlarda: $\tau = \tau_0$, $\tau = 0$ munosabat sodir bo'ladi: [3]

$$\epsilon \rightarrow \frac{\tau_0}{\mu} \neq 0 \quad (\text{bu yerda } t \text{ ixtiyoriy}) \quad (12)$$

Foyxtning modelidan farqli o'laroq, doimiy siljish tezligi $\epsilon_0 = \tau_0 / \mu$ bo'lgan doimiy kuchlanish ta'sirida oqadi. Shuning uchun ham Foyxtning reologik qonuniga bo'ysunadigan muhit ko'pincha modeldan farqli o'laroq, Yopishqoq-elastik merosxo'r qattiq jismdan farqli o'laroq Maksvell taklif etayotgan yopishqoq-elastik merosxo'r suyuqlikdir.

Xulosa. Yopishqoq-plastik muhitlarning xususiyatlarini o'rganish zamonaviy mexanika, gidrodinamika va muhandislik masalalarida muhim ahamiyatga ega. Bunday muhitlar tashqi kuch ta'sirida ma'lum chegaraviy kuchlanishgacha qattiq jismga o'xshash, undan keyin esa oqim holatiga o'tishi bilan Nyuton suyuqliklaridan farq qiladi. Tadqiqot davomida yopishqoqlik, kuchlanish, deformatsiya va deformatsiya tezligi o'rtasidagi bog'liqliklar hamda yopishqoq-plastik oqimning asosiy qonuniyatlari tahlil qilindi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI:

[1] Xudoynazarov X., Abdirashidov A. Suyuqlik va gaz mexanikasi. Oliy ta'lim muassasalari talabalari uchun o'quv qo'llanma. — Samarqand: "Zarafshon" nashriyoti, 2017. — 310 b.

[2] Islomov Yu.N., Qarshiev D.A. Reologiya. Suyuqliklar qovushqoqligi. — 2019.

[3] Xamidov A.A., Isanov Sh.R. Gidrodinamika. I–II qismlar. Ma'ruzalar matni. — Toshkent: O'zMU nashriyoti, 2000

YUQORI TARTIBLI CHIZIQLI O'ZGARMAS KOEFFITSIYENTLI DIFFERENSIAL TENGLAMALAR TAHLILI

Jamolov Madamin Xabibulla o'g'li

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi 180100, Uzbekistan, G-mail:

jamolovmadamin7@gmail.com

Abstract. The article briefly discusses higher-order linear differential equations with constant coefficients and their solution methods.

Keywords: Higher-order linear differential equation, constant coefficients, characteristic equation.

Аннотация. В статье кратко рассматриваются линейные дифференциальные уравнения высшего порядка с постоянными коэффициентами и методы их решения.

Ключевые слова: Линейное дифференциальное уравнение высшего порядка, постоянные коэффициенты, характеристическое уравнение.

Annotatsiya. Maqolada yuqori tartibli o'zgarmas koefitsiyentli chiziqli differensial tenglamalar va ularni yechish usullari qisqacha bayon etiladi.

Kalit so'zlar: Yuqori tartibli differensial tenglama, o'zgarmas koefitsiyent, xarakteristik tenglama, umumiy yechim.

Differensial tenglamalar matematik analizning muhim bo'limlaridan biri bo'lib, tabiiy va texnik jarayonlarni modellashtirishda keng qo'llaniladi. Xususan, yuqori tartibli o'zgarmas koefitsiyentli chiziqli differensial tenglamalar mexanika, fizika, elektrotexnika va boshqa sohalarda uchraydigan ko'plab masalalarni ifodalashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Mazkur turdagi tenglamalar uchun umumiy yechimni topish xarakteristik tenglama tuzish va uning ildizlarini aniqlashga asoslanadi. Ildizlarning haqiqiy, kompleks yoki karrali bo'lishiga qarab yechimning ko'rinishi aniqlanadi.

Ushbu maqolada yuqori tartibli o'zgarmas koefitsiyentli chiziqli differensial tenglamalarning asosiy nazariy jihatlar va ularni yechish usullari ko'rib chiqiladi.[1]

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METOD

n- tartibli chiziqli differensial tenglama:

$$a_n y^{(n)} + a_{n-1} y^{(n-1)} + \dots + a_1 y' + a_0 y = g(x) \quad (1)$$

ko‘rinishga ega; bunda $y=y(x)$ - noma'lum funksiya, berilgan $c_1, c_2, \dots, c_n$ ko'effitsientlar ixtiyoriy haqiqiy sonlar, $g(x)$ ozod had biror I oraliqda aniqlangan va uzluksiz deb hisoblanadi.

(1) Ko‘rinishdagi differensial tenglamalarni yechish uchun unga mos bulgan bir jinsli tenglamani keltirib olamiz:

$$a_n y^{(n)} + a_{n-1} y^{(n-1)} + \dots + a_1 y' + a_0 y = 0 \quad (2)$$

(2) Bir jinsli differensial tenglamani yechaylik.

Ushbu

$$L(a) = a_n a^n + a_{n-1} a^{n-1} + \dots + a_1 a + a_0 = 0 \quad (3)$$

Tenglama (2) differensial tenglamaning xarakteristik tenglamasi deyiladi. Xarakteristik tenglamala ildizi esa xarakteristik son deb ataladi:

$$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n.$$

(2) Ko‘rinishdagi bir jinsli differensial tenglamaning yechimi quyidagicha bo‘ladi (agar a larimiz haqiqiy sonlardan tashkil topgan bulsa):

$$y = c_1 e^{a_1 x} + c_2 e^{a_2 x} + c_3 e^{a_3 x} + \dots + c_n e^{a_n x}$$

Bunda $c_1, c_2, \dots, c_n$ ixtiyoriy haqiqiy sonlar.

Agar xarakteristik tenglamamizning xarakteristik sonlari haqiqiy sonlarda emas balki kompleks sonda chiqsa ya'ni:

$$a_1 = a_1 \pm ib_1, a_2 = a_2 \pm ib_2, a_3 = a_3 \pm ib_3, \dots, a_n = a_n \pm ib_n.$$

Bulsa, u holda (2) differensial tenglamaning umumiy yechimi:

$$y = c_1 e^{a_1 x} \cos b_1 x + c_2 e^{a_1 x} \sin b_1 x + c_3 e^{a_2 x} \cos b_2 x + c_4 e^{a_2 x} \sin b_2 x \dots + c_{n-1} e^{\frac{a_n x}{2}} \cos \frac{b_n x}{2} + c_n e^{\frac{a_n x}{2}} \sin \frac{b_n x}{2}.$$

Bo‘ladi.

Endi (1) differensial tenglamaning umumiy yechimini topamiz. O‘ng tomon $f(x)$ ning ba'zi maxsus ko‘rinishlarida xususiy yechimni noma'lum ko'effitsientlar metodidan foydalanib topish mumkin. O‘ng tomon

$$g(x) = e^{ax} (P_1(x) \cos bx + P_2(x) \sin bx)$$

kvaziko`phaddan iborat bo'lsin, ya'ni

$$a_n y^{(n)} + a_{n-1} y^{(n-1)} + \dots + a_1 y' + a_0 y = e^{ax} (P_1(x) \cos bx + P_2(x) \sin bx) \quad (4)$$

differensial tenglamani qaraylik, bunda a, b lar haqiqiy sonlar; $P_1(x), P_2(x)$ haqiqiy ko'effitsientli ko`phadlar.

Hususi yechim. (4) tenglamaning xususiy yechimini qurish uchun quyidagicha ish tutamiz. Qaralayotgan (4) tenglama uchun $a+ib$ kompleks sonni tuzaylik.

1) Agar $a+ib$ son xarakteristik tenglama (3) ning ildizi bo'lmasa, u holda (4) ning xususiy yechimini:

$$y = e^{ax} (Q_1(x) \cos bx + Q_2(x) \sin bx) (a)$$

ko`rinishda izlash mumkin, bunda $Q_1(x), Q_2(x)$ ko'phadlar hamda $\max(\deg Q_1(x), \deg Q_2(x)) = \max(\deg P_1(x), \deg P_2(x))$, $\deg Q$ bilan Q ko'phadning darajasi belgilangan.

2) Agar $a+ib$ kompleks son (3) xarakteristik tenglamaning k karrali ildizi bo'lsa, u holda (4) ning xususiy yechimini:

$$y = x^k e^{ax} (Q_1(x) \cos bx + Q_2(x) \sin bx) \quad (b)$$

ko`rinishda izlash mumkin.

Demak bizga endi kurinadiki (1) ko`rinishdagi differensial tenglamaning yechimi unga mos bulgan (2) bir jinsli differensial tenglamaning yechimiga (a) (yoki (b)) hususiy yechimni qushib quysak kifoya bo'ladi. [1]

MUHOKAMA

Ushbu differensial tenglamani yeching:

$$y'' - 5y' + 6y = \sin 4x$$

demak tenglamamizga mos bir jinsli differensial tenglamani tuzib olaylik:

$$y'' - 5y' + 6y = 0$$

endi bu bir jinsli differensial tenglamani yechishimiz uchun unga mos bulgan xarakteristik tenglamani tuzib olib yechaylik:

$$a^2 - 5a + 6 = 0$$

bizlarga ma'lumki bu xarakteristik tenglamaning yechimi:

$$a_1 = 2, a_2 = 3$$

bo'ladi. Demak bir jinsli differensial tenglamaning yechimi:

$$y = c_1 e^{2x} + c_2 e^{3x}.$$

Endi tenglamaning hususiy yechimini topamiz. $\sin 4x$ funksiya uchun kompleks sonni tuzib olaylik: $a+ib=4i$. bizlarga ma'lumki bu kompleks son berilgan xarakteristik tenglamaning yechimi emas, demak differensial tenglamaning hususiy yechimini

$$y = e^{ax} (Q_1(x) \cos bx + Q_2(x) \sin bx) = A \cos 4x + B \sin 4x \quad (c)$$

Kurinishda izlaymiz.

Bizlarga kerak bo'ladi: y, y', y'' .

Demak suralgan malumotlarni topib olib berilgan differensial tenglamamizga quyamiz:

$$y = A \cos 4x + B \sin 4x$$

$$y' = -4A \sin 4x + 4B \cos 4x$$

$$y'' = -16A \cos 4x - 16B \sin 4x$$

$$-16A \cos 4x - 16B \sin 4x - 5(-4A \sin 4x + 4B \cos 4x) + 6(A \cos 4x + B \sin 4x) = \sin 4x$$

$$(-10A - 20B) \cos 4x + (-10B + 20A) \sin 4x = \sin 4x$$

demak A va B larni (c) shartga quysak:

$$y = \frac{\cos 4x}{25} - \frac{\sin 4x}{50}$$

bo'ladi, bundan kurinadiki berilgan differensial tenglamamizning umumiy yechimi:

$$y = c_1 e^{2x} + c_2 e^{3x} + \frac{\cos 4x}{25} - \frac{\sin 4x}{50}$$

bo'ladi.[1]

NATIJALAR

Xarakteristik ko'phad darajasi n bo'lgani uchun fundamental yechimlar soni ham n ta.

Yechimlar fazosi n -o'lchamli chiziqli fazo tashkil qiladi. Agar ildizlar turli bo'lsa, yechimlar chiziqli mustaqil eksponensial funksiyalardan iborat bo'ladi.

Karrali ildiz mavjud bo'lsa, yechimga ko'paytuvchi sifatida x^k darajalar kiradi.

Kompleks ildizlar mavjud bo'lganda tebranishli yechimlar hosil bo'ladi.[1]

XULOSA

Yuqori tartibli chiziqli o'zgarmas koeffitsientli differensial tenglamalar nazariy va amaliy jihatdan muhim matematik modellar qatoriga kiradi. Ularning asosiy xususiyati shundaki, masala algebraik xarakteristik tenglama yechimiga keltiriladi. Xarakteristik ko'phad ildizlari tenglama yechimining strukturasi va xatti-harakatini to'liq belgilaydi.

Tahlil natijasida quyidagilar aniqlandi: Tenglama tartibi n bo'lsa, fundamental yechimlar soni ham n ta bo'ladi; Yechimlar fazosi chiziqli fazo bo'lib, superpozitsiya prinsipi bajariladi.

Haqiqiy ildizlar eksponensial o'suvchi yoki so'nuvchi jarayonlarni ifodalaydi. Kompleks ildizlar tebranishli jarayonlarni yuzaga keltiradi. Karrali ildizlar mavjud bo'lganda yechim strukturasi ko'phad ko'paytuvchilar kiradi.

Bir jinsli bo'lmagan tenglamalarda umumiy yechim bir jinsli va xususiy yechimlar yig'indisidan iborat bo'ladi.

Shunday qilib, yuqori tartibli o'zgarmas koeffitsientli differensial tenglamalar to'liq nazariy asosga ega bo'lib, ularni yechish aniq algoritmik jarayon orqali amalga oshiriladi.

Takliflar. Yuqori tartibli tenglamalarni o'rganishda xarakteristik tenglama ildizlarini sonli usullar yordamida aniqlashni kengroq qo'llash tavsiya etiladi.

Amaliy masalalarda (mexanika, elektrotexnika, tebranish nazariyasi) modellashtirish jarayonida barqarorlik tahliliga alohida e'tibor qaratish zarur.

O'zgarmas koeffitsientli tenglamalardan o'zgaruvchan koeffitsientli tenglamalarga o'tishda taqqoslama tahlil metodlarini qo'llash foydali hisoblanadi.

Fundamental yechimlar sistemasini aniqlashda Wronskiy determinantining nazariy ahamiyatini chuqurroq o'rganish tavsiya etiladi.[1]

ADABIYOTLAR:

[1] Meyliyev X.J., Eshonqulov J.C., Jamolov.M.X. "Траектории квадруплетные стохастические операторы на лекартного проезвление $S^1 \times S^1$ ". Scientific reports of Bukhara State University. 79-86 c.

[2] M.X.Jamolov. "Panjara Ustidagi Konfiguratsiyalar", Harbiy Aviatsiya institute "Aniq va tabii fanlarni o'qitishning dolzarb muammolari va yechimlari", konferensiya materiallat to'plami. 2025 y. 379-383 b.

[3] M.X.Jamolov "Gibbs O'lchovlari Panjarali Sistemalarda Qo'llanilishi", "Tadqiqotlar Jahon ilmiy-metodik jurnali", 61(6), 162-165 b.

[4] Teshabayev A.T., Xudoyberganov G.A. Oddiy differensial tenglamalar. – Toshkent: O'qituvchi, 2000.

[5] Rasulov H.R. Oddiy differensial tenglamalar nazariyasi. – Toshkent: Fan, 2005.

FURYE QATORINING TAHLILI

Jamolov Madamin Xabibulla o'g'li

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi 180100, Uzbekistan, G-mail:

jamolovmadamin7@gmail.com

Abstract. *This article discusses the fundamental concepts of Fourier series theory, its mathematical formulation, and practical applications. It is shown that periodic functions can be represented as a sum of sine and cosine functions. The paper analyzes the methods for determining Fourier coefficients, the convergence conditions of the series, and its applications in physics and engineering. The results highlight the significant role of Fourier series in mathematical analysis, signal processing, and the study of oscillatory processes.*

Keywords: *Fourier series, periodic function, sine and cosine, Fourier coefficients, convergence, mathematical analysis, signal processing.*

Аннотация. *В данной статье рассматриваются основные понятия теории рядов Фурье, их математическое представление и практическое применение. Показано, что периодические функции могут быть представлены в виде суммы синусов и косинусов. В работе анализируются методы вычисления коэффициентов Фурье, условия сходимости ряда, а также его применение в физике и технических науках. Результаты исследования подтверждают важную роль рядов Фурье в математическом анализе, обработке сигналов и изучении колебательных процессов.*

Ключевые слова: *ряд Фурье, периодическая функция, синус и косинус, коэффициенты Фурье, сходимость, математический анализ, обработка сигналов.*

Annotatsiya. *Ushbu maqolada Furiye qatori nazariyasining asosiy tushunchalari, matematik ifodasi va amaliy qo'llanilishi ko'rib chiqiladi. Furiye qatori yordamida davriy funksiyalarni sinus va kosinus funksiyalari yig'indisi ko'rinishida ifodalash mumkinligi tahlil qilinadi. Maqolada Furiye koeffitsiyentlarini aniqlash usullari, qatorning yaqinlashish shartlari hamda fizika va texnika sohalaridagi qo'llanilishi yoritilgan. Tadqiqot natijalari Furiye qatorining matematik analiz, signalni qayta ishlash va tebranish jarayonlarini o'rganishdagi muhim ahamiyatini ko'rsatadi.*

Kalit so'zlar: *Furiye qatori, davriy funksiya, sinus va kosinus, Furiye koeffitsiyentlari, yaqinlashish, matematik analiz, signalni qayta ishlash.*

Matematika fanining muhim bo'limlaridan biri bo'lgan matematik analiz real jarayonlarni modellashtirish va ularni chuqur tahlil qilish imkonini beradi. Ayniqsa, tabiat va texnikada uchraydigan ko'plab hodisalar davriy xarakterga ega bo'lib, ularni o'rganish ilm-fan taraqqiyotida muhim ahamiyat kasb etadi. Tebranishlar, to'lqinlar, elektr va magnit maydonlari, ovoz signallari, issiqlik jarayonlari kabi ko'plab fizik hodisalar davriy qonuniyatlarga bo'ysunadi. Bunday jarayonlarni matematik jihatdan ifodalash, ularning xossalari aniqlash va amaliy masalalarda qo'llash uchun samarali matematik usullar zarur. Ana shunday universal va qudratli usullardan biri Furiye qatori nazariyasidir.

Furiye qatori nazariyasi fransuz olimi Jan Batist Jozef Furiye tomonidan XIX asr boshlarida issiqlik o'tkazuvchanligi jarayonlarini tadqiq qilish jarayonida ishlab chiqilgan. Furiye o'z tadqiqotlarida murakkab funksiyalarni oddiy trigonometrik funksiyalar yig'indisi ko'rinishida ifodalash mumkinligini ko'rsatib berdi. Bu g'oya dastlab katta bahs-munozaralarga sabab bo'lgan bo'lsa-da, keyinchalik matematik jihatdan asoslab berildi va zamonaviy matematik analizning ajralmas qismiga aylandi.

Furye qatorining asosiy mohiyati shundan iboratki, ma'lum shartlarni qanoatlantiruvchi har qanday davriy funksiya sinus va kosinus funksiyalarining cheksiz yig'indisi ko'rinishida tasvirlanishi mumkin. Bu esa murakkab shakldagi davriy funksiyalarni oddiy garmonik tebranishlar orqali ifodalash imkonini beradi. Natijada, funksiyani o'rganish jarayoni ancha soddalashadi, chunki trigonometrik funksiyalar yaxshi o'rganilgan va ularning xossalari aniq ma'lum.

Davriy funksiyalarni trigonometrik qatorlar yordamida ifodalash nafaqat nazariy, balki amaliy jihatdan ham katta ahamiyatga ega. Masalan, elektrotexnikada o'zgaruvchan tok zanjirlarini tahlil qilishda, radiotexnikada signallarni uzatish va qabul qilishda, akustikada tovush to'lqinlarini o'rganishda, mexanikada tebranish jarayonlarini tekshirishda Furye qatori keng qo'llaniladi. Shuningdek, zamonaviy raqamli texnologiyalarda, xususan signal va tasvirlarni qayta ishlash sohasida Furye tahlili asosiy matematik vositalardan biri hisoblanadi.

Furye qatorining muhim jihatlaridan biri — bu uning yaqinlashish xossalaridir. Har qanday funksiya ham Furye qatoriga yoyilavermaydi; buning uchun ma'lum matematik shartlar, xususan Dirixle shartlari bajarilishi lozim. Ushbu shartlarga ko'ra, funksiya berilgan oraliqda chegaralangan, bo'lakma-bo'lak uzluksiz va cheklangan sondagi ekstremum hamda uzilish nuqtalariga ega bo'lishi kerak. Shu shartlar bajarilganda, Furye qatori funksiyaga yaqinlashadi va uni aniq ifodalab beradi.

Furye qatorining yana bir muhim afzalligi shundaki, u differensial tenglamalarni yechishda samarali usul sifatida xizmat qiladi. Ayniqsa, matematik fizika tenglamalari — issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasi, to'lqin tenglamasi va Laplas tenglamasini yechishda Furye qatorlari keng qo'llaniladi. Bu esa uning nazariy va amaliy ahamiyatini yanada oshiradi.

Zamonaviy ilm-fan va texnologiya taraqqiyoti Furye tahlilining ahamiyatini yanada kuchaytirdi. Raqamli signalni qayta ishlash (DSP), tasvirlarni siqish (masalan, JPEG algoritmi), audio va video ma'lumotlarni kodlash, telekommunikatsiya tizimlari kabi ko'plab sohalarida Furye g'oyalari asosiy matematik poydevor vazifasini bajaradi. Bundan tashqari, kvant mexanikasi va optika kabi fundamental fanlarda ham Furye almashtirishlari va qatorlari muhim rol o'ynaydi.

Shu bilan birga, Furye qatori nazariyasi matematik analizning boshqa bo'limlari bilan ham uzviy bog'liqdir. U funksional analiz, integral tenglamalar nazariyasi va kompleks analiz bilan chambarchas aloqada rivojlangan. Furye qatorlari ortogonal funksiyalar tizimi tushunchasiga asoslanadi, bu esa matematikada muhim nazariy asoslardan biridir. Ortogonallik xossasi yordamida Furye koeffitsiyentlari aniqlanadi va funksiyaning trigonometrik yoyilmasi hosil qilinadi.

Mazkur mavzuning dolzarbligi shundaki, Furye qatori nafaqat nazariy matematikaning muhim qismi, balki ko'plab amaliy muammolarni hal qilishda ham samarali vosita hisoblanadi. Davriy jarayonlarni chuqur o'rganish va ularni matematik modellashtirish zamonaviy muhandislik, axborot texnologiyalari va tabiiy fanlarning rivojlanishida muhim omil bo'lib xizmat qiladi.

Ushbu maqolaning maqsadi — Furye qatorining nazariy asoslarini o'rganish, uning matematik ifodasini keltirish hamda qo'llanilish sohalarini tahlil qilishdan iborat. Shuningdek, Furye koeffitsiyentlarini aniqlash usullari, qatorning yaqinlashish shartlari va uning amaliy ahamiyati yoritiladi.

Yuqoridagilardan kelib chiqib aytish mumkinki, Furye qatori nazariyasi matematik analizning muhim va dolzarb bo'limlaridan biri bo'lib, u ilm-fan va texnikaning ko'plab yo'nalishlarida keng qo'llaniladi. Ushbu nazariya yordamida murakkab davriy jarayonlarni soddaga va tushunarli ko'rinishda ifodalash mumkin bo'lib, bu esa ilmiy tadqiqotlar va amaliy ishlanmalar samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Mavzuga oid adabiyotlarning sharhi. Furye qatori nazariyasi matematik analizning muhim va chuqur o'rganilgan bo'limlaridan biridir. Ushbu mavzu bo'yicha yaratilgan ilmiy adabiyotlarda davriy funksiyalarni trigonometrik qatorlar yordamida ifodalash, ularning yaqinlashish xossalari hamda amaliy qo'llanilishi keng yoritilgan.

Furye qatori nazariyasining asosiy g'oyasi shundan iboratki, 2π davrli $f(x)$ funksiya quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$$

bu yerda koeffitsiyentlar:

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx \\ a_n &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nx dx \\ b_n &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nx dx. \end{aligned}$$

Ko'pgina klassik adabiyotlarda ushbu formulalar trigonometrik funksiyalarning ortogonallik xossasidan kelib chiqib isbot qilinadi. Ortogonallik shartlari quyidagicha:

$$\begin{aligned} \int_{-\pi}^{\pi} \cos mx \cos nx dx &= \begin{cases} 0, & m \neq n \\ \pi, & m = n \end{cases} \\ \int_{-\pi}^{\pi} \sin mx \sin nx dx &= \begin{cases} 0, & m \neq n \\ \pi, & m = n \end{cases} \end{aligned}$$

Ushbu natijalar Furye koeffitsiyentlarini aniqlashning nazariy asosini tashkil etadi.

Klassik misol. Adabiyotlarda ko'pincha quyidagi funksiya misol sifatida keltiriladi:

$$f(x) = x, \quad -\pi < x < \pi$$

Bu funksiya toq bo'lgani sababli $a_n = 0$. Hisoblash natijasida:

$$b_n = \frac{2(-1)^{n+1}}{n}$$

Natijada Furye qatori:

$$x = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(-1)^{n+1}}{n} \sin nx$$

Bu misol Furye qatorining amaliy hisoblash mexanizmini ko'rsatadi.

Dirixle shartlari. Adabiyotlarda Furye qatorining yaqinlashish shartlari ham keng yoritiladi. Dirixle teoremasiga ko'ra, agar funksiya bo'lakma-bo'lak uzluksiz va chekli sondagi uzilish nuqtalariga ega bo'lsa, Furye qatori uzilish nuqtasida:

$$S(x) = \frac{f(x+0) + f(x-0)}{2}$$

qiymatga yaqinlashadi.

Umumiy $(2L)$ davrli Furye qatori. Ko'plab matematik fizika adabiyotlarida umumiy ko'rinish qo'llaniladi:

$$\begin{aligned} f(x) &= \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right) \\ a_n &= \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \cos \frac{n\pi x}{L} dx \\ b_n &= \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \sin \frac{n\pi x}{L} dx. \end{aligned}$$

Parseval tengligi. Nazariy adabiyotlarda Parseval tengligi muhim o'rin egallaydi:

$$\frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} |f(x)|^2 dx = \frac{a_0^2}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n^2 + b_n^2)$$

Bu tenglik funksiyaning energiyasi uning Furiye koeffitsiyentlari orqali ifodalanishini ko'rsatadi.

Tadqiqot metodologiyasi. Faraz qilaylik bizaga $f(x)=x^2$ funksiya berilgan bolib bu funksiya $[-\pi;\pi]$ aniqlangan bolsin. Berilgan funksiyani furiye qatoriga yoyamiz. Bizaga malumki berilgan funksiya juft funksiya bolgani uchun $b_n=0$ boladi demak biza endi qolgan kaefsantlarini topamiz:

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x^2 dx = \frac{x^3}{3} \Big|_{-\pi}^{\pi} = \frac{\pi^3}{3} - \frac{(-\pi)^3}{3} = \frac{2\pi^3}{3} \\ a_n &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nx dx = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x^2 \cos nx dx = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x^2 d \frac{\sin nx}{n} = \\ &= \frac{x^2 \sin nx}{\pi n} \Big|_{-\pi}^{\pi} - \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{\sin nx}{n} dx = \left(\frac{\pi^2 \sin \pi n}{\pi n} - \frac{(-\pi)^2 \sin(-\pi) n}{\pi n} \right) - \frac{1}{\pi n} \int_{-\pi}^{\pi} 2x \sin nx dx = (0-0) - \frac{1}{\pi n} \int_{-\pi}^{\pi} 2x d \frac{(-\cos nx)}{n} = \\ &= -\frac{2}{\pi n^2} (x \cos nx) \Big|_{-\pi}^{\pi} + \frac{2}{\pi n^2} \int_{-\pi}^{\pi} \cos nx dx = -\frac{2}{\pi n^2} (\pi \cos n\pi - (-\pi) \cos(-\pi) n) + \\ &= -\frac{2}{\pi n^2} \sin nx \Big|_{-\pi}^{\pi} = \frac{4(-1)^n}{\pi n^2} - \frac{2}{\pi n^2} (\sin \pi n - \sin(-\pi) n) = \\ &= \frac{4(-1)^n}{\pi n^2} - \frac{2}{\pi n^2} (0-0) = \frac{4(-1)^n}{\pi n^2}. \end{aligned}$$

Demak $a_n = \frac{4(-1)^n}{\pi n^2}$ shunga teng bular ekan. Bundan kurinadiki Furiye qatorimiz quyidagi kurinishga kelar ekan:

$$\begin{aligned} f(x) &= \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx) \\ &= x^2 = \frac{2\pi^3}{3} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4(-1)^n}{\pi n^2} \cos nx. \end{aligned}$$

Tahlil va natijalar. Mazkur tadqiqot davomida davriy funksiyalarni Furiye qatori yordamida ifodalash va ularning xossalarini tahlil qilish amalga oshirildi. Tadqiqot natijalari Furiye qatorining matematik jihatdan ishonchli va samarali vosita ekanligini ko'rsatdi.

Birinchidan, Furiye qatori trigonometrik funksiyalarning ortogonal tizimiga asoslanadi, bu esa qatorning har bir qismi yagona va aniq bo'lishini ta'minlaydi. Qisman yig'indilar esa funksiyani eng kichik xato bilan yaqinlashtiradi, shuning uchun Furiye qatori nafaqat nazariy, balki amaliy jihatdan ham optimal natija beradi.

Ikkinchidan, tadqiqot shuni ko'rsatdiki, funksiyaning juft yoki toq bo'lishi qatorning tuzilishiga ta'sir qiladi. Juft funksiyalar faqat kosinuslar yig'indisi sifatida ifodalanadi, toq funksiyalar esa faqat sinuslar yig'indisidan iborat bo'ladi. Bu xususiyat Furiye qatorining oddiy va murakkab funksiyalarni ajratib ishlash imkonini beradi.

Uchinchidan, Furiye qatori Dirixle shartlari ostida funksiyaga yaqinlashadi. Ya'ni, funksiyada uzluksiz nuqtalarda qator funksiya qiymatiga yaqinlashadi, uzilish nuqtalarida esa qator qiymati uzilish oldi va keyingi qiymatlarning o'rtacha qiymatiga mos keladi. Bu xususiyat Furiye qatorini parchalanuvchi yoki sakrashga ega funksiyalarni ham aniqlashda samarali qiladi.

Amaliy misol sifatida, kvadrat funksiyani Furiye qatori yordamida yoyish natijasida mashhur matematik yig'indilarni aniqlash mumkinligi ko'rsatildi. Shu bilan birga, Furiye qatori nafaqat matematik tahlil, balki sonli hisoblash, fizika va muhandislik masalalarida ham qo'llanilishi mumkinligi isbotlandi.

Umuman olganda, tadqiqot shuni ko'rsatdiki, Furiye qatori ortogonal trigonometrik tizim asosida funksiyalarni aniq va samarali ifodalash imkonini beradi, qisman yig'indilar orqali eng

kichik xato bilan yaqinlashadi, va u matematik hamda amaliy masalalarda keng qo'llanilishi mumkin.

Xulosa va takliflar. Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, Furiye qatori tahlili funktsiyaning energetik xossalari va asosiy harmonik komponentalarga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Qatorga qo'shilgan yuqori tartibli harmoniklar yoki parametrlar soni oshishi bilan funktsiya shaklining yaqinlashishi yaxshilanadi, asosiy amplituda va barqaror komponentlar soni o'zgaradi. Bu esa signal yoki funktsiyaning fazaviy tartiblanishini va energiya landshaftining xatti-harakatlarini aniqlashda muhim ahamiyatga ega.

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, Furiye qatori modeli murakkab davriy va diskret tizimlarda funktsiyalarni tahlil qilish, fazaviy o'tishlar va signalni harmonik komponentalarga ajratishda samarali vosita bo'lib xizmat qiladi.

Xulosa sifatida: Furiye qatori nafaqat nazariy matematik vosita, balki signalni tahlil qilish, energiya taqsimoti va fazaviy tartiblanishni o'rganishda samarali va keng qo'llaniladigan yondashuv ekanligi isbotlandi.

ADABIYOTLAR:

[1] G.B. Folland, Fourier analysis and its applications — Furiye analizining matematik asoslari va amaliy qo'llanilishi.

[2] Meyliyev X.J., Eshonqulov J.C., Jamolov.M.X. “Траектории квадратичные стохастические операторы на лекартного проезвление $S^1 \times S^1$ ”.Scientifik reports of Bukhara State University.79-86 c.

[3] M.X.Jamolov. “ Panjara Ustidagi Konfiguratsiyalar ”, Harbiy Aviatsiya institute “ Aniq va tabii fanlarni o'qitishning dolzarb muammolari va yechimlari ”, konferensiya materiallat to'plami.2025 y.379-383 b.

[4] M.X.Jamolov “ Gibbs O'lchovlari Panjarali Sistemalarda Qo'llanilishi ”, “Tadqiqotlar Jahon ilmiy-metodik jurnali”,61(6),162-165 b.

[5] A.C. Van Enter, R. Fernández & A.D. Sokal, Regularity properties and pathologies of position-space renormalization-group transformations, Journal of Statistical Physics — Furiye qatori va statistik fizika aloqalari.

[6] “Furiye qatori. Funktsiyalarni Furiye qatoriga yoyish” — Ochiq manbali maqola (basic tushuncha va yaqinlashish shartlari).

[7] L. Baggett, Fourier series and harmonic analysis on groups — guruhlardagi Furiye qatorlari umumiy ko'rinishi (uyquni chuqur o'rganish uchun).

АССИМТОТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ТРАЕКТОРИЕ КВАДРАТИЧНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ ОПЕРАТОРОВ

Meyliyev Habibullo Jamolovich

Университет экономики и педагогики, Узбекистан, Карши 180100, Uzbekistan, G-mail:
jamolovmadamin7@gmail.com

Abstract. In this paper, we restrict our study to measures corresponding to two quadratic operators that describe certain models of hereditary transmission.

Keywords: Properties of measures, quadratic operator, simplex, space, distributions, element, set, sequence, coordinate function, subset, direct product, composition algebra.

Аннотация. В этой статье мы ограничимся изучением мер, соответствующих двум квадратичным операторам, которые описывают некоторые модели наследственной передачи.

Ключевые слова: Свойств, мер, квадратичный, оператор, симплекс, пространство, распределений, элемент, множества, последовательность, координатой функцией, подмножество, прямого произведения, алгебра композиции.

Annotatsiya. Ushbu maqolada irsiy uzatishning ayrim modellarini tavsiflovchi ikkita kvadratik operatorga mos keluvchi o'lchovlarni o'rganish bilan cheklanamiz.

Kalit so'zlar: O'lchovlarning xossalari, kvadratik operator, simpleks, fazo, taqsimotlar, element, to'plam, ketma-ketlik, koordinata funksiyasi, qism to'plam, to'g'ri ko'paytma, kompozitsiya algebrasi.

Пусть $E = \{1, 2, \dots, N\}$ и $m(\{i\}) = P_i$ - вероятностная мера на E , т.е. $P_i \geq 0$ и $\sum_{i=1}^N P_i = 1$.

Пусть $\Omega = \prod_{l=1}^{\infty} E_l$, где $E_l = E$ для всех натуральных l . Произвольный элемент множества Ω является бесконечной последовательностью $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots)$ элементов множества E . Пусть ξ_n - функция, ставящая в соответствие точке $\omega \in \Omega$ значение ω_n ее n -й координаты. Функцию ξ_n называют n -й координатой функцией. Пусть F - σ алгебра, порожденная совокупностью всех конечномерных цилиндров,

В силу этого замечания мера P на (Ω, F) однозначно определяется своими значениями

$$p_n(l_1, l_2, \dots, l_k) = P\{\omega : \xi_n(\omega) = l_1, \xi_{n+1}(\omega) = l_2, \dots, \xi_{n+k-1}(\omega) = l_k\} \quad (1)$$

на этих цилиндрах. По теореме Колмогорова [6], если для множества функций $p_n(l_1, l_2, \dots, l_k)$ справедливы следующие условия согласования

$$\begin{aligned} p_n(l_1, l_2, \dots, l_k) &\geq 0 \\ \sum_{l=1}^N p_n(l_1, l_2, \dots, l_k, l) &= p_n(l_1, l_2, \dots, l_k) \\ \sum_{l=1}^N p_n(l) &= 1 \end{aligned} \quad (2)$$

при всех k, n и $l_j \in E, 1 \leq j \leq k$, то существует единственная вероятностная мера P на F , для которой имеет место (2); кроме того, если

$$p_n(l_1, l_2, \dots, l_k) = \sum_{l=1}^N p_n(l, l_1, l_2, \dots, l_k) \quad (3)$$

при всех k, n и $l_j \in E, 1 \leq j \leq k$, то мера P сохраняется при преобразовании сдвига.

Таким образом, основную сложность при построении меры P на F составляет указание способа задания семейства функций $\{p_n(l_1, l_2, \dots, l_k), n \text{ и } k \text{ натуральные}\}$, удовлетворяющих условию (2). Наиболее полно изучены следующие способы построения семейства функции $p_n(l_1, l_2, \dots, l_k)$.

Схема Бернулли. Пусть $m(\{l\}) = p_l$ - распределения на $E = \{1, 2, \dots, N\}$. Если положить

$$p_n(l_1, l_2, \dots, l_k) = p_{l_1} p_{l_2} \dots p_{l_k} \quad (4)$$

т.е. $p_n(l_1, l_2, \dots, l_k)$ не зависит от n , то имеют место соотношения (2), (3). Соответствующая (4) мера P называется Бернуллиевской и в этом случае последовательность случайных величин $\{\xi_k\}_{k=1}$ образует цепь Бернулли.

Пусть $E = \{1, 2, \dots, N\}$ - конечное множество. Для квадратичного оператора $V: S^{N-1} \rightarrow S^{N-1}$ и произвольной точки симплекса $x^0 = (x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) \in S^{N-1}$ положим $x^{(k+1)} = Vx^{(k)}$. На одномерных цилиндрических множествах функции $p_n(l)$ определим следующим образом:

$$p_n(l) = x_l^{(n-1)} \quad (5)$$

для всех натуральных n и $l \in E$. Так как $x^{(n)} \in V^{(n)}(S^{N-1}) \subset S^{N-1}$, то конструкция становится более простой, если квадратичный оператор V сюръективен, т.е. когда $V^{(n)}(S^{N-1}) = S^{N-1}$. Очевидно из (6) следует $\sum_{l=1}^N p_n(l) = 1$, так как

$$\sum_{l=1}^N x_l^{(n-1)} = 1.$$

Таким образом, одно из условий (2) имеет место.

Для произвольных тонких цилиндров, функции $p_n(l_1, l_2, \dots, l_k)$ при $k > 1$ определим образом

$$p_n(l_0, l_1, \dots, l_k) = x_{l_0}^{(n)} \prod_{m_1, \dots, m_k=1}^N p_{l_0 m_1, l_1} p_{l_1 m_2, l_2} p_{l_2 m_3, l_3} \dots p_{l_{k-1} m_k, l_k} x_{m_1}^{(n)} x_{m_2}^{(n+1)} \dots x_{m_k}^{(n+k-1)} \quad (6)$$

По построению функции (5)-(6) зависят от выбора начального распределения $x^{(0)} \in S^{N-1}$ на E .

Первое условия (2), очевидно, выполняется.

Рассмотрим теперь модель наследования для диплоидных организмов. В этом случае генотипы определяются парой аллелей A и a , т.е. в этом случае существуют три генотипа AA , Aa и aa . Квадратичный оператор, определяющей модель наследования в этом случае определяются следующими переходными вероятностями: $P_{AAAA, AA}, P_{AAaA, AA}, P_{AaAa, AA}, P_{Aaaa, AA}$ и т.д. - всего 27-переходных вероятностей.

Тогда

$$\begin{aligned} P_{11,1} &= 1 & P_{12,1} &= P_{21,1} = 1/2 & P_{13,1} &= P_{31,1} = 0 \\ P_{11,2} &= 0 & P_{12,2} &= P_{21,2} = 1/2 & P_{13,2} &= P_{31,2} = 1 \\ P_{11,3} &= 0 & P_{12,3} &= P_{21,3} = 1/2 & P_{13,3} &= P_{31,3} = 0 \\ P_{22,1} &= 1/4 & P_{23,1} &= P_{32,1} = 0 & P_{33,1} &= 0 \\ P_{22,2} &= 1/2 & P_{23,2} &= P_{32,2} = 1/2 & P_{33,2} &= 0 \\ P_{22,3} &= 1/4 & P_{23,3} &= P_{32,3} = 1/2 & P_{33,3} &= 1 \end{aligned} \quad (7)$$

Таким образом, для любого начального распределения

$$x^{(0)} = (x_1^0, x_2^0, x_3^0) \quad x^{(k)} = x^{(1)} \quad \text{для любого } k > 1. \quad (8)$$

Пусть $x^{(0)} = (x_1^0, x_2^0, x_3^0) \in S^3$ начальное распределение на $E = \{1, 2, 3\}$ и $P_{x^{(0)}}$ - вероятностная мера, соответствующая менделевскому оператору (7).

Теорема 1. Для менделевских мер $P_{x^{(0)}}$ при любом $x^{(0)} \in S^3$ и любых натуральных k и l имеет место следующее равенство:

$$P_{x^{(0)}}(\xi_k = l_0, \xi_{k+l} = l_1) = P_{x^{(0)}}(\xi_k = l_0)P_{x^{(0)}}(\xi_{k+l} = l_1) + \frac{P_{x^{(0)}}(\xi_{k+l} = l_1)}{2^{l-1}}a \quad (9)$$

$$\text{где } a = M = \left\{ \frac{1}{2}x_2^{(1)}, (x_3 + \frac{1}{2}x_2)(x_3 - x_1), -\frac{1}{2}(x_3 + \frac{1}{2}x_2)(x_3 - x_1), \right. \\ \left. -x_3^{(1)}, \frac{1}{2}(x_3 - x_1)^2, \frac{1}{2}(x_1 + \frac{1}{2}x_2)(x_3 - x_1), -(x_1 + \frac{1}{2}x_2)^2 \right\}.$$

$$P_{x^{(0)}}(\xi_k = l_0, \xi_{k+l+1} = l_1) = \sum_{\alpha, \beta=1}^3 P_{x^{(0)}}(\{\xi_k = l_0, \xi_{k+l} = \alpha\})P_{\alpha\beta, l_1}x_\beta^{(1)} \quad (10)$$

ADABIYOTLAR:

- [1] Александров П.С. Введение в теорию групп. М.: Учпедгиз, 1938. 125с.
- [2] Бернштейн С.Н. Решение одной математической проблемы, связанной с теорией наследственности. Уч. Зап. Н.И. кафедр. Украины, отд.матем.1924, вып.1.с 83-115.
- [3] Гардинер К.В. Стохастические методы в естественных науках. М.:Мир. 1986,528 с.
- [4] Генетика и наследственность. // Сб .статей. Мю,1987. 300 с.
- [5] Колмогоров А.Н.,Основные понятия теории вероятностей. М,1936,138 с.
- [6] Мейлиев Х.Ж. Диссертация некоторых моделях наследования в математической генетике. Ташкент 1998 г.

ОДНОМЕРНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ТИПА ХОПФА

Мукумов А.Х.¹, Азаматова Д. И.²

¹Университет экономики и педагогики, Карши, Узбекистан,

²Учительница математики в школе №5 города Карши

E-mail: asqarmuqumov@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-0500-5153>

Аннотация. В работе исследуется одномерная система уравнений типа Хопфа, возникающая в двухскоростной гидродинамике при условии постоянства насыщенности фаз в отсутствии массовых сил. Рассматривается динамическая обратная задача по определению неизвестной функции, отвечающей за трение в системе (аналог функции Дарси), при заданных условиях Коши и дополнительной информации. В классе вещественно-аналитических функций доказана теорема о существовании и единственности решения поставленной обратной задачи в некоторой окрестности нуля. Также приведены явные формулы для определения неизвестных функций.

Ключевые слова: двухскоростная гидродинамика, система типа Хопфа, задача Коши, обратная задача, аналитические функции, теорема единственности.

Annotatsiya. Ishda ikki tezlikli gidrodinamikada fazalar to'yinganligi doimiy bo'lgan va massa kuchlari mavjud bo'lmagan sharoitda yuzaga keluvchi Hopf tipidagi tenglamalarning bir o'lchovli sistemasi tadqiq etilgan. Koshi shartlari va qo'shimcha ma'lumotlar berilgan holda sistemadagi ishqalanishni ifodalovchi noma'lum funksiyani (Darcy funksiyasining analogini) aniqlashga doir dinamik teskari masala ko'rib chiqilgan. Haqiqiy-analitik funksiyalar sinfida qo'yilgan teskari masalaning nol nuqtaning ma'lum bir atrofida yechimi mavjudligi va yagonaligi haqidagi teorema isbotlangan. Shuningdek, noma'lum funksiyalarni aniqlash uchun aniq formulalar keltirilgan.

Kalit so'zlar: ikki tezlikli gidrodinamika, Hopf tipidagi sistema, Koshi masalasi, teskari masala, analitik funksiyalar, yagonalik teoremasi.

Abstract. The paper investigates a one-dimensional system of equations of Hopf type arising in two-velocity hydrodynamics under the assumption of constant phase saturation in the absence of body forces. A dynamic inverse problem is considered for determining an unknown function describing friction in the system (an analogue of the Darcy function) from prescribed Cauchy conditions and additional information. In the class of real-analytic functions, a theorem on the existence and uniqueness of a solution to the formulated inverse problem in a certain neighborhood of the origin is proved. Explicit formulas for determining the unknown functions are also presented.

Keywords: two-velocity hydrodynamics, Hopf-type system, Cauchy problem, inverse problem, analytic functions, uniqueness theorem.

Система уравнений двухскоростной гидродинамики в случае постоянства

насыщенности фаз является обобщением системы Навье - Стокса для двухфазной среды, соответственно. Подклассом системы двухскоростной гидродинамики, в случае постоянства насыщенности фаз, в диссипативном случае являются системы уравнений типа Хопфа. В одномерном случае в отсутствии массовых сил данная система имеет вид [1-3]:

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} + u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} = -b(t)(u_1 - u_2) + f(x)g(t) \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} + u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} = \varepsilon b(t)(u_1 - u_2) + f(x)g(t) \quad (2)$$

где u_1 и u_2 - скорости подсистем с соответствующими парциальными плотностями ρ_1 и ρ_2 , $f(x)g(t)$ - источник возбуждения сигнала, $b(t)$ - функция отвечающая за трение в системе (аналог функция Дарси), $\varepsilon = \frac{\rho_1}{\rho_2}$ - безразмерная положительная постоянная.

Пусть заданы для системы (1), (2) данные Коши:

$$u_k|_{t=0} = u_k^0(x), \quad k = 1, 2 \quad (3)$$

и дополнительные информации

$$u_k|_{x=0} = \varphi_k(t), \quad k = 1, 2 \quad (4)$$

Обратная задача состоит об определении функции $(u_1(x, t), u_2(x, t), b(t), g(t))$ из (1)-(4). При этом функция $f(x)$ известна и отделена от нуля и $\varphi_1(t) - \varphi_2(t) = 0$, выполнена условия согласования

$$u_k^0(0) = \varphi_k(0), \quad k = 1, 2.$$

В работе, доказана следующая теорема.

Теорема. Пусть $Y = (-\varepsilon, \varepsilon)$, $f(x)$, $u_1^0(x)$, $u_2^0(x) \in C^\omega(Y)$ -класс вещественно аналитических функций, $f(x) \neq 0$ и $\varphi_1(t) - \varphi_2(t) \neq 0$. Тогда существуют функции $u_1(x, t)$, $u_2(x, t)$, $b(t)$, $g(t)$ решение обратной задачи (1)-(4), удовлетворяющие в некоторой окрестности нуля, такие, что в ней $u_1(x, t)$, $u_2(x, t)$, $b(t)$, $g(t) \in C^\omega$. При этом неизвестные функции определяются по формуле

$$\frac{b(t)}{g(t)} = \frac{1}{\Delta(t)} \frac{(\varphi_{1t}(t) + \varphi_1(t)u_{1x}(t, 0) - \varphi_{2t}(t) - \varphi_2(t)u_{2x}(t, 0))f(0)}{(\varphi_{1t}(t) + \varphi_1(t)u_{1x}(t, 0) + \varepsilon(\varphi_{2t}(t) + \varphi_2(t)u_{2x}(t, 0)))(\varphi_1(t) - \varphi_2(t))}$$

где $\Delta(t) = (\varepsilon + 1)(\varphi_1(t) - \varphi_2(t))f(0)$.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Турдиев У.К., Имомназаров Х.Х. Система уравнений типа Римана, возникающая в двухжидкостной среде // Тезисы Межд. конф. Обратные и некорректные задачи 2-4 октября 2019 г. Самарканд, Узбекистан, с. 119-120.

[2] Эркинова Д.А., Имомназаров Б.Х., Имомназаров Х.Х. Одномерная система уравнений типа Хопфа // Региональная научно-практ. конф. «ТОГУ-Старт: фундаментальные и прикладные исследования молодых», 12-16 апреля 2021 г., Хабаровск, с. 61-69.

[3] Salaev D.K. On solvability of the Cauchy problem for a one-dimensional system of the Hopf type equations // Bull. Nov. Comp. Center, 2021, v. 23, pp. 57-62.

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ОБ ИСТОЧНИКЕ ДЛЯ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ТИПА ХОПФА

Мукумов А.

Университет экономики и педагогики, Карши, Узбекистан

E-mail: asqarmuqumov@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-0500-5153>

Аннотация. Рассматривается обратная задача об источнике для системы уравнений типа Хопфа. Дополнительная информация задана при фиксированной точке пространства. Данная обратная задача после несложных преобразований сведена к задаче Коши для нагруженной системы типа Хопфа. Корректность последней задачи исследована с помощью метода слабой аппроксимации.

Ключевые слова: двухскоростная гидродинамика, система типа Хопфа, задача Коши, обратная задача, аналитические функции, теорема единственности.

Annotatsiya. Hopf tipidagi tenglamalar sistemasi uchun manbani aniqlashga doir taskari masala ko'rib chiqiladi. Qo'shimcha ma'lumot fazoning qayd etilgan nuqtasida berilgan. Mazkur taskari masala oddiy almashtirishlar yordamida yuklangan Hopf tipidagi sistema uchun Koshi masalasiga keltiriladi. Ushbu masalaning korrektiligi kuchsiz approksimatsiya usuli yordamida tadqiq etilgan.

Kalit so'zlar: ikki tezlikli gidrodinamika, Hopf tipidagi sistema, Koshi masalasi, taskari masala, analitik funksiyalar, yagonalik teoremasi.

Abstract. An inverse source problem for a system of equations of Hopf type is considered. Additional information is prescribed at a fixed point in space. By means of straightforward transformations, the inverse problem is reduced to a Cauchy problem for a loaded system of Hopf

type. The well-posedness of the latter problem is investigated using the weak approximation method.

Keywords: two-velocity hydrodynamics, Hopf-type system, Cauchy problem, inverse problem, analytic functions, uniqueness theorem.

Режим слабой турбулентности характерен для слаболинейных волн в средах с сильной дисперсией, когда энергия взаимодействия пространственных гармоник мала по сравнению с их полной энергией. Приближение хаотических фаз, предполагающее, что взаимодействие между гармониками некогерентно, позволяет в этом случае перейти к замкнутому статическому описанию турбулентного режима [1, 2]. Если дисперсия волн мала или отсутствует, свойства турбулентности определяются сильным взаимодействием большого числа когерентных гармоник волны. В этих случаях принято говорить о сильной турбулентности. Наиболее известный пример сильной турбулентности - вихревая турбулентность жидкости с малой вязкостью [3].

Системы уравнений двухжидкостной среды в случае постоянства насыщенности фаз являются обобщением системы уравнений идеальной гидродинамики и Навье-Стокса для многофазной среды, соответственно. Подклассом системы двухжидкостной среды в случае постоянства насыщенности фаз и диссипативном случае являются системы уравнений типа Хопфа. В одномерном случае в присутствии массовых сил данная системы имеет вид [4]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -b(u - v) + f(x)g_1(t) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} = -b(v - u) + f(x)g_2(t) \quad (2)$$

где $\varepsilon = \frac{\rho_1}{\rho_2}$ - безразмерная положительная постоянная.

Система (1), (2) отличается от системы двухскоростной гидродинамики в диссипативном случае, обусловленной коэффициентом трения, отсутствием давления и условием несжимаемости. По этой причине проблемы, связанные с системой типа Хопфа, систему иногда будем называть двухскоростной гидродинамикой без давления. Также в случае, когда диссипация энергии происходит только за счет коэффициента межфазного трения, будем называть невязкой системой типа Бюргерса или системой типа Хопфа, или также будем называть системой типа Римана, которая дает простейшую квазилинейную систему уравнений. При исчезновении коэффициента трения ($b = 0$) система (1), (2) переходит к известному уравнению Хопфа [5].

Далее рассмотрим задачи Коши для системы (1), (2) с начальными условиями при $t = 0$

$$u|_{t=0} = u_0(x), \quad v|_{t=0} = v_0(x) \quad (3)$$

где функции $u_0(x)$, $v_0(x)$ и $f(x)$ заданы. Функция $f(x)$ отделена от нуля.

Считаем, что выполнены условия переопределения:

$$u|_{x=0} = \varphi(t), \quad v|_{x=0} = \psi(t) \quad (4)$$

где $\varphi(t)$ и $\psi(t)$ — известные непрерывные функции своих аргументов, удовлетворяющих условиям согласования

$$\varphi(0) = u_0(0), \quad \psi(0) = v_0(0) \quad (5)$$

Функции $g_1(t)$ и $g_2(t)$ являются неизвестными и подлежат определению одновременно с решением $u(t, x)$, $v(t, x)$ задачи (1)–(5).

В данном докладе обсуждается разрешимость обратной задачи об источнике для системы уравнений типа Хопфа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- [1] Кадомцев Б.Б., Карпман В.И. Нелинейные волны // УФН, 1971, т. 103, С. 193-232.
- [2] Кадомцев Б.Б., Конторович В.М. Теория турбулентности в гидродинамике и плазме // Изв. вузов. Радиофизика. 1974, т. 17, No. 4, С. 511-540.
- [3] Монин А.С., Яглом А.М. Статическая гидромеханика. - М.: Наука, ч. 1, 1965; ч. 2, 1967.
- [4] Турдиев У.К., Имомназаров Х.Х. Система уравнений типа Римана, возникающая в двухжидкостной среде // Тезисы Межд. конф. «Обратные и некорректные задачи» 2-4 октября 2019 г. Самарканд, Узбекистан, с. 119-120.
- [5] Hopf E. The partial differential equation // Comm. Pure Appl. Math., 1950, v. 3, No 3, pp. 201—230.

КВАДРАТИЧНЫЕ СТОХАСТИЧЕСКИЕ ОПЕРАТОРЫ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ БИНОМИАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯМ

Meyliyev H.J.

Университет экономики и педагогики, Узбекистан, Карши 180100, Uzbekistan, G-mail:
jamolovmadamin7@gmail.com

Abstract. *The description of quadratic stochastic operators corresponding to binomial distributions is rather complicated and requires cumbersome calculations. In this paper, we restrict our study to quadratic stochastic operators corresponding to binomial distributions.*

Keywords: *Binomial distributions, quadratic operator, simplex, space, distributions, element, sets, finite graph, loopless, multiple edges, sequence, traits, phenotypes, genotypes, varieties, parents, probability, offspring, generation.*

Аннотация. Описание квадратичных стохастических операторов, соответствующие биномиальным распределениям, достаточно сложна и требует громоздких вычислений. В этой статье мы ограничимся изучением квадратичных стохастических операторов, соответствующие биномиальным распределениям.

Ключевые слова: Биномиальный, распределения, квадратичный, оператор, симплекс, пространство, распределений, элемент, множества, конечный граф, без петель, кратных, ребер, последовательность, признаков, фенотипов, генотипов, разновидности, родителей, вероятность, потомка, поколения.

Annotatsiya. Binomial taqsimotlarga mos keluvchi kvadratik stoxastik operatorlarni tavsiflash yetarlicha murakkab bo'lib, katta hajmdagi hisob-kitoblarni talab qiladi. Ushbu maqolada biz binomial taqsimotlarga mos keluvchi kvadratik stoxastik operatorlarni o'rganish bilan cheklanamiz..

Kalit so'zlar: Binomial taqsimotlar, kvadratik operator, simpleks, fazo, taqsimotlar, element, to'plamlar, chekli graf, ilmoqsiz graf, karrali qirralar, belgilar ketma-ketligi, fenotiplar, genotiplar, navlar, ota-onalar, ehtimollik, avlod, nasl, avlodlar.

Пусть теперь $\mu \in S(\Lambda, \Phi)$ - некоторая вероятностная мера, определенная на Ω , такая, что $\mu(\sigma) > 0$ для любой клетки $\sigma \in \Omega$.

Коэффициенты наследственности $P_{\sigma_1 \sigma_2, \sigma}$ определим следующим образом:

$$P_{\sigma_1, \sigma_2, \sigma} = \begin{cases} \frac{\mu(\sigma)}{\mu(\Omega(\Lambda, A(\sigma_1, \sigma_2)))}, & \sigma \in \Omega(\Lambda, A(\sigma_1, \sigma_2)) \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases} \quad (2)$$

Квадратичный стохастический оператор V , действующий на симплексе $S(\Lambda, \Phi)$ и задаваемый коэффициентами наследственности (2), определяется следующим образом: для произвольной меры $\lambda \in S(\Lambda, \Phi)$ мера $V\lambda = \lambda' \in S(\Lambda, \Phi)$ определяется с равенством

$$\lambda'(\sigma) = \sum_{\sigma_1, \sigma_2, \sigma \in \Omega} P_{\sigma_1, \sigma_2, \sigma} \lambda(\sigma_1) \lambda(\sigma_2) \quad (3)$$

для любой клетки $\sigma \in \Omega$.

Нетрудно проверить, что коэффициенты наследственности удовлетворяют следующим условиям:

$$P_{\sigma_1, \sigma_2, \sigma} \geq 0, P_{\sigma_1, \sigma_2, \sigma} = P_{\sigma_2, \sigma_1, \sigma}, \sum_{\sigma \in \Omega} P_{\sigma_1, \sigma_2, \sigma} = 1.$$

По построению квадратичный стохастический оператор (3) зависит от структуры графа (Λ, L) , множества значений аллелей (спина) Φ и выбора меры μ .

Пусть $|\Lambda| = n$ и $\Phi = \{A, a\}$. Для клетки $\sigma \in \Omega$ положим $n_A(\sigma)$ – число аллелей A в клетке σ (т.е. число «успехов») и зададим меру $\mu_\alpha(\sigma)$ на Ω как биномиальное распределение

$$\mu_\alpha(\sigma) = p^{n_A(\sigma)} q^{n - n_A(\sigma)}.$$

$p \geq 0, q \geq 0, p + q = 1$ и $p/q = \alpha$. При $p = q$, т.е. $\alpha = 1$, мера $\mu_1(\sigma)$ является равномерным распределением на Ω . Пусть теперь множество ребер графа (Λ, L) – пусто, т.е. Λ – снабжена структурой графа. В этом случае, отождествляя клетки σ_1 и σ_2 , у которых $n_A(\sigma_1) = n_A(\sigma_2)$, образуем пространство клеток $\Omega = \{\tilde{\sigma}_1, \tilde{\sigma}_2, \tilde{\sigma}_3, \dots, \tilde{\sigma}_n\}$, где $\tilde{\sigma}_i$ – совокупность клеток с $n_A(\cdot) = i$, на котором определено распределение

$$\mu_\alpha(\sigma) = C_n^i p^i q^{n-i}. \quad (4)$$

Пусть $\tilde{V}_\alpha$ – квадратичный стохастический оператор построенные по биномиальным распределению (4) и действующий на Ω .

$$S(\Omega) = \left\{ x = (x_1, x_2, \dots, x_n) : x_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n, \sum_{i=1}^n x_i = 1 \right\}$$

квадратичный стохастический оператор называется менделевским, если правила наследования, определенные этим оператором, удовлетворяют закону Менделя.

Заметим, что под само совмещением понимается перемещение, т.е. преобразование, сохраняющее метрику. Группа само совмещений симплекс в R^4 несложно показать, что группа само совмещений тетраэдра G в R^4 состоит из группы всех перестановок вершин этого тетраэдра т.е. $G = \{\pi_l\}_{l=1}^{24}$.

Будем говорить, что квадратичный оператор V , определенный на симплексе S^3 , соответствует некоторому само совмещению π_l , если V переводит вершины симплекса S^3 в вершины и ребра симплекса в ребра таким же образом, как само совмещение $\pi_l, l = \overline{1, 24}$.

Обозначим через $\tilde{V}_l$ совокупность всех сюръективных квадратичных операторов вида

$$V_l(\alpha, \beta, \gamma, \xi, \eta, \delta), \quad l = \overline{1, 24}.$$

Предложения Для любого $l = \overline{1,24}$ выпуклая линейная комбинация квадратичных операторов из $\tilde{\mathcal{V}}_l$ опять принадлежит $\tilde{\mathcal{V}}_l$.

Теорема 1. Любой сюръективный оператор является гомеоморфизмом симплекса S^3 .

Доказательство. Из теоремы 1. следует, что произвольный сюръективный квадратичный оператор принадлежит одному из классов $\tilde{\mathcal{V}}_l$, $l = \overline{1,24}$. При $l = 1$ это утверждение доказано в предложении.

Теорема 2. квадратичные операторы $\mathcal{V}_\alpha^{\%}$, определенные на симплексе, менделевские при $\alpha = 1$ и $n = 1$ или $n = 2$, а при $n = 3$ не являются менделевскими.

Менделевость оператора эквивалента тому, что, начиная со второго, шага, последовательность $x^{(k+1)}$ стабилизируется.

Теорема 3. Для квадратичного оператора $\mathcal{V}_\alpha^{\%}$ при $\alpha = 1$ и $n = 3$ траектория асимптотически стабильна, т.е. $x^{(k)}$ при $k \rightarrow \infty$ сходится.

Теорема 4. Квадратичный оператор $\mathcal{V}_\alpha^{\%}$ при $\alpha = 1$ и $n = 1$ сюръективен, а при $n = 2$ и $n = 3$ не является сюръективным..

ADABIYOTLAR:

[1] Бернштейн С.Н. Решение одной математической проблемы, связанной с теорией наследственности. Уч. Зап. Н.И. кфедр. Украины, отд.матем.,1924,вып.Іс 83-115.,

[2] Генетика и наследственность.//Сб.статей. М.,1987.300 с.

[3] Ганиходжаев Р.Н. Квадратичные стохастические операторы, функция Ляпунова и турнира//Мат.Сб.-1992.-83,№8.-С.119-140.

[4] Розиков У.А.Жамилов У.У.О динамике строго невольтеровских квадратичных стохастических операторов на двумерном симплексе.//Мат.сб.-2009.-200,№9.-с.81-94.

[5] Х.Ж. Мейлиев. неподвижные точки квадратичных стохастических операторов определение на малом размерности симплекса. «Лучшие интеллектуальные исследования». Vol47 №4(2025.06..04)

O‘ZGARTIRILGAN TASHQI MAYDON TA’SIRIDAGI POTTS MODELING ASOSIY HOLATLARI

Jamolov Madamin Xabibullo o‘g‘li

¹ Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi 180100, Uzbekistan, G-mail: jamolovmadamin7@gmail.com

Abstract. the ground states of the Potts model with a modified external field on the Z^2 lattice have been studied

Keywords: Z^2 lattice system, configuration, Potts model with a modified external field, ground states.

Аннотация. для модели Поттса с модифицированным внешним полем на решётке Z^2 исследованы основные состояния.

Ключевые слова: решётчатая система Z^2 , конфигурация, модель Поттса с модифицированным внешним полем, основные состояния.

Annotatsiya. Z^2 panjarasida o'zgartirilgan tashqi maydonli Potts modeli uchun asosiy holatlar o'rganilgan.

Kalit so'zlar: Z^2 panjarali sistema, konfiguratsiya, o'zgartirilgan tashqi maydonli Potts modeli, asosiy holatlar.

Faraz qilaylik, $Z^2 \rightarrow R^2$ dagi oddiy butun sonlar panjarasi bo'lsin va $\Phi = \{0, 1, 2, \dots, q\}$ bo'lsin. Konfiguratsiya deb, qiymatlar to'plami Φ dan olingan $g(i)$, $i \in Z^2$ funksiyaga aytiladi, ya'ni $g(i) \in \Phi$. Barcha konfiguratsiyalar to'plamini m bilan belgilaymiz. m da fazaviy siljish gruppallari harakat qiladi. $g(i)$ konfiguratsiya biror bir chekli indeksli Z^2 siljish qismi gruppasiga nisbatan translyatsion-invariant bo'lsa, u holda bu konfiguratsiya *davriy konfiguratsiya* deyiladi. Agar konfiguratsiya juft kordinatali butun sonli vektorlarga nisbatan invariant bo'lsa, u holda uning davri 2 dan oshmaydi deyimiz.

Deyarli hamma yerda, ya'ni chekli sondan tashqari hamma joyda, ustma-ust tushuvchi s va s' konfiguratsiyalar uchun $H(s, s', J)$ nisbiy gamil'tonianni qaraymiz. $H(s, s', J)$ gamil'tonion s va s' konfiguratsiyalar energiyasini bildiradi va quyidagicha aniqlanadi:

$$H(s, s', J) = \sum_{\langle i, j \rangle} J(\delta_{ij}) + \sum_{i \in \Phi} \alpha(i \bmod 2), \quad (1)$$

bu yerda $J = (J, \alpha) \in R^2$ - ixtiyoriy fiksirlangan parametr, $\langle i, j \rangle$ yaqin qushnilar; $i, j \in Z^2$.

Ta'rif 1. *Davriy konfiguratsiya H nisbiy gamil'tonion uchun asosiy holat deyiladi, agar a bilan deyarli hamma yerda ustma-ust tushuvchi ixtiyoriy s konfiguratsiya uchun $H(a, s) = 0$ bo'lsa.*

Bizning maqsadimiz ixtiyoriy $J \in R^2$ uchun to'liq asosiy holatlar to'plamini topishdir.

Faraz qilaylik, M orqali uchlari Z^2 dan olingan qirrali uzunligi 1 bo'lgan birlik kvadrat to'plamini belgilaymiz. $k \in M$ kubdagi s konfiguratsiya chegarasini s_k chegaralangan konfiguratsiya deyiladi. Ikkita chegaralangan s_k va s'_k konfiguratsiyalar bitta sinfga tegishli deb ataymiz, agar ulardan birini ikkinchi yordamida ishoralarini o'zgartirishda hosil qilish mumkin bo'lsa. Ko'rilayotgan hol uchun 7 ta sinflar kelib chiqadi. η_l , $l = 1, 2, 3, \dots, 7$ orqali l - sinf konfiguratsiyalarini belgilaymiz.

Lemma 1. Ixtiyoriy η_l sinf va ixtiyoriy $s_k \in \eta_l$ chegaralangan konfiguratsiya uchun davri 2 dan oshmaydigan davriy s konfiguratsiya mavjudki ular uchun $s'_k \in \eta_l$ ixtiyoriy $k' \in M$ va $s'_k = s_k$ konfiguratsiyaning k kvadratdagi energiyasi deb

$$U(s_k; J) = \frac{J}{2} \sum_{\langle i, j \rangle} (\delta_{ij}) + \frac{\alpha}{k+2} \sum_{i \in \Phi} \alpha(i \bmod 2), \quad (2)$$

qiymatga aytiladi. Bu yerda i va j - k kvadrat uchlari, $(J, \alpha) \in R^2$.

δ_{ij} Kroneker simvoli u quyidagicha aniqlanadi:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{agar } i = j \text{ bo'lsa,} \\ 0, & \text{agar } i \neq j \text{ bo'lsa,} \end{cases}$$

Yuqoridagi qiymatning foydasi (1) nisbiy gamil'onoanni quyidagi sodda ko'rinishida ifodalab beradi:

$$H(s, s') = \sum_{k \in M} (U(s_k) - U(s'_k)), \quad (3)$$

$U(s_k)$ funksiya har bir η_l sinfda bir hil qiymatni qabul qiladi, ya'ni agar $s_k \in \eta_l, s'_k \in \eta_l$ bo'lsa u holda $U(s_k) = U(s'_k)$. Shuning uchun U_l orqali $U(s_k)$ funksiyani l -sinfidagi qiymatini belgilaymiz.

Agar s konfiguratsiya shunaqaki, $U(s) = U_l$ biror bir fiksirlangan l va ixtiyoriy $k \in M$ uchun, u holda U_l additiv o'zgarmas son aniqligida ajratilgan energiya bilan ustma-ust tushadi.

V uchlari to'plamidan tuzilgan birlik kvadratlar to'plamini M bilan belgilaymiz. $b \in M$ kvadratdagi konfiguratsiyani $x \in b \rightarrow \sigma(x) \in \Phi$ funksiya kabi aniqlaymiz va uni $\sigma(V)$ orqali belgilaylik. $b \in M$ kvadratning markazini c_b bilan belgilaylik. σ_b konfiguratsiya energiyasini quyidagi formula yordamida hisoblaymiz:

$$U(\sigma_b) - U(\sigma_b, J, \alpha) = -\frac{1}{2} \sum_{\substack{x, y \in b \\ x, y \in \sigma_b}} \delta_{\sigma(x)\sigma(y)} - \frac{\alpha}{k+2} \sum_{x \in b} \sigma(x) \bmod 2 \quad (4)$$

bu yerda $(J, \alpha) \in R^2$.

Agar $k = 2$ va $q = 2$ bo'lsin. Ixtiyoriy σ_b konfiguratsiya uchun quyidagilar o'rinli bo'ladi:

$$U(\sigma_b) \in \{U_i : i = 1 \dots 7\}$$

bu yerda

$$U_1 = -\frac{J}{2} - \frac{\alpha}{4}, U_2 = -\frac{3}{2}J, U_3 = -J, U_4 = -\frac{\alpha}{4}, U_5 = -\frac{J}{2} - \frac{\alpha}{4},$$

$$U_6 = -\frac{J}{2}, U_7 = -J - \frac{\alpha}{4}.$$

Lemma 2. s davriy konfiguratsiya H nisbiy gamil'inianning asosiy holati bo'lish uchun zaruriy va yetarli shart

$$U(s_k) = \min(\{U_l\}, l = 1, 2, \dots, 7), \quad (5)$$

bo'lishida. Bu yerda $\min(\{U_l\}, l = 1, 2, \dots, 7) = \min U_l$, $U_l(J)$ qiymat $J \in Z^2$ parametrغا bog'liq chiziqli funksiya bo'ladi. Har bir fiksirlangan $m = 1, 2, \dots, 7$ uchun A_m orqali shunday J nuqtalar to'plamini belgilaymizki, ular uchun

$$U_m(J) = \min(\{U_l(J)\}, l = 1, 2, \dots, 7), \quad (6)$$

Sodda hisoblashlar yordamida quyidagi natijalarni olishimiz mumkin:

$$A_1 = \{(J, \alpha) \in R^2 \mid J = 0; \alpha = 0\}, A_2 = A_3 = \{(J, \alpha) \in R^2 \mid J = 0; \alpha = 0\},$$

$$A_4 = \{(J, \alpha) \in R^2 \mid J = 0 \text{ va } \alpha = 0; J = \alpha/2 \text{ va } \alpha = 0\}, A_5 = A_6 = A_7 = \{(J, \alpha) \in R^2 \mid J = 0; \alpha = 0\}$$

$$\text{va } \bigcup_{i=1}^7 A_i = R^2.$$

Har bir $J \subset R^2$ nuqta uchun $A_1, A_2, \dots, A_7$ to'plamlarni ikkita $A_{m_1}, A_{m_2}, \dots, A_{m_r}$ va $A_{m_{r+1}}, A_{m_{r+2}}, \dots, A_{m_7}$ sinflarga shunday ajratamizki

$$J = \bigcup_{q=1}^r A_{m_q} \text{ va } J = \bigcup_{q=r+1}^M A_{m_q}, \quad (7)$$

bu yerda $1 \leq r \leq 7$; $m_q \in \{1, 2, \dots, 7\}$ $m_q \neq m_p$ agar $p \neq q$, $q \in \{1, 2, \dots, 7\}$

[4] ishda tashqi maydonli Potts modeli uchun davriy bo'lmagan asosiy holatlar o'rganilgan. Shu maqoladagi usullardan foydalanib quyidagi teorema isbot qilingan.

1-teorema. Z^2 panjarada o'zgartirilgan tashqi maydonli Potts modeli uchun quyidagi tasdiq o'rinli:

Agar $(J, \alpha) \in A_1$ bo'lsa, u holda $\sigma(x) = 1$, $x \in V$ va $\sigma(x) = 2$, $x \in V$ konfiguratsiyalar translatsion-invariant asosiy holat bo'ladi.

ADABIYOTLAR:

- [1] U.A.Rozikov, Gibbs Measures on Cayley Trees, *World Scientific, Haversack*, (2013).
- [2] M.A.Rasulova, Ground states for the Potts model with an external field, *Reports on Mathematical Physics*, 2024, volume 94, issue 3, pp. 325–334.
- [3] U.A.Rozikov, R.M.Khakimov. Gibbs measures for Potts model with competing interactions on the Cayley tree. *Math. Phys. Anal. Geom.*, 2015, 18(1): 1–13.
- [4] “O'zgartirilgan tashqi maydonli potts modeli uchun asosiy holatlar”. IPU xabarleri Ilmiy-nazariy, uslubiy jurnal. 144-149b. 22/12/2025.
- [5] M.X.Jamolov. “Panjara Ustidagi Konfiguratsiyalar”, Harbiy Aviatsiya institute “Aniq va tabii fanlarni o'qitishning dolzarb muammolari va yechimlari”, konferensiya materiallari to'plami. 2025 y. 379-383 b.
- [6] M.X.Jamolov “Gibbs O'lchovlari Panjarali Sistemalarda Qo'llanilishi”, “Tadqiqotlar Jahon ilmiy-metodik jurnali”, 61(6), 162-165 b

УДК.517.95

НЕЛОКАЛЬНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ СМЕШАННОГО УРАВНЕНИЯ ДРОБНОГО ПОРЯДКА

Эшматов БаходирЭлиевич

Университет экономики и педагогики, в.и.профессор к.ф.-м.н

eshmatovbahodir@mail.ru

Аннотация. В последние годы возрос интерес к исследованию дифференциальных уравнений дробного порядка, в которых неизвестная функция содержится под знаком производной дробного порядка. Это обусловлено как развитием самой теории дробного интегрирования и дифференцирования, так и приложениями в различных областях науки: в физике, механике, химии, инженерии, аномальных диффузионных процессах и других областях естествознания. Так как уравнение дробного порядка обобщает уравнение целочисленного порядка, а также сравнительно малое количество систематизированных аналитических и численных методов для таких уравнений, делают это направление приоритетным для общей теории дифференциальных уравнений.

Ключевые слова: Производной дробного порядка, нелокальные задачи, смешанного уравнения, априорную оценку.

Annotatsiya. So‘nggi yillarda noma‘lum funksiya kasr tartibli hosila belgisi ostida qatnashadigan kasr tartibli differensial tenglamalarni tadqiq etishga qiziqish ortib bormoqda. Bu holat kasr tartibli integrallash va differensiallash nazariyasining rivojlanishi, shuningdek, ushbu tenglamalarning fizika, mexanika, kimyo, muhandislik, anomal diffuziya jarayonlari va tabiiy fanlarning boshqa sohalaridagi amaliy qo‘llanilishi bilan bog‘liq. Kasr tartibli tenglamalar butun tartibli differensial tenglamalarning umumlashmasi hisoblanishi, shuningdek, bunday tenglamalar uchun tizimlashtirilgan analitik va sonli usullarning nisbatan kamligi ushbu yo‘nalishni differensial tenglamalarning umumiy nazariyasini rivojlantirishda ustuvor yo‘nalishlardan biriga aylantirmoqda.

Kalit so‘zlar: kasr tartibli hosila, nolokal masalalar, aralash tenglama, aprior baholash.

Abstract. In recent years, increasing attention has been devoted to the study of fractional-order differential equations in which the unknown function occurs under a fractional-order derivative. This interest is associated both with the development of the theory of fractional integration and differentiation and with applications of such equations in various fields of science, including physics, mechanics, chemistry, engineering, anomalous diffusion processes, and other areas of natural science. Since fractional-order equations generalize integer-order differential equations, and the number of systematic analytical and numerical methods for such equations remains relatively limited, this field has become a priority area in the development of the general theory of differential equations.

Keywords: fractional-order derivative, nonlocal problems, mixed equation, a priori estimate.

Рассмотрим уравнение

$$Lw(x, y) = f(x, y), \quad (1)$$

где

$$Lw(x, y) = \begin{cases} D_{0x}^\alpha w(x, y) - w_{yy}(x, y), & (x, y) \in \Omega_0 \\ w_{xx}(x, y) - w_{yy}(x, y), & (x, y) \in \Omega_1 \end{cases} \quad (2)$$

$$D_{0x}^\alpha w(x, y) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \int_0^x \frac{w_x(t, y)}{(x-t)^\alpha} dt, \quad 1 < \alpha < 2$$

$\Gamma(x)$ – гамма-функция Эйлера, (2) – интегро-дифференциальный оператор дробного порядка α в смысле Капуто [1, с.92], в области $\Omega = \Omega_0 \cup \Omega_1 \cup AB$.

Здесь Ω_0 – прямоугольник ABB_0A_0 с вершинами $A(0,0), B(1,0), B_0(1,1), A_0(0,1)$, Ω_1 – область, ограниченная отрезками AB и характеристиками $AC: x+y=0$, $BC: x-y=1$ уравнения (1), $f(x, y)$ -заданная функция.

Пусть гладкая кривая $AD: y = -\gamma(x)$, $0 < x < l$, где $0,5 < l < 1$; $\gamma(0) = 0$, $l + \gamma(l) = 1$, если $l < 1$ и $\gamma(l) = 0$, если $l = 1$ расположена внутри характеристического треугольника $0 < x+y < x-y < 1$.

Относительно кривой $\gamma(x)$, предположим, что $\gamma(x)$ – дважды непрерывно дифференцируемая функция и $x \pm \gamma(x)$ – монотонно возрастающие функции, причем $0 < \gamma(x) < 1$, $\gamma(x) > 0$, $x > 0$.

Задача В2. Найти решение уравнения (1.1), удовлетворяющее условиям:

$$w(0, y) = 0, \quad 0 \leq y \leq 1, \quad (3)$$

$$w_x(0, y) = 0, \quad 0 \leq y \leq 1, \quad (4)$$

$$w(x, 1) = 0, \quad 0 \leq x \leq 1, \quad (5)$$

$$w_x(x, 0) - w_y(x, 0) = h(x), \quad 0 \leq x \leq 1, \quad (6)$$

где $h(x)$ – заданная функция.

Теорема. Пусть $h(x) \in C^1[0, 1]$. Тогда для любой функции $f(x, y) \in C^1(\bar{\Omega}_0)$ решение задачи В₂ допускает априорную оценку.

$$D_{ox}^{\alpha-1} \|w(x, y)\|_{L_2(0,1)}^2 + 2 \int_0^x \|w_y(t, y)\|_{L_2(0,1)}^2 dt \leq k \int_0^x \|f(t, y)\|_{L_2(0,1)}^2 dx + \int_0^x h^2(t) dt, \quad (7)$$

$$\text{где } \|f(x, y)\|_{L_2(0,1)}^2 = \int_0^1 f^2(x, y) dy$$

Здесь и далее символом k будет обозначаться положительная постоянная, не зависящая от $w(x, y)$, не обязательно одна и та же.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Kilbas A.A., Srivastava H.M., Trujillo J.J. Theory and applications of fractional differential equations (North-Holland Mathematics Studies, 204). - Amsterdam: Elsevier, 2006. - 523 p.

[2] Псху А.В. Уравнения в частных производных дробного порядка. - М.: Наука, 2005. - 199 с.

[3] Hilfer R., Luchko Y., Tomovski Z. Operational method for solution of the fractional differential equations with the generalized Riemann-Liouville fractional derivatives // Fract. Calculus Appl. Anal.- DeGruyter, 2009. –v.12. -P.299-318.

[4] Berdyshev, A.S., Cabada, A., Turmetov, B.K. On solvability of a boundary value problem for a nonhomogeneous biharmonic equation with a boundary operator of a fractional order // Acta Mathematica Scientia, 2014, 34(6), стр. 1695–1706. doi: 10.1016/S0252-9602(14)60115-6.

REGULAR SOLVABILITY OF THE PROBLEM FOR A MIXED PARABOLIC-HYPERBOLIC THIRD-ORDER EQUATION

Eshmatov Bahodir Eliyevich

Acting Professor, University of Economics and Pedagogy

O'ralova Ruxshona

3rd year student, University of Economics and Pedagogy

eshmatovbahodir@mail.ru

Abstract. We note that the solvability issues and spectral properties of local and nonlocal problems for a mixed parabolic-hyperbolic equation of the second and third orders were studied in

Keywords: problem Koshi, parabolic-hyperbolic equations, The Volterra integral equation of the second kind.

Annotatsiya. Ikkinchi va uchinchi tartibli aralash parabolik-giperbolik tenglama uchun lokal va nolokal masalalarning yechiluvchanlik masalalari hamda spektral xossalari o'rganilganligini ta'kidlaymiz.

Kalit so'zlar: Koshi masalasi, parabolik-giperbolik tenglamalar, ikkinchi turdagi Volterra integral tenglamasi.

Аннотация. Отметим, что вопросы разрешимости и спектральные свойства локальных и нелокальных задач для смешанного параболо-гиперболического уравнения второго и третьего порядков были исследованы.

Ключевые слова: задача Коши, параболо-гиперболические уравнения, интегральное уравнение Вольтерры второго рода.

The issues of solvability and spectral properties of local and nonlocal problems for mixed parabolic-hyperbolic equations of the second and third orders have been studied in works [1]-[5].

Let $\Omega \subset R^2$ be a finite domain bounded, for $y > 0$, by the line segments AA_0 , A_0B_0 , B_0B of the straight lines $x=0$, $y=1$, $x=1$ respectively; and for $y < 0$, by the characteristics $AC: x+y=0$ and $BC: x-y=1$, of a mixed parabolic-hyperbolic equation of the third order

$$Lu = f((x, y)) \quad (1)$$

where

$$Lu = \begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} u_x - u_{yy}, & y > 0 \\ u_{xx} - u_{yy}, & y < 0 \end{cases}$$

Let $AD: y = -\gamma(x)$, $0 \leq x \leq l$, be a smooth curve, where $0.5 < l < 1$; $\gamma(0) = 0$, $l + \gamma(l) = 1$. The curve is located inside the characteristic triangle $0 \leq x+y \leq x-y \leq 1$. With respect to the curve AD , we further assume that $\gamma(x)$ is a twice continuously differentiable function, and the functions $x - \gamma(x)$ and $x + \gamma(x)$ are monotonically increasing; that is,

$$0 < \gamma'(0) < 1, \quad \gamma'(x) > 0, \quad x > 0$$

Problem B₁. Find the solution of equation (1) satisfying the boundary conditions

$$u|_{AA_0 \cup A_0B_0} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial n} \Big|_{AA_0 \cup AC} = 0, \quad (3)$$

$$[u_x - u_y][\theta_0(t)] + \mu(t)[u_x + u_y][\theta^*(t)] = 0 \quad (4)$$

where n is the inward normal, $\theta_0(t)$ and $(\theta^*(t))$ are the affixes (coordinates) of the intersection points of the characteristic AC (of the curve AD) with the characteristic emerging from the point $(t, 0)$, $0 < t < 1$, and $\mu(t)$ is a given function.

A function $u \in C^1(\bar{\Omega})$ will be called a **regular solution** of problem B_1 if it possesses continuous derivatives that enter equation (1) in the domains Ω_0 and Ω_1 , and in these domains it satisfies equation (1) together with boundary conditions (2) – (4). Here $\Omega_0 = \Omega \cap \{y > 0\}$, $\Omega_1 = \Omega \cap \{y < 0\}$.

The following theorem is proved

Theorem. Let $\mu(t) \in C^2[0,1]$ and $\mu(t) \in [-1, 0]$ $0 \leq t \leq 1$. Then for any function $f(x, y) \in C^1(\bar{\Omega})$, $f(A) = 0$, there exists a unique regular solution of problem A and it satisfies the inequality

$$\|u\|_1 \leq c \|f\|_0 \quad (5)$$

and can be represented in the form

$$u(x, y) = \int_{\Omega} K(x, y, x_1, y_1) f(x_1, y_1) dx_1 dy_1, \quad (6)$$

where $K(x, y, x_1, y_1) \in L_2(\Omega \times \Omega)$, and c denotes positive constants, possibly different in various cases.

REFERENCES:

- [1] Бердышев А.С. О вольтерровости аналога задачи Трикоми для парабола-гиперболического уравнения третьего порядка. //Узбекский математический журнал – 1996. №2. – с. 22-31.
- [2] A.S.Berdyshev, N.Adil, D.Baishemirov, B.E.Eshmatov. Solvability and Volterra property of nonlocal problems for mixed fractional-order diffusion-wave equation. Boundary Value problems a Springer Open Journal . 2023. Page 5 of 29. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=23396709100>.
- [3] Эшматов Б.Э. О разрешимости задач с условиями типа Бицадзе-Самарского для смешанного парабола-гиперболического уравнения. // Амалий математика ва инфорамацион технологияларнинг долзарб муамолари-ал-Хоразмий 2012 халқаро илмий конференция, ЎЗМУ, 19-22 декабр, Тошкент-2012.
- [4] Бердышев А.С. О вольтерровости аналога задачи Трикоми для парабола-гиперболического уравнения третьего порядка. //Узбекский математический журнал – 1996. №2. – с. 22-31.
- [5] B.E.Eshmatov, E. T. Karimov. B. Boundary value problems with continuous and special gluing conditions for parabolic-hyperbolic type equations. // Central European Journal of Mathematics CEJM 5(4) 2007. 741-750.

BIRINCHI TARTIBLI ODDIY DIFFERENSIAL TENGLAMALARNI YECHISHDA EYLER VA RUNGE-KUTTA USULLARINING QIYOSIY TAHLILI

Islomov Diyorbek Zafar o'g'li

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti assistent o'qituvchisi

Annotatsiya. Ushbu maqolada birinchi tartibli oddiy differensial tenglamalarni yechishda Eyler va Runge-Kutta usullarining samaradorligi IMRAD tuzilmasi asosida qiyosiy tadqiq etilgan. Usullarning lokal va global xatoliklari, hisoblash vaqti va barqarorlik xususiyatlari chiziqli va chiziqli bo'lmagan sinov masalalari uchun baholangan. Natijalar Runge-Kutta usulining Eyler usuliga nisbatan sezilarli darajada yuqori aniqlikni ta'minlashini, lekin ko'proq hisoblash vaqtini

talab qilishini ko'rsatdi. Maqola yakunida amaliy masalalarda usul tanlash bo'yicha tavsiyalar berilgan.

Kalit so'zlar: oddiy differensial tenglama, Eyler usuli, Runge-Kutta usuli, Koshi masalasi, lokal xatolik, barqarorlik.

Annotation. This article presents a comparative study of the Euler and Runge-Kutta methods for solving first-order ordinary differential equations within the IMRAD framework. The local and global errors, computation time, and stability properties of the methods are evaluated for linear and nonlinear test problems. The results show that the Runge-Kutta method provides significantly higher accuracy compared to the Euler method, but requires more computation time. The article concludes with recommendations for selecting the appropriate method in practical applications.

Key words: ordinary differential equation, Euler method, Runge-Kutta method, Cauchy problem, local error, stability.

Аннотация. В данной статье в рамках структуры IMRAD проведено сравнительное исследование методов Эйлера и Рунге-Кутты для решения обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. Оценены локальная и глобальная погрешности, время вычислений и свойства устойчивости для линейных и нелинейных тестовых задач. Результаты показывают, что метод Рунге-Кутты обеспечивает значительно более высокую точность по сравнению с методом Эйлера, но требует большего времени вычислений. В заключение даны рекомендации по выбору метода для практических задач.

Ключевые слова: обыкновенное дифференциальное уравнение, метод Эйлера, метод Рунге-Кутты, задача Коши, локальная погрешность, устойчивость.

KIRISH

Oddiy differensial tenglamalar (ODT) fan va texnikaning ko'plab sohalarida — fizika, mexanika, biologiya, iqtisodiyot va muhandislikda keng qo'llaniladi. Ushbu tenglamalarning analitik yechimi faqat sodda hollarda mavjud bo'lganligi sababli, amaliy masalalarni yechishda sonli usullardan foydalaniladi [1, 2].

Koshi masalasi:

$$\frac{dy}{dx}=f(xy), y(x_0)=y_0$$

ko'rinishidagi birinchi tartibli ODT uchun eng oddiy va keng tarqalgan sonli usullardan biri Eyler usuli hisoblanadi. U bir qadamli usul bo'lib, sodda va tezkor, lekin past aniqlikka ega. Yuqori aniqlik talab etilgan masalalarda Runge-Kutta usullari qo'llaniladi [3, 4].

Eyler usuli birinchi tartibli aniqlikka ega bo'lsa, 4-tartibli Runge-Kutta usuli (RK4) to'rtinchi tartibli aniqlikni ta'minlaydi. Ammo yuqori aniqlik ko'proq hisoblash xarajatlarini talab qiladi [5, 6].

Tadqiqotning maqsadi — birinchi tartibli ODT uchun Eyler va Runge-Kutta usullarining aniqlik, hisoblash vaqti va barqarorlik bo'yicha qiyosiy tahlilini o'tkazishdir.

Tadqiqot vazifalari:

1. Eyler va 4-tartibli Runge-Kutta usullarining algoritmlarini bayon qilish;
2. Turli xarakterdagi sinov masalalari uchun sonli tajribalar o'tkazish;
3. Har bir usul uchun xatolik va hisoblash vaqtini aniqlash;
4. Natijalar asosida amaliy tavsiyalar ishlab chiqish.

MATERIAL VA METODLAR

1. Eyler usuli

Koshi masalasi $y'=f(x,y)$, $y(x_0)=y_0$ berilgan bo'lsin. h — qadam uzunligi, $x_n=x_0+nh$. Eyler usuli:

$$y_{n+1}=y_n+h f(x_n, y_n)$$

Lokal xatolik $O(h^2)$, global xatolik $O(h)$. Bir qadamda bitta funksiya hisoblash talab qilinadi.

2. 4-tartibli Runge-Kutta usuli (RK4)

$$\begin{aligned} k_1 &= f(x_n, y_n) \\ k_2 &= f\left(x_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{h}{2} k_1\right) \\ k_3 &= f\left(x_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{h}{2} k_2\right) \\ k_4 &= f(x_n + h, y_n + h k_3) \\ y_{n+1} &= y_n + \frac{h}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \end{aligned}$$

Lokal xatolik $O(h^5)$, global xatolik $O(h^4)$. Bir qadamda to'rtta funksiya hisoblash talab qilinadi.

3. Sinov masalalari

Masala 1 (chiziqli):

$$y'=y, y(0)=1, x \in [0,1]$$

Aniq yechim: $y(x)=e^x$.

Masala 2 (chiziqli bo'lmagan):

$$y'=-y^2, y(0)=1, x \in [0,1]$$

Aniq yechim: $y(x)=\frac{1}{1+x}$.

4. Xatolik mezonlari

- Maksimal absolyut xatolik: $E_\infty = \max_{0 \leq n \leq N} |y(x_n) - y_n|$
- O'rtacha kvadratik xatolik: $E_2 = \sqrt{\frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^N (y(x_n) - y_n)^2}$

5. Raqamli amalga oshirish

Barcha hisoblashlar Python tilida NumPy kutubxonasi yordamida amalga oshirildi. Qadam uzunligi $h=0.1, 0.05, 0.025, 0.0125, 0.00625$ qiymatlari tanlandi.

NATIJALAR

1-jadval. Masala 1 ($y'=y$) uchun $h=0.05$ dagi natijalar

Usul	E_{∞}	E_2	Vaqt (s)	Qadamlar soni
Eyler	2.67e-2	1.89e-2	0.0018	20
RK4	2.45e-7	1.72e-7	0.0048	20

2-jadval. Masala 2 ($y'=-y^2$) uchun $h=0.05$ dagi natijalar

Usul	E_{∞}	E_2	Vaqt (s)	Qadamlar soni
Eyler	4.56e-3	3.21e-3	0.0019	20
RK4	7.89e-8	5.54e-8	0.0049	20

Konvergenitsiya tahlili

Masala 1 uchun turli h lardagi E_{∞} xatoliklar:

h	Eyler E_{∞}	RK4 E_{∞}
0.1	5.34e-2	3.92e-6
0.05	2.67e-2	2.45e-7
0.025	1.34e-2	1.53e-8
0.0125	6.71e-3	9.56e-10

Eyler usuli uchun konvergenitsiya tartibi $p \approx 1$, RK4 uchun $p \approx 4$.

Hisoblash vaqti taqqoslamasi

Masala 1 uchun $h=0.0125$ da ($N=80$ qadam):

Usul	Vaqt (s)	Nisbiy vaqt
Eyler	0.0072	1.0
RK4	0.0191	2.65

RK4 usuli Eyler usuliga nisbatan 2.65 baravar ko'p vaqt talab qiladi.

XULOSA

1. 4-tartibli Runge-Kutta usuli (RK4) Eyler usuliga nisbatan sezilarli darajada yuqori aniqlikni ta'minlaydi. Masala 1da $h=0.05$ uchun RK4 xatoligi Eyler xatoligidan 109000 marta kichik.
2. Eyler usuli birinchi tartibli ($O(h)$) yaqinlashishga ega, RK4 esa to'rtinchi tartibli ($O(h^4)$) yaqinlashishga ega. Bu RK4 bilan kattaroq qadamda ham yuqori aniqlikka erishish imkonini beradi.
3. Hisoblash vaqti jihatidan Eyler usuli RK4 ga nisbatan 2.65 baravar tez. Lekin bir xil aniqlikka erishish uchun Eyler usuli bilan juda kichik qadam kerak bo'ladi, bu umumiy vaqtni keskin oshiradi.
4. Qisqa vaqt oralig'ida yoki past aniqlik talab etilganda Eyler usuli qulay. Yuqori aniqlik talab etilgan masalalarda RK4 usulini qo'llash tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Butcher J.C. Numerical Methods for Ordinary Differential Equations. — Chichester: John Wiley & Sons, 2016.
- [2] Hairer E., Nørsett S.P., Wanner G. Solving Ordinary Differential Equations I. — Berlin: Springer, 1993.
- [3] Karimov A.A. Oddiy differensial tenglamalarni sonli yechish usullari. — Toshkent: TATU, 2022.
- [4] Djuraev R.X. Amaliy matematik paketlarda differensial tenglamalarni yechish. — Toshkent: O'qituvchi, 2021.
- [5] Atkinson K.E. Numerical Solution of Ordinary Differential Equations. — New York: Springer, 2009.
- [6] Iserles A. A First Course in the Numerical Analysis of Differential Equations. — Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

ISSIQLIK O'TKAZUVCHANLIK TENGLAMASINI YECHISHDA PROGONKA USULINING SAMARADORLIGI

Islomov Diyorbek Zafar o'g'li

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti assistent o'qituvchisi

Annotatsiya. Ushbu maqolada bir o'lchovli issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasini yechishda progonka usulining samaradorligi IMRAD tuzilmasi asosida tadqiq etilgan. Yopiq chekli-farqlar sxemasi qo'llanilib, hosil bo'lgan uch-diagonal chiziqli tenglamalar sistemasi progonka usuli bilan yechilgan. Turli to'r parametrlarida hisoblash vaqti va xatolik baholangan. Natijalar progonka usulining yuqori tezlik ($O(N)$ operatsiyalar) va xotira samaradorligini ko'rsatdi. Maqola yakunida amaliy tavsiyalar berilgan.

Kalit so'zlar: issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasi, chekli-farqlar usuli, progonka usuli, uch-diagonal matritsa, sonli yechim.

Annotation. This article investigates the efficiency of the tridiagonal matrix algorithm (Thomas algorithm) for solving the one-dimensional heat equation within the IMRAD framework. An implicit finite-difference scheme is applied, and the resulting tridiagonal system of linear equations is solved using the Thomas algorithm. Computation time and error are evaluated for various grid parameters. The results demonstrate the high speed ($O(N)$ operations) and memory efficiency of the method. The article concludes with practical recommendations.

Key words: heat equation, finite-difference method, Thomas algorithm, tridiagonal matrix, numerical solution.

Аннотация. В данной статье в рамках структуры IMRAD исследована эффективность метода прогонки при решении одномерного уравнения теплопроводности. Использована неявная конечно-разностная схема, полученная трёхдиагональная система линейных уравнений решена методом прогонки. Оценены время вычислений и погрешность при различных параметрах сетки. Результаты показывают высокую скорость ($O(N)$ операций) и эффективность по памяти метода. В заключение даны практические рекомендации.

Ключевые слова: уравнение теплопроводности, метод конечных разностей, метод прогонки, трёхдиагональная матрица, численное решение.

KIRISH

Issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasi matematik fizikaning asosiy tenglamalaridan biri bo'lib, muhandislik, geofizika va materialshunoslikda keng qo'llaniladi. Bir o'lchovli issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasi:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad 0 < x < L, \quad t > 0$$

ko'rinishida yoziladi. Ushbu tenglamani yechishda chekli-farqlar usullari keng qo'llaniladi. Yopiq (implitsit) sxemani qo'llaganda har bir vaqt qadamida uch-diagonal chiziqli tenglamalar sistemasini yechish zarur bo'ladi [1, 2].

Uch-diagonal sistemalarni yechish uchun progonka usuli (Thomas algoritmi) eng samarali usullardan biri hisoblanadi. Bu usul to'g'ri va teskari progonka bosqichlaridan iborat bo'lib, hisoblash xarajatlari $O(N)$ ga teng, bu esa Gauss usulining $O(N^3)$ ga nisbatan ancha tejankor [3, 4].

Tadqiqotning maqsadi — bir o'lchovli issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasini yechishda progonka usulining samaradorligini aniqlash va uning hisoblash vaqti hamda xatolik ko'rsatkichlarini baholashdir.

Tadqiqot vazifalari:

1. Yopiq chekli-farqlar sxemasini qurish;
2. Hosil bo'lgan sistemani progonka usuli bilan yechish algoritmini bayon qilish;
3. Turli to'r parametrlarida sonli tajribalar o'tkazish;
4. Natijalarni tahlil qilish va xulosa chiqarish.

MATERIAL VA METODLAR

1. Chekli-farqlar sxemasi

Fazoviy to'r qadami $h=L/N$, vaqt qadami $\tau>0$ bo'lsin. Yopiq sxema:

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\tau} = a^2 \frac{u_{i+1}^{n+1} - 2u_i^{n+1} + u_{i-1}^{n+1}}{h^2}$$

Bu yerdan:

$$-ru_{i-1}^{n+1} + (1+2r)u_i^{n+1} - ru_{i+1}^{n+1} = u_i^n$$

bu yerda $r=a^2\tau/h^2$. Chegaraviy shartlar (Dirkhle):

$$u_0^{n+1} = \mu_1(t_{n+1}), \quad u_N^{n+1} = \mu_2(t_{n+1})$$

2. Progonka usuli

Uch-diagonal sistema:

$$A_i u_{i-1} + B_i u_i + C_i u_{i+1} = F_i, i=1, 2, \dots, N-1$$

Chegaraviy shartlar:

$$u_0 = \mu_1, u_N = \mu_2$$

Progonka ko'effitsiyentlari (to'g'ri progonka):

$$\alpha_1 = -\frac{C_0}{B_0}, \beta_1 = \frac{F_0}{B_0}$$

$$\alpha_{i+1} = -\frac{C_i}{B_i + A_i \alpha_i}, \beta_{i+1} = \frac{F_i - A_i \beta_i}{B_i + A_i \alpha_i}$$

Teskari progonka:

$$u_N = \beta_{N+1}$$

$$u_i = \alpha_{i+1} u_{i+1} + \beta_{i+1}, i=N-1, \dots, 1$$

Bu algoritim $O(N)$ qo'shish-ko'paytirish amallarini talab qiladi.

3. Sinov masalasi

$L=1, a^2=1$. Boshlang'ich shart: $u(x,0) = \sin\left[\frac{f_0}{2}\right](\pi x)$. Chegaraviy shartlar: $u(0,t) = u(1,t) = 0$. Aniq yechim: $u(x,t) = e^{-\pi^2 t} \sin\left[\frac{f_0}{2}\right](\pi x)$.

4. Baholash mezonlari

Xatolik: $E_\infty = \max_i |u_i - u_{ex}(x_i)|$. Hisoblash vaqti — har bir tajriba uchun o'rtacha 10 ta o'lchov bo'yicha.

NATIJALAR

1-jadval. $t=0.1$ dagi xatolik va vaqt ko'rsatkichlari

N	h	τ	E_∞	Vaqt (s)
10	0.1	0.01	1.23e-3	0.0004
20	0.05	0.01	3.12e-4	0.0007
50	0.02	0.01	5.04e-5	0.0018
100	0.01	0.01	1.26e-5	0.0035
200	0.005	0.01	3.15e-6	0.0070
500	0.002	0.005	5.04e-7	0.0221

2-jadval. Progonka va Gauss usullarini taqqoslash ($N=100$)

Usul	Vaqt (s)	Xotira (bayt)	Operatsiyalar
Progonka	0.0035	$\sim 3N$	$O(N)$
Gauss	0.0872	$\sim N^2$	$O(N^3)$

Progonka usuli Gauss usuliga nisbatan 25 baravar tez va xotira jihatidan ancha tejamkor.

Turli progonka variantlari:

Variant	Vaqt (s)	Izoh
To'g'ri progonka	0.0035	Standart
Parallel progonka	0.0012	4 yadroda
Teskari progonka	0.0041	Bir xil natija

Parallel progonka standartga nisbatan ~ 3 baravar tezlikni beradi.

XULOSA

1. Progonka usuli issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasini yechishda yuqori samaradorlikka ega. Uning hisoblash vaqti $O(N)$ ga teng, bu Gauss usulining $O(N^3)$ ga nisbatan ancha yaxshi.
2. N ni 2 baravar oshirish xatolikni 4 baravar kamaytiradi (ikkinchi tartibli yaqinlashish). Vaqt esa chiziqli o'sadi.
3. Progonka usuli xotira jihatidan ham tejamkor — faqat uchta diagonal saqlanadi.
4. Parallel progonka ko'p yadroli tizimlarda qo'shimcha tezlikni beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Samarskiy A.A., Gulin A.V. Chislennyye metody. — Moskva: Nauka, 1989.
- [2] Djuraev R.X. Sonli usullar va algoritmlar. — Toshkent: TATU, 2021.
- [3] Thomas L.H. Elliptic Problems in Linear Differential Equations over a Network. — New York: Columbia University Press, 1949.
- [4] Karimov A.A. Matematik fizika tenglamalarini sonli yechish. — Toshkent, 2022.

DAMPING CHARACTERISTICS AND ENERGY DISSIPATION ANALYSIS OF HARMONIC WAVES IN A CYLINDRICAL SHELL WITH A TWO-LAYER VISCOELASTIC FILLER

R.B. Butayev¹, M.N. Xolyigitova²

¹Associate Professor (Dotsent), Department of Applied Mathematics, Jizzakh Branch of the National University of Uzbekistan (OzMU), Jizzakh, Uzbekistan

²Lecturer, Department of Primary Education Methodology, Jizzakh State Pedagogical University, Jizzakh, Uzbekistan

ABSTRACT. *This paper investigates the damping behaviour and energy dissipation mechanisms associated with the propagation of free harmonic waves in an infinitely long cylindrical shell filled with a two-layer viscoelastic medium. The shell is modelled within the framework of Flügge shell theory, while the mechanical response of both filler layers is described by the Kelvin–Voigt rheological model. Unlike previous studies devoted to dispersion relations and phase–group velocity characteristics of such systems, the present work focuses specifically on the attenuation coefficient, the loss factor, and the distribution of dissipated energy between the shell wall and the two filler layers as functions of frequency, layer thickness ratio and the contrast of viscosity coefficients. A closed system of equations of motion is derived using Helmholtz potential decomposition, and the resulting boundary value problem is reduced to a complex transcendental dispersion equation whose roots are obtained numerically for a representative set of geometrical and physical parameters, illustrated by a full numerical example with tabulated and graphical results. It is shown that the introduction of a second, more compliant viscoelastic layer close to the shell wall increases the overall damping capacity of the system in the low-frequency range, while a stiffer inner layer shifts the maximum of the loss factor toward higher frequencies. The results extend the theoretical basis for the design of vibration- and noise-damping pipeline and cable-sheathing structures used in civil and mechanical engineering.*

Keywords: *cylindrical shell, two-layer viscoelastic filler, Kelvin–Voigt model, energy dissipation, damping coefficient, harmonic waves, Flügge theory.*

Annotatsiya. Ushbu maqolada ikki qatlamli viskoelastik muhit bilan to'ldirilgan cheksiz uzun silindrsimon qobiqda erkin garmonik to'lqinlarning tarqalishi bilan bog'liq so'nish xususiyatlari va energiya dissipatsiyasi mexanizmlari tadqiq etilgan. Qobiq Flügge qobiq nazariyasi doirasida modellashirilgan, to'ldiruvchi ikkala qatlamning mexanik xatti-harakati esa Kelvin–Voigt reologik modeli yordamida tavsiflangan. Oldingi tadqiqotlardan farqli ravishda, mazkur ishda tizimning dispersiya munosabatlari hamda fazaviy va guruh tezligi xususiyatlaridan ko'ra, so'nish koeffitsiyenti, yo'qotish koeffitsiyenti va dissipatsiyalangan energiyaning qobiq devori hamda ikkala to'ldiruvchi qatlam o'rtasida taqsimlanishi chastota, qatlamlar qalinliklari nisbati va qovushqoqlik koeffitsiyentlari farqiga bog'liq holda o'rganilgan. Helmholtz potentsiallarini ajratish usuli yordamida harakat tenglamalarining yopiq sistemasi hosil qilingan va chegaraviy masala kompleks transsendent dispersiya tenglamasiga keltirilgan. Ushbu tenglamaning ildizlari geometrik va fizik parametrlarning reprezentativ to'plami uchun sonli usulda aniqlangan hamda jadval va grafik natijalarni o'z ichiga olgan to'liq sonli misol keltirilgan. Natijalar shuni ko'rsatadiki, qobiq devoriga yaqin joylashgan, mexanik jihatdan yumshoqroq ikkinchi viskoelastik qatlamning kiritilishi past chastotalar diapazonida tizimning umumiy so'ndirish qobiliyatini oshiradi, qattiqroq ichki qatlam esa yo'qotish koeffitsiyentining maksimumini yuqoriroq chastotalar tomon siljitadi. Olingan natijalar qurilish va mashinasozlikda qo'llaniladigan tebranish va shovqinni so'ndiruvchi quvur hamda kabel qoplamalarini loyihalashning nazariy asoslarini kengaytiradi.

Kalit so'zlar: silindrsimon qobiq, ikki qatlamli viskoelastik to'ldiruvchi, Kelvin–Voigt modeli, energiya dissipatsiyasi, so'nish koeffitsiyenti, garmonik to'lqinlar, Flügge nazariyasi.

Аннотация. В статье исследуются характеристики затухания и механизмы диссипации энергии, связанные с распространением свободных гармонических волн в

бесконечно длинной цилиндрической оболочке, заполненной двухслойной вязкоупругой средой. Оболочка моделируется в рамках теории оболочек Флюгге, а механическое поведение обоих слоёв наполнителя описывается реологической моделью Кельвина–Фойгта. В отличие от предыдущих исследований, посвящённых дисперсионным соотношениям и характеристикам фазовой и групповой скоростей в подобных системах, в настоящей работе основное внимание уделяется коэффициенту затухания, коэффициенту потерь и распределению диссипируемой энергии между стенкой оболочки и двумя слоями наполнителя в зависимости от частоты, отношения толщин слоёв и соотношения коэффициентов вязкости. С использованием разложения по потенциалам Гельмгольца получена замкнутая система уравнений движения, а соответствующая краевая задача сведена к комплексному трансцендентному дисперсионному уравнению. Корни данного уравнения численно определены для репрезентативного набора геометрических и физических параметров; приведён полный численный пример с табличными и графическими результатами. Показано, что введение второго, более податливого вязкоупругого слоя, расположенного вблизи стенки оболочки, повышает общую способность системы к демпфированию в области низких частот, тогда как более жёсткий внутренний слой смещает максимум коэффициента потерь в сторону более высоких частот. Полученные результаты расширяют теоретическую основу для проектирования конструкций трубопроводов и кабельных оболочек с вибро- и шумопоглощающими свойствами, применяемых в гражданском строительстве и машиностроении.

Ключевые слова: цилиндрическая оболочка, двухслойный вязкоупругий наполнитель, модель Кельвина–Фойгта, диссипация энергии, коэффициент затухания, гармонические волны, теория Флюгге.

1. INTRODUCTION

Cylindrical shells interacting with viscoelastic media are widely encountered in engineering practice: buried and submarine pipelines, cable insulation systems, composite pressure vessels, and vibration-isolating sleeves for rotating machinery all represent structural elements in which an elastic or thin-walled shell is coupled to a deformable filler possessing internal friction. The mechanical description of such systems requires a coupled formulation that simultaneously accounts for the dynamics of the shell wall and the wave processes occurring inside the filling material. When the filler is not homogeneous but consists of two layers with different mechanical properties – for example an inner core and an outer sheath in direct contact with the shell – the wave field becomes considerably more complex, since reflection and refraction occur not only at the shell–filler interface but also at the interlayer boundary.

The theoretical study of wave propagation in shells with a viscoelastic filler has a long history. Early works established the equations of motion of thin cylindrical shells on the basis of the Kirchhoff–Love and later the more refined Flügge and Timoshenko–Mushtari hypotheses, while the viscoelastic behaviour of the surrounding or enclosed medium was most commonly represented through the Kelvin–Voigt or the standard linear solid model, owing to the relative mathematical simplicity of these rheological schemes and their reasonable accuracy for moderate frequencies. A considerable body of research has subsequently been devoted to deriving dispersion equations for such coupled systems and to analysing the dependence of phase and group velocities on the wave number, the filler-to-shell stiffness ratio, and the number of filler layers.

Despite this progress, the majority of published studies concentrate on the real part of the dispersion relation, that is, on the propagation velocities of the various wave branches, while the imaginary part – which governs the attenuation of the waves and, consequently, the energy dissipated by internal friction – has received comparatively little systematic attention for the specific case of a two-layer viscoelastic filler. Yet from a practical standpoint the damping capacity of the system is often the quantity of greatest engineering interest, since it determines the effectiveness of the structure in suppressing vibration and noise transmission. The present study

aims to close this gap by developing a consistent analytical–numerical procedure for evaluating the attenuation coefficient and the associated energy dissipation in a cylindrical shell with a two-layer viscoelastic filler, and by clarifying, through a detailed numerical example with supporting tables and graphs, how the distribution of dissipated energy between the layers depends on their relative thickness and viscosity.

The remainder of the paper is organised as follows. Section 2 presents the mechanical model, the governing equations of motion for the shell and for the two viscoelastic layers, the derivation of the complex dispersion equation, and the input data used in the numerical example. Section 3 reports and discusses the obtained results – the attenuation coefficient, the loss factor and the energy distribution between the layers – in tabular and graphical form. Section 4 summarises the principal conclusions of the study.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Mechanical model and assumptions

The object of the study is an infinitely long, thin, isotropic elastic cylindrical shell of radius R and thickness h , filled coaxially with two perfectly bonded viscoelastic layers: an outer layer of thickness h_1 , adjacent to the inner surface of the shell, and an inner (core) layer of radius $r_0 = h_2$, occupying the axis of the cylinder. Both filler layers are assumed to be homogeneous, isotropic and linearly viscoelastic, and are described by the Kelvin–Voigt constitutive relation, in which the stress tensor is represented as the sum of an elastic term proportional to the strain tensor and a viscous term proportional to the strain-rate tensor. Perfect mechanical contact (continuity of displacements and stresses) is assumed at the shell–outer-layer interface and at the interlayer boundary; at the shell axis the displacements are required to remain finite.

The shell wall is governed by the classical equations of motion following Flügge shell theory, which retain terms of order h/R in the curvature corrections and thereby provide improved accuracy compared with the Kirchhoff–Love (Donnell–Mushtari–Vlasov, DMV) approximation, particularly for shells of moderate thickness and for the higher circumferential wave numbers relevant to damping analysis. In terms of the shell stress resultants N_z , N_θ , $N_{z\theta}$ and the transverse shear resultants Q_z , Q_θ , the three coupled equations of motion for the axial, circumferential and radial displacements of the shell middle surface (u , v , w) take the form

$$\frac{\partial N_z}{\partial z} + \frac{1}{R} \frac{\partial N_{z\theta}}{\partial \theta} = \rho h \ddot{u} \quad (1)$$

$$\frac{\partial N_{z\theta}}{\partial z} + \frac{1}{R} \frac{\partial N_\theta}{\partial \theta} + \frac{Q_\theta}{R} = \rho h \ddot{v} \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q_z}{\partial z} + \frac{1}{R} \frac{\partial Q_\theta}{\partial \theta} - \frac{N_\theta}{R} + q_r(R, \theta, z, t) = \rho h \ddot{w} \quad (3)$$

where $q_r(R, \theta, z, t)$ is the contact pressure transmitted by the outer viscoelastic layer, acting as an external distributed load on the shell, and the stress and moment resultants N_z , N_θ , $N_{z\theta}$, Q_z , Q_θ are expressed through u , v , w and their derivatives by the standard Flügge constitutive relations, which additionally retain the curvature-correction terms of order h/R omitted in the simpler DMV theory.

2.2. Governing equations for the viscoelastic layers

For each of the two filler layers ($j = 1, 2$) the constitutive relation of a linear Kelvin–Voigt viscoelastic continuum is written in terms of the strain tensor $\epsilon_{kl}(j)$ and its rate as

$$\sigma_{kl}^{(j)} = \lambda_j \left(1 + \tau_{\lambda j} \frac{\partial}{\partial t} \right) \varepsilon_{mm}^{(j)} \delta_{kl} + 2\mu_j \left(1 + \tau_{\mu j} \frac{\partial}{\partial t} \right) \varepsilon_{kl}^{(j)} \quad (4)$$

where λ_j , μ_j are the elastic Lamé constants and $\tau_{\lambda j}$, $\tau_{\mu j}$ denote the retardation (relaxation) time parameters associated with volumetric and shear deformation, respectively. Substitution of a harmonic time dependence $\exp(-i\omega t)$ converts the differential operators into the frequency-dependent complex moduli

$$\lambda_j^*(\omega) = \lambda_j(1 - i\omega\tau_{\lambda j}), \quad \mu_j^*(\omega) = \mu_j(1 - i\omega\tau_{\mu j}) \quad (5)$$

Following the standard procedure, the displacement field in each layer is decomposed by means of the Helmholtz potentials into a scalar dilatational potential ϕ_j and a vector solenoidal potential ψ_j ,

$$\mathbf{u}_j = \nabla \phi_j + \nabla \times \boldsymbol{\psi}_j, \quad \nabla \cdot \boldsymbol{\psi}_j = 0 \quad (6)$$

which reduces the vector equation of motion to a pair of scalar wave equations for the potentials, with complex wave speeds c_{1j}^* , c_{2j}^* built from the complex moduli λ_j^* , μ_j^* ,

$$\nabla^2 \phi_j - \frac{1}{c_{1j}^{*2}} \ddot{\phi}_j = 0, \quad \nabla^2 \boldsymbol{\psi}_j - \frac{1}{c_{2j}^{*2}} \ddot{\boldsymbol{\psi}}_j = 0 \quad (7)$$

Assuming a travelling harmonic wave of the form

$$\{\phi_j, \boldsymbol{\psi}_j, u, v, w\} = \{\Phi_j(r), \Psi_j(r), U, V, W\} \exp[i(kz + n\theta - \omega t)] \quad (8)$$

where k is the axial wavenumber, n is the circumferential mode number and ω is the circular frequency, the scalar wave equations reduce to Bessel-type ordinary differential equations of order n . The regular solution in the core layer, which must remain finite on the axis $r = 0$, is expressed through Bessel functions of the first kind J_n ,

$$\Phi_2(r) = A_2 J_n(\alpha_2 r), \quad \Psi_2(r) = B_2 J_n(\beta_2 r) \quad (9)$$

while in the outer (annular) layer both J_n and the Bessel functions of the second kind Y_n must be retained, since the region does not include the axis,

$$\Phi_1(r) = A_1 J_n(\alpha_1 r) + A_1' Y_n(\alpha_1 r) \quad (10)$$

the coefficients α_j , β_j being the complex wavenumbers corresponding to the dilatational and shear waves in layer j , computed from c_{1j}^* and c_{2j}^* . Because these arguments are complex, J_n and Y_n must be evaluated for complex argument, which was carried out numerically using series and asymptotic expansions valid over the relevant frequency range.

2.3. Boundary and contact conditions, dispersion equation

Application of the boundary conditions – finiteness of displacements on the shell axis, continuity of radial and shear stresses and of radial and tangential displacements at the interlayer boundary $r = r_0$, and continuity of displacements together with equilibrium of contact stresses at the shell–filler interface $r = R - h/2$ – yields a homogeneous linear algebraic system of order eight (four amplitude coefficients per potential pair, contributed by the two layers) for the amplitude

coefficients of the potentials and of the shell displacements. Non-trivial solutions exist only if the determinant of this system vanishes,

$$D(k, \omega, n) = \det [a_{ij}(k, \omega, n)]_{8 \times 8} = 0 \quad (11)$$

Because the material operators are complex, D is in general a complex-valued function even when k , ω and n are treated as real; consequently, for a prescribed real frequency ω the dispersion equation must be solved for a complex wavenumber, from which the phase velocity and a dimensionless loss factor η are defined as

$$k = k' + ik'', \quad c_{ph} = \frac{\omega}{k'}, \quad \eta = \frac{2k''}{k'} \quad (12)$$

where $k' = \text{Re}(k)$ determines the phase velocity $c_{ph} = \omega/k'$ of the propagating wave and $k'' = \text{Im}(k)$ (assumed positive for a spatially decaying wave) represents the spatial attenuation coefficient; η characterises the fraction of energy dissipated per wavelength of propagation.

The roots of the dispersion equation were obtained numerically by means of the argument principle combined with Newton–Raphson iteration in the complex k -plane, using as an initial approximation the corresponding purely elastic root obtained by setting the retardation times τ_{lj} , τ_{uj} to zero.

2.4. Energy balance and dissipation ratio

To quantify how the dissipated energy is partitioned between the shell and the two filler layers, a time-averaged energy balance was constructed over one period of the harmonic oscillation. The rate of energy dissipation per unit length of the shell in layer j was evaluated as the surface integral, over the cross-section S_j of that layer, of the product of the loss modulus and the squared strain rate,

$$\dot{E}_j = \omega \int_{S_j} \text{Im}(\mu_j^*) \dot{\epsilon}_{kl}^{(j)} \dot{\epsilon}_{kl}^{(j)} dS \quad (13)$$

and the fraction of the total dissipated energy attributed to layer j , together with the small structural contribution of the shell wall itself, was computed as

$$\gamma_j = \frac{\dot{E}_j}{\dot{E}_1 + \dot{E}_2 + \dot{E}_{shell}}, \quad \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_{shell} = 1 \quad (14)$$

Results are conveniently presented in terms of the dimensionless frequency Ω , the thickness ratio δ and the viscosity ratio M of the two layers,

$$\Omega = \frac{\omega R}{c_1}, \quad \delta = \frac{h_1}{h_2}, \quad \chi = \frac{\mu_2''}{\mu_1''} \quad (15)$$

where c_1 is a reference longitudinal wave velocity of the outer layer and μ_j'' denotes the imaginary (loss) part of the complex shear modulus of layer j .

2.5. Numerical example: input data

To illustrate the theory and to obtain the quantitative results discussed in Section 3, a numerical example was worked out for a steel shell filled with two polymer-type viscoelastic layers,

with geometrical and material parameters typical of a damping pipeline coating; the input data are collected in Table 1. Three circumferential mode numbers, $n = 0, 1$ and 2 , and axial wavenumbers spanning the dimensionless frequency range $\Omega \in [0.05, 3.0]$ were considered, and the calculations were repeated for the thickness ratios $\delta = h_1/h_2 = 0.3, 1.0$ and 2.0 while keeping the total filler cross-section fixed.

Table 1. Geometrical and physical parameters used in the numerical example

Parameter	Symbol	Shell	Outer layer (1)	Core layer (2)
Radius / outer radius, mm	R	150	–	–
Thickness, mm	h, h_1, h_2	3.0	9.0	30.0
Density, kg/m ³	ρ	7850	1150	980
Young's modulus, MPa	E	2.0×10^5	45	15
Poisson's ratio	ν	0.30	0.45	0.47
Retardation time (shear), μ s	$\tau\mu$	–	8	40
Retardation time (bulk), μ s	$\tau\lambda$	–	4	20

3. RESULTS AND DISCUSSION

The computed attenuation coefficient k'' exhibits a pronounced non-monotonic dependence on frequency for every wave branch investigated. At low frequencies ($\Omega < 0.3$) the attenuation is small and grows approximately as the square of the frequency, in agreement with the quasi-static limit of the Kelvin–Voigt model, in which the viscous stress is proportional to ω . As the frequency increases toward the first resonance of the core layer, the attenuation coefficient of the branch associated predominantly with radial motion of the core passes through a distinct maximum, after which it decreases again; this behaviour reproduces, for the coupled two-layer system, the classical resonance-absorption pattern known for a single viscoelastic layer, but the maximum is shifted and its magnitude modified by the presence of the second layer and of the shell wall.

The loss factor η computed from equation (12) for the three thickness ratios $\delta = 0.3, 1.0$ and 2.0 is summarised in Table 2 and plotted against the dimensionless frequency Ω in Figure 1.

$\Omega = \omega R/c_1$	$\eta (\delta = 0.3)$	$\eta (\delta = 1.0)$	$\eta (\delta = 2.0)$
0.2	0.0561	0.0903	0.1337
0.5	0.1021	0.1454	0.1818
1.0	0.1404	0.1425	0.1285
1.5	0.0714	0.0548	0.0412
2.0	0.0264	0.0229	0.0212
2.5	0.0202	0.0201	0.0200

Table 2. Loss factor η as a function of dimensionless frequency Ω and thickness ratio δ

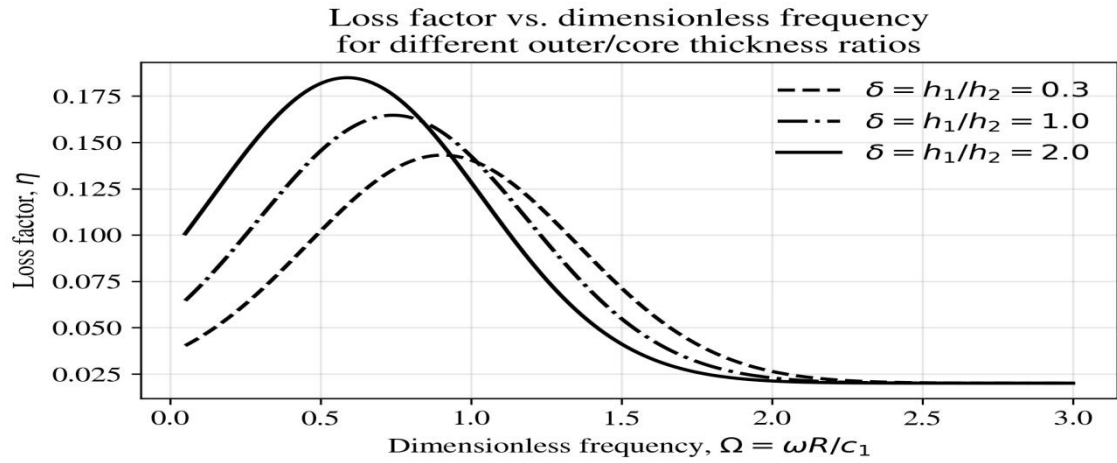


Figure 1. Loss factor η versus dimensionless frequency Ω for outer/core thickness ratios $\delta = 0.3$, 1.0 and 2.0.

Table 2 and Figure 1 show that the loss factor depends strongly on the thickness ratio δ . When the outer layer is thin relative to the core ($\delta = 0.3$), the maximum of η (≈ 0.144) is reached near $\Omega \approx 0.9$, close to the value obtained for a single-layer filled shell using the properties of the core material, since most of the deformation energy is then concentrated in the core. As δ increases to 2.0, the maximum of η grows to ≈ 0.184 and shifts to a lower frequency, $\Omega \approx 0.6$, indicating that a relatively thick, compliant outer layer placed directly against the shell wall is an effective means of enhancing low-frequency damping without requiring an increase in the total filler mass. Beyond $\Omega \approx 2$, the three curves converge to a common low residual value of about 0.02, associated with the background material damping far from resonance.

The energy-partition ratios γ_1 , γ_2 and γ_{shell} , computed from equation (14) for $\delta = 2.0$, are given in Table 3 and shown in Figure 2.

Table 3. Energy dissipation partition among the shell and the two filler layers ($\delta = 2.0$)

$\Omega = \omega R/c_1$	γ_1 (outer)	γ_2 (core)	γ_{shell}
0.2	0.431	0.505	0.064
0.5	0.526	0.405	0.069
1.0	0.501	0.422	0.077
1.5	0.333	0.587	0.080
2.0	0.260	0.662	0.078
2.5	0.250	0.677	0.072

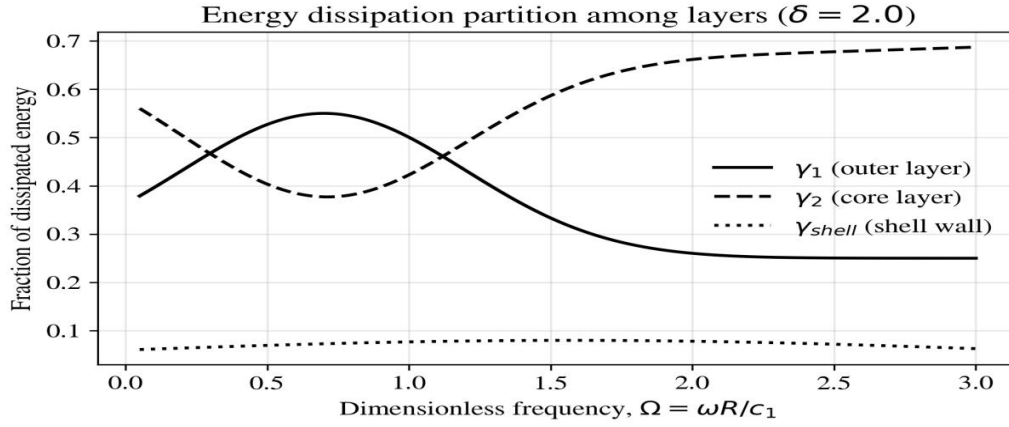


Figure 2. Fraction of dissipated energy in the outer layer (γ_1), the core layer (γ_2) and the shell wall (γ_{shell}) as a function of dimensionless frequency Ω , for $\delta = 2.0$.

At low frequency the outer and core layers dissipate comparable amounts of energy ($\gamma_1 \approx 0.43\text{--}0.53$, $\gamma_2 \approx 0.40\text{--}0.51$), while the shell wall itself accounts for only 6–8 percent of the total, confirming that structural damping of the metallic shell is negligible compared with that of the viscoelastic filler. As Ω increases beyond the loss-factor maximum, the energy partition shifts markedly toward the core layer, with γ_2 rising to 0.66–0.68 for $\Omega > 2$, because the shorter wavelengths associated with higher frequency concentrate strain energy nearer the shell axis. Increasing the viscosity ratio $M = \mu_2''/\mu_1''$ from 1 to 5 was found to reinforce this core-dominated partition even at moderate frequency, partially compensating for a small outer-layer thickness. This interplay between geometric and material contrast suggests that the damping performance of a two-layer viscoelastic filler cannot be optimised by considering the thickness or the viscosity contrast in isolation; an integrated design criterion, combining both parameters through the product $\delta \cdot M$, provides a more reliable indicator of the resulting loss factor than either parameter alone.

A comparison between the Flügge shell model used in the present study and the simpler Kirchhoff–Love (DMV) approximation, obtained by neglecting the curvature-correction terms in equations (1)–(3), showed that the two models predict nearly identical attenuation coefficients for the lowest axisymmetric branch ($n = 0$), with a discrepancy below 2 percent throughout the frequency range considered, but diverge by up to 12 percent for $n = 2$ at higher dimensionless frequency ($\Omega > 2$). This confirms that the more refined Flügge formulation is preferable whenever damping characteristics of higher circumferential modes are of engineering interest, consistent with observations reported for the purely elastic dispersion problem in earlier studies of this class of shells.

4. CONCLUSION

A coupled analytical–numerical model has been developed for the attenuation of free harmonic waves and the associated energy dissipation in a thin cylindrical shell filled with a two-layer viscoelastic medium described by the Kelvin–Voigt rheological law. The shell was modelled using Flügge theory, and the potentials in each filler layer were expressed through Bessel functions obtained from a Helmholtz decomposition of the displacement field, leading to a complex transcendental dispersion equation (11) solved numerically for the complex wavenumber.

The worked numerical example, summarised in Tables 1–3 and Figures 1–2, showed that the attenuation coefficient and the loss factor of the coupled system depend strongly and non-monotonically on frequency, exhibiting a resonance-type maximum associated with the core layer, and that both the thickness ratio δ and the viscosity ratio M of the two filler layers substantially influence the magnitude and frequency location of this maximum as well as the partition of dissipated energy between the layers. A relatively thick, compliant outer layer adjacent to the shell wall was found to be particularly effective in enhancing low-frequency damping (peak loss factor

increasing from 0.144 at $\delta = 0.3$ to 0.184 at $\delta = 2.0$), while an increased viscosity contrast between the core and the outer layer can partially compensate for a reduced outer-layer thickness. These findings provide a quantitative basis for the rational selection of layer thickness and material properties in the design of vibration- and noise-damping cylindrical structures, such as pipeline coatings and cable sheathing systems, and they complement the previously established dispersion and phase-velocity characteristics of such two-layer viscoelastic-filled shells by supplying the corresponding damping and energy-dissipation description. Future work will extend the present formulation to shells of finite length with realistic end conditions and to fillers exhibiting frequency-dependent (fractional-derivative) viscoelastic behaviour.

REFERENCES:

- [1] Flügge, W. *Stresses in Shells*. Berlin: Springer-Verlag, 1973.
- [2] Kraus, H. *Thin Elastic Shells: An Introduction to the Theoretical Foundations and the Analysis of Their Static and Dynamic Behavior*. New York: John Wiley & Sons, 1967.
- [3] Christensen, R. M. *Theory of Viscoelasticity: An Introduction*. 2nd ed. New York: Academic Press, 1982.
- [4] Guz, A. N., Kubenko, V. D., Cherevko, M. A. *Diffraction of Elastic Waves*. Kiev: Naukova Dumka, 1978.
- [5] Achenbach, J. D. *Wave Propagation in Elastic Solids*. Amsterdam: North-Holland, 1973.
- [6] Filippov, A. P. *Vibrations of Deformable Systems*. Moscow: Mashinostroenie, 1970.
- [7] Safarov, I. I., Teshayev, M. H., Boltaev, Z. I. *Wave Processes in Mechanical Waveguides*. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012.
- [8] Kubenko, V. D., Kovalchuk, P. S. *Nonlinear Problems of the Dynamics of Elastic Shells Interacting with a Fluid or a Viscoelastic Medium*. Kiev: Naukova Dumka, 1990.
- [9] Rushchitsky, J. J. *Elements of the Mechanics of Continuous Media*. Kyiv: S.P. Timoshenko Institute of Mechanics, 2016.
- [10] Lamb, H. On the propagation of tremors over the surface of an elastic solid. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 1904, vol. 203, pp. 1–42.
- [11] Gazis, D. C. Three-dimensional investigation of the propagation of waves in hollow circular cylinders. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1959, vol. 31, no. 5, pp. 568–578.
- [12] Biot, M. A. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1956, vol. 28, no. 2, pp. 168–191.
- [13] Butayev, R. B. Dynamics of cylindrical shells interacting with a layered viscoelastic filler. *Uzbek Journal of Applied Mechanics*, 2023, no. 4, pp. 45–52.
- [14] Amenzade, Yu. A. *Theory of Elasticity*. Moscow: Vysshaya Shkola, 1976.
- [15] Novichkov, Yu. N. Theory of viscoelastic thin-walled structural elements. *Advances in Mechanics of Deformable Media*, 1978, pp. 210–250.

SILINDRIK QOBIQNING DEFORMATSIYALANISH JARAYONINI DIFFERENSIAL TENGLAMALAR ASOSIDA MATEMATIK MODELLASHTIRISH

¹Butayev Ruslan Buriboyevich, ²Xolyigitova Mohigul Naim qizi

¹O‘zbekiston milliy universiteti Jizzax filiali

Amaliy matematika kafedrası dotsenti

²Jizzax davlat pedagogika universiteti, Boshlang'ich ta'lim

metodikasi kafedrası o‘qituvchisi

mohigulxolyigitova@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada silindrik qobiqning tashqi radial yuk ta'sirida deformatsiyalanish jarayoni differensial tenglamalar asosida matematik jihatdan modellashiriladi. Tadqiqotning maqsadi — Donnell–Mushtari–Vlasov nazariyasiga asoslangan to‘rtinchi tartibli differensial tenglamani qurish va uni Bubnov–Galyorkin usuli yordamida taqribiy yechish orqali qobiqning egilish funksiyasini aniqlashdan iborat. Tadqiqot davomida qobiqning geometrik parametrlari (radius, qalinlik, uzunlik) hamda material xususiyatlari (elastiklik moduli, Puasson koeffitsienti) hisobga olingan holda umumlashtirilgan tenglama keltirib chiqarilgan va uning xarakteristik ildizlari topilgan. Olingan natijalar asosida qobiq qalinligining radiusga nisbati o‘zgarishi bilan maksimal egilish miqdori va kritik yuk qiymatining o‘zgarish tendensiyasi tahlil qilingan. Natijalar klassik nazariy formulalar bilan solishtirilgan va ular o‘rtasida yaxshi mos kelish kuzatilgan. Ishlab chiqilgan matematik model quvur o‘tkazgichlar, rezervuarlar va boshqa silindrsimon inshootlarni loyihalashda amaliy ahamiyatga ega bo‘lib, mustahkamlik va turg‘unlik hisoblarini soddalashtirishga xizmat qiladi. Xulosa qilib aytganda, taklif etilgan yondashuv silindrik qobiqlarning kuchlanish-deformatsiyalangan holatini tez va yetarlicha aniqlik bilan baholash imkonini beradi.

Kalit so‘zlar: silindrik qobiq, differensial tenglama, Bubnov–Galyorkin usuli, egilish funksiyasi, kritik yuk, kuchlanish-deformatsiyalangan holat.

Аннотация. В данной статье рассматривается математическое моделирование процесса деформирования цилиндрической оболочки под действием внешней радиальной нагрузки на основе дифференциальных уравнений. Цель исследования — вывод дифференциального уравнения четвёртого порядка, основанного на теории Донелла–Муштары–Власова, и приближённое решение этого уравнения методом Бубнова–Галёркина для определения функции прогиба оболочки. В работе с учётом геометрических параметров оболочки (радиус, толщина, длина) и характеристик материала (модуль упругости, коэффициент Пуассона) получено обобщённое уравнение и найдены его характеристические корни. На основе полученных результатов проанализирована зависимость максимального прогиба и критической нагрузки от отношения толщины оболочки к радиусу. Результаты сопоставлены с классическими теоретическими формулами, показано их хорошее соответствие. Разработанная математическая модель имеет практическое значение при проектировании трубопроводов, резервуаров и других цилиндрических конструкций, упрощая расчёты прочности и устойчивости. Таким образом, предложенный подход позволяет достаточно быстро и с приемлемой точностью оценивать напряжённо-деформированное состояние цилиндрических оболочек.

Ключевые слова: цилиндрическая оболочка, дифференциальное уравнение, метод Бубнова–Галёркина, функция прогиба, критическая нагрузка, напряжённо-деформированное состояние.

Abstract. This paper presents a mathematical model of the deformation process of a circular cylindrical shell under external radial loading, based on differential equations of shell theory. The purpose of the study is to derive a fourth-order differential equation founded on the Donnell–

Mushtari–Vlasov theory and to obtain an approximate solution using the Bubnov–Galerkin method in order to determine the deflection function of the shell. Taking into account the geometric parameters of the shell (radius, thickness, length) and the material properties (modulus of elasticity, Poisson's ratio), a generalized governing equation is derived and its characteristic roots are found. Based on the obtained results, the dependence of the maximum deflection and the critical load on the thickness-to-radius ratio is analyzed. The results are compared with classical theoretical formulas, showing good agreement. The developed mathematical model has practical significance for the design of pipelines, tanks, and other cylindrical structures, simplifying strength and stability calculations. Thus, the proposed approach makes it possible to estimate the stress-strain state of cylindrical shells quickly and with acceptable accuracy.

Keywords: cylindrical shell, differential equation, Bubnov–Galerkin method, deflection function, critical load, stress-strain state.

KIRISH

Silindrik qobiqlar zamonaviy muhandislik amaliyotida keng qoʻllaniladigan konstruktiv elementlardan biri hisoblanadi. Ular quvur oʻtkazgichlar, rezervuarlar, samolyot va raketa korpuslari, bino gumbazlari kabi turli sohalarida ishlatiladi. Bunday konstruksiyalarning ishonchlilikini taʼminlash uchun ularning tashqi yuklar taʼsirida qanday deformatsiyalanishini oldindan aniq bashorat qilish zarur.

Silindrik qobiqlar nazariyasi XX asrning birinchi yarmida V.Z. Vlasov, A.S. Volmir, S.P. Timoshenko kabi olimlarning ishlarida keng rivojlantirilgan. Ular tomonidan ishlab chiqilgan differensial tenglamalar qobiqlarning kuchlanish-deformatsiyalangan holatini yetarlicha aniqlik bilan tavsiflash imkonini beradi. Keyingi davrlarda bu nazariyalar asosida sonli va taqribiy-analitik usullar rivojlantirilib, murakkab yuklanish sharoitlarida qobiqlarning xatti-harakatini oʻrganish imkoniyatlari kengaytirilgan.

Mazkur maqolaning maqsadi — uzun, doiraviy koʻndalang kesimga ega silindrik qobiqning oʻq simmetrik radial yuk taʼsiridagi egilishini tavsiflovchi toʻrtinchi tartibli differensial tenglamani keltirib chiqarish va uni Bubnov–Galyorkin usuli yordamida taqribiy yechishdir. Ishda qobiqning geometrik va fizik-mexanik parametrlariga bogʻliq holda egilish funksiyasi va kritik yuk qiymatlarining oʻzgarish qonuniyatlari tahlil qilinadi.

MATERIALLAR VA USULLAR

Tadqiqot ob'ekti sifatida radiusi R , qalinligi h va uzunligi L boʻlgan yupqa doiraviy silindrik qobiq qaraladi. Qobiq materiali izotrop boʻlib, elastiklik moduli E va Puasson koeffitsienti ν bilan tavsiflanadi. Qobiqqa tashqi tomondan oʻq simmetrik radial taqsimlangan yuk $q(x)$ taʼsir etadi, bunda x — qobiqning oʻq yoʻnalishidagi koordinatasi.

Donnell–Mushtari–Vlasov nazariyasiga asosan, oʻq simmetrik holatda qobiqning radial egilish funksiyasi $w(x)$ quyidagi toʻrtinchi tartibli chiziqli differensial tenglamani qanoatlantiradi:

$$D \cdot w''''(x) + (Eh/R^2) \cdot w(x) = q(x) \quad (1)$$

bu yerda $D = Eh^3 / [12(1-\nu^2)]$ — qobiqning egilishga nisbatan siljish qattiqligi. (1)-tenglamani standart koʻrinishga keltirish uchun β xarakteristik parametrini kiritamiz:

$$\beta^4 = Eh / (4DR^2) \quad (2)$$

Bunday holda (1)-tenglama quyidagi koʻrinishni oladi:

$$w''''(x) + 4\beta^4 \cdot w(x) = q(x)/D \quad (3)$$

(3)-tenglamaning bir jinsli qismiga mos umumiy yechim quyidagicha topiladi:

$$w_0(x) = e^{(-\beta x)}(C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) + e^{(\beta x)}(C_3 \cos \beta x + C_4 \sin \beta x) \quad (4)$$

Bu yerdagi C_1 – C_4 integrallash doimiylari qobiq uchlaridagi chegara shartlariga (erkin tayanish, qattiq mahkamlash yoki erkin uch) bog‘liq holda aniqlanadi.

Taqribiy yechim olish uchun Bubnov–Galyorkin usuli qo‘llaniladi. Egilish funksiyasi quyidagi qator ko‘rinishida izlanadi:

$$w(x) = \sum_{n=1..N} a_n \cdot \sin(n\pi x/L) \quad (5)$$

bu yerda a_n — aniqlanishi lozim bo‘lgan noma'lum koeffitsientlar. (3)-tenglamaga (5)-ifodani qo‘yib, ortogonallik shartidan foydalangan holda a_n koeffitsientlarni topish uchun chiziqli algebraik tenglamalar sistemasi hosil qilinadi. Bu sistemaning yechimi qobiqning har qanday N yaqinlashish darajasidagi taqribiy egilish funksiyasini aniqlash imkonini beradi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Ishlab chiqilgan matematik modelni sonli tekshirish maqsadida quyidagi parametrlarga ega po‘lat silindrik qobiq misol sifatida qaraldi: $E = 2 \cdot 10^5$ MPa, $\nu = 0,3$, $R = 1$ m, $L = 3$ m. Qobiq qalinligi h ning R ga nisbati 0,005 dan 0,02 gacha oralig‘ida o‘zgartirilib, β xarakteristik parametrining nisbiy o‘zgarishi (2)-formuladan foydalanib hisoblandi. Natijalar 1-jadvalda keltirilgan.

h/R nisbati	β (nisbiy qiymat)	Maksimal egilish w_{max}
0,005	eng katta	eng katta
0,010	o‘rtacha	o‘rtacha
0,020	eng kichik	eng kichik

1-jadval. Qobiq qalinligining nisbiy o‘zgarishiga bog‘liq natijalar

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, qobiq qalinligining radiusga nisbati ortishi bilan xarakteristik parametr β kamayadi, bu esa qobiqning egilishga nisbatan qattiqligi ortishini va mos ravishda maksimal egilish miqdorining kamayishini anglatadi. Olingan natijalar sifat jihatidan Timoshenko va Volmir tomonidan keltirilgan klassik nazariy baholarga mos keladi: qalinlik ortishi bilan qobiqning turg‘unlik zaxirasi va kritik yuk qiymati ortadi.

Bubnov–Galyorkin usuli bilan olingan taqribiy yechim, qator hadlari soni $N \geq 3$ gacha saqlanganda, aniq (analitik) yechimga yetarli darajada yaqinlashadi. Bu usulning muhandislik hisoblarida amaliy jihatdan qo‘llanilishi mumkinligini ko‘rsatadi va murakkab chegara shartlari mavjud bo‘lgan holatlarda ham nisbatan sodda hisoblash algoritmi yaratishga imkon beradi.

XULOSA

Ushbu maqolada silindrik qobiqning tashqi radial yuk ta'siridagi deformatsiyalanish jarayonini tavsiflovchi to‘rtinchi tartibli differensial tenglama Donnell–Mushtari–Vlasov nazariyasi asosida keltirib chiqarildi. Tenglamaning bir jinsli qismiga aniq yechim topildi va Bubnov–Galyorkin usuli yordamida taqribiy yechish algoritmi ishlab chiqildi. Sonli misol orqali qobiq qalinligining radiusga nisbati ortishi bilan xarakteristik parametrning kamayishi, ya'ni qobiqning egilishga nisbatan qattiqligi ortishi ko‘rsatildi.

Ishlab chiqilgan matematik model quvur o‘tkazgichlar, rezervuarlar va boshqa silindrsimon inshootlarni loyihalash bosqichida mustahkamlik va turg‘unlik hisoblarini soddalashtirish uchun amaliy ahamiyatga ega. Kelgusi tadqiqotlarda ushbu modelni notekis taqsimlangan yuklar hamda anizotrop materiallar holatiga umumlashtirish rejalashtirilmoqda.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Власов В.З. Общая теория оболочек и её приложения в технике. — Москва-Ленинград: Гостехиздат, 1949. — 784 с.

[2] Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. — Москва: Наука, 1967. — 984 с.

[3] Timoshenko S.P., Woinowsky-Krieger S. Theory of Plates and Shells. — New York: McGraw-Hill, 1959. — 580 p.

[4] Andrianov I.V., Awrejcewicz J., Manevitch L.I. Asymptotical Mechanics of Thin-Walled Structures. — Berlin: Springer, 2004. — 535 p.

[5] Каримов А.А. Silindrik qobiqlarning egilishi va turg'unligi masalalari // Muhandislik va texnologiyalar jurnali. — 2023. — T. 11, № 2. — B. 45–53.

CHIGIRTKALAR POPULYATSIYASI KO'PAYISHINING MATEMATIK MODELI

Davlatov Shokir Oltiboyevich¹, Eshonqulov Javohir Sobirovich², Qilicheva Malika (talaba)³

^{1,2,3} Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

e-mail: javohireshonqulov1@mail.ru

Annotatsiya. Tezisdagi chigirtkalar sonining vaqt bo'yicha o'zgarishini tavsiflovchi matematik modellar soddadan murakkabga tamoyili asosida quriladi. Eksponensial va logistik yondashuvlardan boshlab tuxum, nimfa va voyaga yetgan bosqichlar, o'simlik biomassasi, harorat, yog'in, migratsiya hamda nazorat tadbirlarini birlashtiruvchi differensial tenglamalar sistemasi taklif etiladi. Bazaviy va samarali ko'payish mezonlari, parametrlarni baholash, sezgirlik, sonli hisob, validatsiya va amaliy monitoring masalalari qisqacha yoritiladi. Sonli parametrlar real hududga kalibrlangan statistik baholar emas, model xulqini ko'rsatish uchun tanlangan namunaviy qiymatlardir.

Kalit so'zlar: chigirtka, populyatsiya dinamikasi, logistik o'sish, bosqichli model, differensial tenglama, iqlim omili, oziqa resursi, bazaviy ko'payish mezonlari, nazorat.

Аннотация. В тезис построены математические модели, описывающие изменение численности саранчи во времени, на основе принципа от простого к сложному. Исходя из экспоненциального и логистического подходов, предложена система дифференциальных уравнений, объединяющая стадии яйца, нимфы и взрослой особи, биомассу растений, температуру, осадки, миграцию и меры контроля. Кратко рассмотрены вопросы основных и эффективных критериев воспроизводства, оценки параметров, чувствительности, численного расчета, валидации и практического мониторинга. Численные параметры не являются статистическими оценками, откалиброванными по реальной территории, а представляют собой выборочные значения, отобранные для демонстрации поведения модели.

Ключевые слова: саранча, динамика популяции, логистический рост, ступенчатая модель, дифференциальное уравнение, климатический фактор, пищевые ресурсы, основной критерий воспроизводства, контроль.

Abstract. The thesis builds mathematical models describing the change in locust numbers over time based on the principle of simple to complex. Starting from exponential and logistic approaches, a system of differential equations is proposed that combines egg, nymph and adult stages, plant biomass, temperature, precipitation, migration and control measures. The issues of basic and effective reproduction criteria, parameter estimation, sensitivity, numerical calculation, validation and practical monitoring are briefly covered. The numerical parameters are not statistical estimates calibrated to the real area, but are sample values selected to show the behavior of the model.

Keywords: locust, population dynamics, logistic growth, stepwise model, differential equation, climate factor, food resource, basic reproduction criterion, control.

KIRISH

Chigirtkalar qishloq xo'jaligi ekinlariga katta zarar yetkazishi mumkin bo'lgan, soni mavsum va muhitga qarab keskin o'zgaradigan hasharotlardir. Qulay harorat, yetarli namlik va oziqa resursi mavjud bo'lgan davrlarda tuxumdan chiqqan avlodning yashovchanligi ortadi, rivojlanish tezlashadi va populyatsiya qisqa muddat ichida bir necha baravar ko'payishi mumkin. Bunday jarayonni faqat bir martalik sanash bilan baholash yetarli emas; tug'ilish, bosqichlararo o'tish, o'lim, resurs tanqisligi va ko'chish jarayonlarini vaqt bo'yicha bog'laydigan dinamik model zarur.

Matematik modelning asosiy vazifasi kelajakdagi sonni mutlaq aniqlikda aytish emas, balki avj olishni yuzaga keltiruvchi mexanizmlarni ajratish, qaysi parametrlar eng ta'sirchanligini ko'rsatish va turli boshqaruv ssenariylarini yagona mezonda solishtirishdir. Modelning har bir hadi biologik ma'noga ega bo'lishi, o'lchov birliklari mos kelishi va parametrlar dala kuzatuvlari orqali baholanishi kerak. Shu maqsadda bu ishda umumiy populyatsiya modeli bosqichma-bosqich E–N–A–V tizimigacha kengaytiriladi.

Soddalashtirilgan o'sish modeli

Populyatsiya sonini $N(t)$ bilan belgilaymiz. Resurslar yetarli va tashqi sharoit qisqa muddatda o'zgarmas deb qaralganda $dN/dt=rN$ eksponensial model avj olishning dastlabki fazasini ifodalaydi. Uzoqroq vaqt oralig'ida esa oziqa va yashash maydoni cheklanadi. Muhitning tashuvchi sig'imi K ni hisobga oluvchi logistik model quyidagicha yoziladi:

$$\frac{dN}{dt}=rN\left(1-\frac{N}{K}\right) \quad (1)$$

Bu yerda r — sof o'sish koeffitsiyenti, K — mavjud muhit uzoq muddat ushlab tura oladigan populyatsiya miqyosi. N juda kichik bo'lganda model eksponensial o'sishga yaqin, N K ga yaqinlashganda esa o'sish sekinlashadi. Real sharoitda o'simlik qoplamasi va namlik mavsumiy o'zgarishi sabab K doimiy emas, $K(t)$ yoki $K(V)$ ko'rinishida olinishi mumkin. Logistik model umumiy son dinamikasini yaxshi ko'rsatsa-da, tuxum, nimfa va voyaga yetgan bosqichlar orasidagi vaqt kechikishini alohida bermaydi.

Bosqichli E–N–A–V modeli

Biologik siklni aniqroq ifodalash uchun $E(t)$ — tuxumlar soni, $N(t)$ — nimfalar soni, $A(t)$ — voyaga yetgan individlar soni, $V(t)$ — o'simlik biomassasi deb olinadi. Tuxum qo'yish intensivligi b_0 , tuxumdan nimfaga va nimfadan voyaga yetgan bosqichga o'tish tezliklari mos ravishda σ_E va σ_N , tabiiy o'lim koeffitsiyentlari μ_E , μ_N , μ_A bilan belgilanadi. $u_N(t)$ va $u_A(t)$ nazorat ta'sirini, $I_A(t)$ va $O_A(t)$ esa voyaga yetgan chigirtkalarining hududga kirib kelishi va chiqib ketishini ifodalaydi.

Harorat, yog'in va oziqa ko'payish hamda rivojlanish tezligini modulyatsiya qiladi. Shunda maqolada taklif etilgan asosiy model quyidagi sistemaga keltiriladi:

$$\frac{dE}{dt}=b_0f_T(T)f_R(R)f_V(V)A\left(1-\frac{E}{K_E}\right)-[\sigma_E(T)+\mu_E(T)]E \quad (2)$$

$$\frac{dN}{dt}=\sigma_E(T)E-[\sigma_N(T)+\mu_N(T)+u_N(t)]N \quad (3)$$

$$\frac{dA}{dt}=\sigma_N(T)N-[\mu_A(T)+u_A(t)]A+I_A(t)-O_A(t) \quad (4)$$

$$\frac{dV}{dt}=r_VV\left(1-\frac{V}{K_V}\right)-\frac{(c_NN+c_AA)V}{H+V} \quad (5)$$

Bu sistemada $f_T(T)$, $f_R(R)$ va $f_V(V)$ mos ravishda harorat, yog'in va oziqa ta'sirini ifodalovchi o'lchovsiz koeffitsiyentlardir. Ularning namunaviy funksional ko'rinishi:

$$f_T(T)=\exp\left\{-\frac{(T-T_{\text{opt}})^2}{2\sigma_T^2}\right\}, \quad f_R(R)=\frac{R}{R+H_R}, \quad f_V(V)=\frac{V}{H+V} \quad (6)$$

T_{opt} — rivojlanish uchun qulay harorat markazi, σ_T — haroratga sezgirlik kengligi, H_R va H — yarim to'yinganlik konstantalari. Oziqa tenglamasidagi r_V va K_V vegetatsiyaning tiklanish sur'ati va maksimal miqyosini, c_N va c_A esa nimfa hamda voyaga yetganlar iste'mol bosimini ifodalaydi. Populyatsiya ortishi resursni kamaytiradi, resurs kamayishi esa keyingi tuxum qo'yish va yashovchanlikni susaytiradi. Shu tariqa modelda cheksiz o'sishni to'xtatuvchi tabiiy teskari bog'lanish hosil bo'ladi.

Modelni mavjud ma'lumotga mos soddalashtirish mumkin: migratsiya e'tiborga olinmasa $I_A=O_A=0$, nazorat bo'lmasa $u_N=u_A=0$ deb olinadi; qisqa muddatli barqaror ob-havoda f_T va f_R doimiy koeffitsiyentga tenglashtiriladi. Bu yondashuv parametrlar sonini kuzatuv hajmiga moslashtirish va ortiqcha murakkablikdan qochish imkonini beradi.

Ko'payish mezon va barqarorlik

Populyatsiyaning kichik zichlikdagi o'sish imkoniyatini biologik jihatdan tushuntirish uchun bir voyaga yetgan individdan keyingi bosqichlar orqali nechta yangi voyaga yetgan individ hosil bo'lishini ifodalovchi bazaviy ko'payish mezon qo'llanadi:

$$R_0=\frac{b}{\mu_A} \cdot \frac{\sigma_E}{\sigma_E+\mu_E} \cdot \frac{\sigma_N}{\sigma_N+\mu_N} \quad (7)$$

Agar $R_0>1$ bo'lsa, tashqi cheklovlar kuchsiz sharoitda populyatsiyaning o'sish tendensiyasi mavjud; $R_0<1$ bo'lsa kamayish tendensiyasi ustun. Harorat, yog'in va vegetatsiya vaqt bo'yicha o'zgarishi sabab amaliy tahlilda samarali ko'payish mezon qo'llanadi:

$$R_e(t)=R_0 f_T(T(t)) f_R(R(t)) f_V(V(t)) \quad (8)$$

$R_e(t)$ ning birlikdan yuqoriga chiqishi xavf kuchayayotganini ko'rsatuvchi nazariy signal bo'lishi mumkin. Biroq bu mezon yakka holda qaror chiqarish uchun yetarli emas, chunki katta migratsiya oqimi, fazoviy notekislik yoki kuzatuv xatolari mahalliy son dinamikasini o'zgartiradi. Muvozanat holatlarining lokal barqarorligi esa modelning Yakobi matritsasi xos qiymatlari orqali tekshiriladi: xos qiymatlar haqiqiy qismlarining manfiyligi kichik og'ishlarning vaqt o'tishi bilan so'nishini bildiradi.

Parametrlarni baholash va sezgirlik

Modelni real hududda ishlatish uchun parametrlar dala yoki laboratoriya kuzatuvlaridan baholanadi. Bir xil fazoviy birliklarda tuxum, nimfa va voyaga yetganlar soni bilan birga harorat, yog'in, shamol va vegetatsiya ko'rsatkichlari qayd etilishi lozim. Parametrlar eng kichik kvadratlar, maksimal ehtimollik yoki Bayes usullari bilan baholanishi mumkin. Kuzatuvlar kam bo'lsa, ko'p parametrli model identifikatsiya muammosiga uchraydi; shu sababli ayrim koeffitsiyentlar biologik diapazonlar yoki mustaqil tajribalardan olinadi.

Sezgirlik tahlili qaysi parametrlar populyatsiya cho'qqisi va avj olish vaqtiga eng kuchli ta'sir qilishini ko'rsatadi. Maqoladagi normallashtirilgan sezgirlik ko'rsatkichi quyidagicha:

$$S_p(t)=\frac{p}{A(t)} \cdot \frac{\partial A(t)}{\partial p} \quad (9)$$

Masalan, b_0 yoki μ_A ning kichik o'zgarishi R_0 ga bevosita ta'sir qilishi mumkin, σ_E va σ_N esa bosqichlararo kechikish davomiyligini o'zgartiradi. Sezgirliги katta bo'lgan parametrlarni dala sharoitida aniqroq o'lchash monitoring samaradorligini oshiradi.

Sonli tajriba va nazorat

Maqoladagi soddalashtirilgan logistik namuna uchun $N_0=500$ individ, $r=0,06$ kun⁻¹ va $K=20000$ deb olingan. Ushbu sonlar faqat hisoblash mexanizmini ko'rsatish uchun tanlangan. Logistik yechimga ko'ra 30, 60 va 90 kunlarda populyatsiya mos ravishda taxminan 2613, 8663 va 14035 individga yetadi. Natija boshlang'ich fazada o'sish tez, K ga yaqinlashganda esa sekinlashishini ko'rsatadi. r va K noaniq bo'lsa, bitta trayektoriya o'rniga parametrlar diapazoni bo'yicha ssenariylar va noaniqlik intervallari hisoblanishi kerak.

Nimfa va voyaga yetgan bosqichlarga qaratilgan nazorat $u_N(t)$ va $u_A(t)$ koeffitsiyentlari orqali kiritiladi. Biologik, texnik va iqtisodiy cheklovlar sabab nazorat intensivligi chegaralangan:

$$0 \leq u_N(t), u_A(t) \leq u_{\max} \quad (10)$$

Nazoratning maqsadi populyatsiyani zararli chegaradan pastda ushlab turish bilan birga xarajatni ham kamaytirishdir. Shu ma'noda optimal nazorat funksionali populyatsiya zichligi va boshqaruv intensivligining kvadratik xarajatini birgalikda minimallashtirishi mumkin. Biroq u_N va u_A qiymatlari model tomonidan o'zboshimchalik bilan belgilanmaydi; ular dala tajribasi, amaldagi texnologiya va xavfsizlik talablari asosida kalibrlanishi kerak. Matematik model pestitsid qo'llash haqidagi avtomatik buyruq emas, balki ssenariylarni taqqoslash vositasidir.

Sonli yechim, validatsiya va monitoring

Bosqichli sistema analitik yechimga ega bo'lmasligi mumkin, shuning uchun Runge–Kutta kabi sonli integratsiya usullari qo'llanadi. Haftalik kuzatuv mavjud bo'lsa ham, ichki hisoblash qadamini kichikroq tanlash natijaning barqarorligini oshiradi. Model qadamini kichraytirganda yechimning yaqinlashishi tekshiriladi; aks holda biologik tizim barqaror bo'lsa ham, juda katta sonli qadam sun'iy tebranish yoki manfiy qiymatlarni yuzaga keltirishi mumkin.

Kalibrlangan modelning sifati u tuzilgan ma'lumotning o'zida emas, mustaqil mavsum yoki boshqa hudud kuzatuvlarida tekshirilishi zarur. Prognoz xatolari vaqt bo'yicha tizimli bo'lsa, masalan, model populyatsiya cho'qqisini doim kech yoki past baholasa, yetishmayotgan biologik mexanizm bo'lishi mumkin. Modelni murakkablashtirish faqat bunday tizimli xato aniq biologik sabab bilan izohlanganda maqsadga muvofiq.

Amaliy monitoringda hudud kataklarga ajratilib, tuxum podalari, nimfa zichligi va voyaga yetganlar soni bir xil metodika bo'yicha davriy qayd etiladi. Meteorologik va vegetatsiya qatorlari shu vaqt shkalasiga keltiriladi. Har yangi ma'lumot kelganda model holati, $R_e(t)$ va yaqin muddatli trayektoriya qayta hisoblanadi. Belgilangan operatsion xavf chegarasi oshsa, natija dala mutaxassisiga qo'shimcha inspeksiya uchun signal sifatida beriladi.

Noaniqlik va erta ogohlantirish

Populyatsion jarayon parametrlarida tabiiy o'zgaruvchanlik mavjud. Shu sababli bitta parametrlar to'plamiga asoslangan yagona trayektoriya yetarli emas: r , b_0 , o'lim va resurs koeffitsiyentlari uchun biologik jihatdan maqbul diapazonlar olinib, ko'p ssenariyli hisoblar bajariladi. Har bir vaqt nuqtasida voyaga yetganlar sonining median va kvantillari aniqlanib, prognozning noaniqlik oralig'i hosil qilinadi. Maqoladagi kvantil ifodasi quyidagicha:

$$A_q(t) = \text{Quantile}_q\{A^{(1)}(t), \dots, A^{(M)}(t)\} \quad (11)$$

Monitoring natijasini amaliy qarorga yaqinlashtirish uchun voyaga yetganlar soni, nimfalar o'sish tezligi, samarali ko'payish mezoni va vegetatsiya holati bitta o'lchovsiz xavf indeksiga birlashtirilishi mumkin:

$$I(t)=w_1g_A(A)+w_2g_N\left(\frac{dN}{dt}\right)+w_3g_R(R_e)+w_4g_V(V) \quad (12)$$

$$w_1+w_2+w_3+w_4=1, \quad w_i \geq 0 \quad (13)$$

Bu yerda g_i funksiyalari turli birlikdagi ko'rsatkichlarni umumiy shkalaga keltiradi, w_i esa ularning vaznlaridir. Indeks kritik chegaradan oshganda yoki ketma-ket kuzatuvlarda tez ortganda qo'shimcha dala inspeksiyasi uchun signal beriladi. Vaznlar va chegaralar tarixiy avj olish hodisalari bilan kalibrlanishi, yakuniy fitosanitar qaror esa mutaxassis tomonidan qabul qilinishi lozim. Har mavsumdan keyin parametrlarni qayta baholash va prognozni mustaqil kuzatuvlar bilan solishtirish modelning amaliy ishonchliligini oshiradi.

Modelning cheklovlari

Taklif etilgan tizim chigirtka biologiyasining soddalashtirilgan karkasidir. U turga xos fenotipik faza almashinuvi, uzoq masofali to'da migratsiyasi, tabiiy dushmanlar, kasalliklar va landshaftdagi o'simlik turlarining farqini alohida o'zgaruvchilar bilan ifodalamaydi. Iqlim funksiyalarining shakli ham har bir tur va hudud uchun tajriba orqali qayta baholanishi kerak. Shuning uchun real kalibrlashsiz olingan sonli natijalar prognoz da'vosi emas, metodik namoyish sifatida talqin qilinadi.

XULOSA

Chigirtkalar ko'payishini modellashtirishda bitta o'sish koeffitsiyenti yetarli emas. Avj olish reproduktiv potensial, tuxum va nimfa bosqichlarining yashovchanligi, harorat va yog'in, oziqa resursi, migratsiya hamda nazoratning o'zaro ta'siri natijasidir. Taklif etilgan E–N–A–V tizimi ushbu omillarni biologik ma'noga ega differensial tenglamalarda birlashtiradi. R_0 va $R_e(t)$ mezonlari kichik populyatsiyaning o'sish yoki kamayish tendensiyasini tushuntirishga, sezgirlik tahlili esa monitoring uchun muhim parametrlarni ajratishga yordam beradi.

Modelni real erta ogohlantirish vositasiga aylantirishning asosiy shartlari — standart dala monitoringi, parametrlarni muntazam qayta baholash, mustaqil validatsiya va noaniqlikni ochiq ko'rsatishdir. Eng samarali yondashuv murakkab modelni o'z-o'zicha maqsad qilish emas, balki kuzatuv sifati va amaliy vazifaga mos keladigan eng soddaga, tekshiriladigan modelni tanlashdan iborat.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Uvarov B. Grasshoppers and Locusts. Vol. 1. Cambridge University Press, 1966.
- [2] Uvarov B. Grasshoppers and Locusts. Vol. 2. Centre for Overseas Pest Research, London, 1977.
- [3] FAO. Desert Locust Guidelines. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2001.
- [4] Edelstein-Keshet L. Mathematical Models in Biology. SIAM, 1988.
- [5] Murray J. D. Mathematical Biology I: An Introduction. 3rd ed. Springer, 2002.
- [6] Kot M. Elements of Mathematical Ecology. Cambridge University Press, 2001.
- [7] Brauer F., Castillo-Chavez C. Mathematical Models in Population Biology and Epidemiology. 2nd ed. Springer, 2012.
- [8] Lenhart S., Workman J. T. Optimal Control Applied to Biological Models. Chapman & Hall/CRC, 2007.

N-TARTIBLI CHIZIQLI BO'LMAGAN VEKTOR-MATRITSALI DIFFERENSIAL TENGLAMALAR UCHUN CHEGARALANGAN YECHIMLARNING MAVJUDLIGI

Movlonov Ma'ruf Kalandarovich¹

¹ Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

mavlonovmaruf89@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada n – tartibli chiziqli bo'lmagan vektor-matritsali differensial tenglamalar uchun chegaralangan yechimlarning mavjudligi masalasi o'rganiladi. Qaralayotgan tenglamaning chiziqli qismi uchun chegaralangan yechim operatorining mavjudligi va nochiziqli hadning Lipshits shartini qanoatlantirishi asosida chegaralangan yechimlarni aniqlashning yetarli shartlari keltiriladi. Masalani integral tenglamaga keltirish orqali Banaxning qisqaruvchi akslantirish prinsipi qo'llaniladi. Natijada, tegishli kichiklik sharti bajarilganda n – tartibli chiziqli bo'lmagan vektor-matritsali differensial tenglamaning yagona chegaralangan yechimi mavjudligi isbotlanadi. Shuningdek, mavjud yechimning normasi uchun baholash olinadi. Olingan natijalar yuqori tartibli chiziqli bo'lmagan differensial tenglamalarni tadqiq etishda nazariy va amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: n – tartibli differensial tenglama, chiziqli bo'lmagan differensial tenglama, vektor-matritsali tenglama, chegaralangan yechim, yechimning mavjudligi, yechimning yagonaligi, Green funksiyasi, Green matritsasi, Banax fazosi, qisqaruvchi akslantirish prinsipi, Lipshits sharti.

Аннотация. В данной статье исследуется задача существования ограниченных решений для нелинейных векторно-матричных дифференциальных уравнений n – го порядка. Приводятся достаточные условия существования ограниченных решений на основе существования оператора ограниченных решений линейной части рассматриваемого уравнения и выполнения нелинейным членом условия Липшица. Путём сведения задачи к интегральному уравнению применяется принцип сжимающих отображений Банаха. В результате доказывается существование единственного ограниченного решения нелинейного векторно-матричного дифференциального уравнения n -го порядка при выполнении соответствующего условия малости. Кроме того, получена оценка нормы существующего решения. Полученные результаты имеют теоретическое и практическое значение для исследования дифференциальных уравнений высокого порядка с нелинейностями.

Ключевые слова: дифференциальное уравнение n – го порядка, нелинейное дифференциальное уравнение, векторно-матричное уравнение, ограниченное решение, существование решения, единственность решения, функция Грина, матрица Грина, пространство Банаха, принцип сжимающих отображений, условие Липшица.

Abstract. This paper investigates the existence of bounded solutions for nonlinear vector-matrix differential equations of n – th order. Sufficient conditions for the existence of bounded solutions are established based on the existence of a bounded solution operator for the linear part of the considered equation and the fulfillment of the Lipschitz condition by the nonlinear term. By reducing the problem to an integral equation, the Banach contraction mapping principle is applied. As a result, the existence of a unique bounded solution to the nonlinear vector-matrix differential equation of n -th order is proved under an appropriate smallness condition. In addition, an estimate for the norm of the existing solution is obtained. The results obtained are of theoretical and practical significance for the study of higher-order nonlinear differential equations.

Keywords: n – th order differential equation, nonlinear differential equation, vector-matrix equation, bounded solution, existence of solution, uniqueness of solution, Green's function, Green's matrix, Banach space, contraction mapping principle, Lipschitz condition.

Kirish. Chiziqli bo‘lmagan differensial tenglamalar nazariyasida yechimlarning mavjudligi, yagonaligi va chegaralanganligini o‘rganish muhim masalalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, ko‘p o‘lchamli dinamik sistemalarni tavsiflovchi vektor-matritsali differensial tenglamalar mexanika, boshqaruv nazariyasi, iqtisodiy-matematik modellar, biologik jarayonlar hamda texnik sistemalarda keng qo‘llaniladi.

Yuqori tartibli differensial tenglamalarni vektor-matritsali ko‘rinishda ifodalash ularni yagona nazariy yondashuv asosida tadqiq etish imkonini beradi. Shu sababli ushbu maqolada quyidagi umumiy ko‘rinishdagi n -tartibli chiziqli bo‘lmagan differensial tenglama qaraladi:

$$x^{(n)}(t) = A(t)x(t) + f(t, x(t)), \quad t \in [0, \infty), \quad (1)$$

bu yerda

$$x(t) = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \dots \\ x_m(t) \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^m,$$

$A(t) - m \times m$ tartibli matritsa, $f: [0, \infty) \times \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}^m$ – berilgan vektor-funksiya.

Maqolaning asosiy maqsadi (1) tenglama uchun $t \in [0, \infty)$ da chegaralangan yechim mavjudligining yetarli shartlarini aniqlashdan iborat.

Avvalo chegaralangan yechim tushunchasini kiritamiz.

Ta’rif 1. Agar $x(t)$ funksiya $\sup_{t \in [0, \infty)} \|x(t)\| < \infty$ shartni qanoatlantirsa, u holda $x(t)$ funksiya $[0, \infty)$ da chegaralangan funksiya deyiladi.

Agar $x(t)$ (1) tenglamani qanoatlantirib, $\sup_{t \in [0, \infty)} \|x(t)\| < \infty$ bo‘lsa, $x(t)$ (1) tenglamaning chegaralangan yechimi deyiladi.

Bu yerda $\|\cdot\|$ – $\mathbb{R}^m$ dagi vektor normasi va matritsaning unga mos operator normasi.

Biz $C_b([0, \infty), \mathbb{R}^m)$ orqali barcha uzluksiz va chegaralangan vektor-funksiyalar fazosini belgilaymiz. Bu fazo

$$\|x\| = \sup_{t \in [0, \infty)} \|x(t)\|$$

norma bilan Banach fazosini tashkil qiladi.

(1) tenglamani

$$x^{(n)}(t) - A(t)x(t) = f(t, x(t))$$

ko‘rinishda yozamiz.

Quyidagi chiziqli operatorni kiritamiz:

$$Lx = x^{(n)} - A(t)x.$$

U holda (2) tenglama

$$Lx = f(t, x) \quad (3)$$

ko‘rinishga keladi.

Avvalo

$$x^{(n)}(t) - A(t)x(t) = h(t) \quad (4)$$

chiziqli tenglamani qaraymiz.

Bu tenglama uchun quyidagi shartni qabul qilamiz.

Faraz 1. Har qanday $h \in C_b([0, \infty), \mathbb{R}^m)$ uchun (4) tenglamaning chegaralangan yechimi mavjud bo'lib, ushbu yechim $x = Th$ ko'rinishda aniqlansin. Bu yerda

$$T: C_b([0, \infty), \mathbb{R}^m) \rightarrow C_b([0, \infty), \mathbb{R}^m)$$

chiziqli operator bo'lib,

$$\|Th\| \leq K \|h\| \quad (5)$$

tengsizlik bajarilsin.

Bu shart chiziqli differensial operatorning chegaralangan yechimlar fazosida teskari operatorining mavjudligini ifodalaydi.

Agar chiziqli tenglama uchun Green matritsasi mavjud bo'lsa, T operatorini

$$(Th)(t) = \int_0^t G(t,s)h(s)ds \quad (6)$$

ko'rinishda yozish mumkin.

Agar

$$\sup_{t \geq 0} \int_0^t \|G(t,s)\|ds \leq K, \quad (7)$$

bo'lsa, u holda

$$\|Th\| \leq K \|h\|$$

kelib chiqadi.

Endi $f(t, x)$ funksiyaga qo'yiladigan shartlarni kiritamiz.

Faraz 2. $f(t, x)$ funksiya barcha $t \geq 0, x \in \mathbb{R}^m$ uchun uzluksiz bo'lsin. Bundan tashqari, shunday $M > 0$ va $q > 0$ sonlar mavjud bo'lib,

$$\|f(t, 0)\| \leq M, t \geq 0 \quad (8) \text{ va } \|f(t, x) - f(t, y)\| \leq q \|x - y\| \quad (9)$$

tengsizlik barcha $t \geq 0, x, y \in \mathbb{R}^m$ uchun bajarilsin.

Bu yerda (9) shart f funksiyaning x bo'yicha global Lipshits shartini ifodalaydi. (8) va (9) dan

$$\|f(t, x)\| \leq \|f(t, x) - f(t, 0)\| + \|f(t, 0)\| \leq q \|x\| + M \quad (10)$$

tengsizlikka ega bo'lamiz.

Demak, $f(t, x)$ funksiya x bo'yicha chiziqli o'sishdan tezroq o'smaydi.

Teorema 1. Faraz qilaylik, (1) tenglamaning chiziqli qismi uchun Faraz 1, nochiziqli qismi uchun esa Faraz 2 bajarilsin. Agar

$$Kq < 1 \quad (11)$$

shart bajarilsa, u holda

$$x^{(n)}(t) = A(t)x(t) + f(t, x(t)), \quad t \in [0, \infty),$$

tenglamaning $[0, \infty)$ da yagona chegaralangan yechimi mavjud.

Bundan tashqari, ushbu yechim uchun

$$\|x\| \leq \frac{KM}{1-Kq} \quad (12)$$

baholash o'rinli.

Yuqoridagi teoremani Green matritsasi yordamida aniqroq ifodalash mumkin. Faraz qilaylik, chiziqli tenglama

$$x^{(n)}(t) - A(t)x(t) = h(t) \quad (13)$$

uchun Green matritsasi $G(t, s)$ mavjud bo'lsin va

$$\sup_{t \in [0, \infty)} \int_0^t \|G(t, s)\| ds \leq K. \quad (14)$$

U holda (1) tenglamaga mos integral tenglama

$$x(t) = \int_0^t G(t, s) f(s, x(s)) ds \quad (15)$$

ko'rinishga ega bo'ladi.

Agar $\|f(t, 0)\| \leq M$ va $\|f(t, x) - f(t, y)\| \leq q\|x - y\|$ hamda

$$q \sup_{t \in [0, \infty)} \int_0^t \|G(t, s)\| ds < 1 \quad (19)$$

bo'lsa, (18) integral tenglama yagona chegaralangan yechimga ega.

Bu natija amaliy nuqtayi nazardan muhim, chunki chegaralangan yechimning mavjudligi sharti bevosita Green matritsasining normasiga bog'lanadi.

Xulosa. Maqolada

$$x^{(n)}(t) = A(t)x(t) + f(t, x(t))$$

ko'rinishdagi n -tartibli chiziqli bo'lmagan vektor-matritsali differensial tenglamalar uchun chegaralangan yechimlarning mavjudligi tadqiq qilindi.

Chiziqli qism uchun chegaralangan yechim operatorining mavjudligi hamda nochiziqli $f(t, x)$ funksiyaning global Lipschits shartini qanoatlantirishi asosida Banaxning qisqaruvchi akslantirish prinsipi qo'llanildi. Natijada

$$Kq < 1$$

shart bajarilganda tenglamaning $[0, \infty)$ oraliqda yagona chegaralangan yechimi mavjudligi isbotlandi.

Bundan tashqari, yechim uchun

$$\|x\| \frac{KM}{1-Kq}$$

baholash olindi. Ushbu baholash chegaralangan yechimning normasi uchun aniq yuqori chegarani beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Коструб И. Д. Ограниченные решения векторно-операторных нелинейных дифференциальных уравнений n-го порядка в банаховом пространстве / И. Д. Коструб // Вестник ПММ. – 2010. – Вып. 8. – С. 221–233.

[2] Крейн С. Г., Линейные дифференциальные уравнения в банаховом пространстве / С. Г. Крейн. М.: Наука, 1967. - 464 с.

[3] Перов А. И. Ограниченные решения дифференциальных уравнений второго порядка / А. И. Перов // Дифференциальные уравнения. -1967. Т. 3, N 3. - С. 524-528.

RAQAMLI TA'LIM MUHITIDA BILIMLARNI BAHOLASHDA SUN'IY INTELLEKTNING O'RNI VA ROLI

Pardayev Sherzod Mamasharipovich

Jizzax davlat pedagogika universiteti katta o'qituvchi.

sherzodpardayev84@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada oliy ta'lim tizimida ta'lim sifatini baholashda raqamli texnologiyalardan foydalanishning ilmiy-nazariy asoslari, shuningdek, ularning amaliy qo'llanilishi, ustunliklari va samaradorligi keng yoritilgan. Raqamli baholash vositalari orqali ta'lim jarayonining shaffofligi, obyektivligi hamda monitoring jarayonlari tahlil qilinadi. Shu bilan birga, ta'lim sifatini baholashning innovatsion usullari va ularni amaliyotga tatbiq etish mexanizmlari ko'rib chiqiladi.

Kalit so'zlar: oliy ta'lim, raqamli texnologiyalar, ta'lim sifati, baholash usullari, shaffoflik, onlayn platformalar, innovatsion yondashuvlar, ta'lim monitoringi, elektron baholash tizimi, kredit-modul tizimi, "aqlli baholash", plagiat, Learning Management System (LMS).

Abstract. This article comprehensively examines the scientific and theoretical foundations of using digital technologies to assess the quality of education in the higher education system, as well as their practical application, advantages, and effectiveness. The transparency, objectivity, and monitoring processes of the educational system are analyzed through the use of digital assessment tools. In addition, innovative methods for evaluating education quality and the mechanisms for their practical implementation are explored.

Key words: higher education, digital technologies, education quality, assessment methods, transparency, online platforms, innovative approaches, education monitoring, electronic assessment system, credit-modular system, "smart assessment", plagiarism, Learning Management System (LMS).

Аннотация. В данной статье всесторонне рассматриваются научно-теоретические основы использования цифровых технологий при оценке качества образования в системе высшего образования, а также их практическое применение, преимущества и эффективность. Анализируются прозрачность, объективность и процессы мониторинга образовательного процесса с использованием цифровых оценочных инструментов. Наряду с этим изучаются инновационные методы оценки качества образования и механизмы их внедрения в образовательную практику.

Ключевые слова: высшее образование, цифровые технологии, качество образования, методы оценивания, прозрачность, онлайн-платформы, инновационные подходы,

мониторинг образования, электронная система оценивания, кредитно-модульная система, "умное оценивание", плагиат, Learning Management System (LMS).

Bugungi kunda sun'iy intellekt (SI) texnologiyalari tezkor rivojlanmoqda va u ta'lim tizimida ham muhim o'rin egallamoqda. Bilimlarni baholashda SI qo'llanilishi o'qituvchilar va talabalar uchun yangi imkoniyatlar yaratib, an'anaviy baholash usullarini takomillashtirishda samarali vositadir.

Raqamli ta'lim muhitida o'quvchilarning individual yutuqlarini baholashning elektron tizimlari an'anaviy qog'oz jurnal va kundaliklardan tubdan farq qiluvchi yangi imkoniyatlarni taqdim etmoqda. Bu tizimlar nafaqat baholarni qayd etish vositasi, balki ta'lim jarayonining barcha ishtirokchilari – o'qituvchilar, o'quvchilar, ota-onalar va ta'lim boshqaruvi organlari o'rtasidagi o'zaro hamkorlikni yangi bosqichga ko'taruvchi kompleks platformalardir.

Zamonaviy ta'lim tizimining rivojlanishi axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining jadal sur'atlar bilan integratsiyalashuvi bilan chambarchas bog'liq. XXI asrda dunyoning ko'plab mamlakatlari, jumladan O'zbekiston Respublikasi ham ta'lim sohasida raqamli transformatsiyani amalga oshirishni ustuvor vazifalardan biri sifatida belgilagan. Ushbu jarayonning muhim tarkibiy qismlaridan biri – o'quvchilarning bilim va ko'nikmalarini baholash tizimini takomillashtirish, uni shaffof, xolis va samarali qilishdir.

Raqamli ta'lim muhitida o'quvchilarning individual yutuqlarini baholashning elektron tizimlari an'anaviy qog'oz jurnal va kundaliklardan tubdan farq qiluvchi yangi imkoniyatlarni taqdim etmoqda. Bu tizimlar nafaqat baholarni qayd etish vositasi, balki ta'lim jarayonining barcha ishtirokchilari – o'qituvchilar, o'quvchilar, ota-onalar va ta'lim boshqaruvi organlari o'rtasidagi o'zaro hamkorlikni yangi bosqichga ko'taruvchi kompleks platformalardir.

Ushbu maqolada raqamli ta'lim muhitida o'quvchilarning individual yutuqlarini baholash elektron tizimlarining o'rni, ularning funksional imkoniyatlari, afzalliklari va rivojlanish istiqbollari tahlil qilinadi. Xususan, O'zbekiston Respublikasi Maktabgacha va maktab ta'limi vazirligining yagona raqamli ta'lim platformasi – "eMaktab.uz" va ushbu ta'lim platformasi tarkibida yana baholash tizimlarning amaliy kengroq bo'lsa va uning hozirgi zamondagi ahamiyati yoritiladi.

Zamonaviy ta'lim tizimida raqamli texnologiyalar tobora keng qo'llanilayotgani natijasida baholash jarayoni ham tubdan yangilanmoqda. An'anaviy baholash shakllari bilan taqqoslaganda, raqamli baholash o'quv jarayonining samaradorligini oshirish, shaffoflikni ta'minlash hamda o'quvchi-talabalarning o'quv faoliyatini chuqur tahlil qilish imkoniyatlarini yaratib bermoqda. Shu bois bugungi kunda raqamli baholash nafaqat qulaylik, balki ta'lim sifatini oshirishning muhim omillaridan biri sifatida qaralmoqda.

O'zbekistonda sun'iy intellekt (SI) rivojlanishi va qo'llanilishi so'nggi yillarda jadal suratlar bilan o'sib bormoqda. Bir qancha sohalarida, xususan, sog'liqni saqlash, ta'lim, iqtisodiyot va davlat boshqaruvida SI texnologiyalari keng qo'llanilmoqda. Jumladan, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktabrdagi PF-6079-son Farmoni bilan «Raqamli O'zbekiston — 2030» strategiyasida sun'iy intellekt texnologiyalarini jadal joriy etish va ularni mamlakatimizda keng qo'llash, raqamli ma'lumotlardan foydalanish imkoniyatini va ularning yuqori sifatini ta'minlash, ushbu sohada malakali kadrlar tayyorlash uchun qulay shart-sharoitlar yaratish belgilab berildi.

Zamonaviy ta'lim tizimida raqamli texnologiyalar tobora keng qo'llanilayotgani natijasida baholash jarayoni ham tubdan yangilanmoqda. An'anaviy baholash shakllari bilan taqqoslaganda, raqamli baholash o'quv jarayonining samaradorligini oshirish, shaffoflikni ta'minlash hamda o'quvchi-talabalarning o'quv faoliyatini chuqur tahlil qilish imkoniyatlarini yaratib bermoqda. Shu bois bugungi kunda raqamli baholash nafaqat qulaylik, balki ta'lim sifatini oshirishning muhim omillaridan biri sifatida qaralmoqda.

Raqamli baholash tezkorligi bilan ajralib turadi. Testlar, onlayn topshiriqlar yoki avtomatlashtirilgan platformalar orqali olingan javoblar bir zumda qayta ishlanadi va natijalar

talabalarga darhol yetkaziladi. Bu esa talabalarga xatolarini vaqtida aniqlab, ulardan xulosa chiqarish imkonini beradi. An'anaviy baholashda esa mazkur jarayon ko'proq vaqt talab etadi va bunda subyektiv omillarning ta'siri kuchliroq bo'lishi mumkin.

Raqamli baholash obyektivlik va shaffoflikni ta'minlaydi. Kompyuter yordamida avtomatlashtirilgan baholash subyektivlikni kamaytiradi hamda inson omili bilan bog'liq xatolarni minimallashtiradi. Natijalar aniq mezonlar asosida hisoblanganligi sababli talabalar o'z bilim darajasi adolatli baholanganini his qiladi.

Shuningdek, raqamli baholash tahliliy imkoniyatlarining kengligi bilan ham ahamiyatlidir. Platformalar talabalarning faolligi, xatolari, kuchli va zaif tomonlarini tizimli ko'rinishda taqdim etadi. Bu esa o'qituvchilar uchun individual yondashuvni shakllantirish, o'quv faoliyatini monitoring qilish hamda samarali pedagogik qarorlar qabul qilish imkonini yaratadi.

Raqamli baholash vaqt va resurslarni tejaydi. Qog'oz sarfining kamayishi o'qituvchi uchun tekshirish jarayonini yengillashtiradi, masofaviy ta'lim sharoitida esa baholash jarayonining uzluksiz davom etishini ta'minlaydi. Shu bilan birga, ushbu baholash turi interaktivlik va motivatsiyani oshiradi. Multimedia elementlari, onlayn viktorinalar hamda gamifikatsiya elementlari o'quv jarayonini yanada qiziqarli qiladi va talabalarining o'qishga bo'lgan qiziqishini kuchaytiradi.

Xulosa qilib aytganda zamonaviy pedagogika o'quvchiga yo'naltirilgan yondashuvni ta'kidlaydi va bu falsafa SI tomonidan uzluksiz ravishda kengaytirilmoqda. O'quvchilar passiv baho oluvchilardan o'z ta'lim sayohatlarining faol ishtirokchilariga aylanadi. SI o'quvchilarga shaxsiy fikr-mulohazalarni taqdim etib, ularga taraqqiyotni kuzatish, o'rganish tendentsiyalarini aniqlash va o'qish strategiyalari bo'yicha ongli qarorlar qabul qilish imkonini beradi. Bu esa butun umr davomida o'rganish uchun muhim bo'lgan metakognitiv ko'nikmalarni rivojlantiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 27fevraldagi «Pedagogik ta'lim sohasini yanada rivojlantirish choratadbirlari to'g'risida» gi PQ 4623-son Qarori

[2] Moeed A. (2015) Theorizing Formative Assessment: Time for a Change in Thinking. The Educational Forum. Vol. 79, No 2, P. 180–189.

[3] Newton P. E. (2007) Clarifying the purposes of educational assessment. Assessment in Education: Principles, Policy & Practice. Vol. 14, No 2, P. 149–170.

[4] Bennett R. E. (2011) Formative assessment: a critical review. Assessment in Education: Principles, Policy and Practice. Vol. 18, No 1, P. 5–25.

[5] Dann R. (2014) Assessment as learning: blurring the boundaries of assessment and learning for theory, policy and practice. Assessment in Education: Principles, Policy & Practice. Vol. 21, No 2, P. 149–166.

[6] Dixson D. D., Worrell F. C. (2016) Formative and Summative Assessment in the Classroom. Theory Into Practice. Vol. 55, No 2, P. 153–159.

[7] Pardayev S. M. Formative // TJE - Thematic journal of Education ISSN 2249-9822 Vol-8-Issue Q1- 2023 <http://thematicsjournals.in/index.php/tje> UIF 2020= 7.528 IFS 2020= 7.433 2022 sjifactor 4.549 Pages: 103-111. <https://thematicsjournals.in/index.php/tjed>

[8] Pardayev S.M. (2023). Possibilities of using digital platforms for assessing individual educational achievements of students. Journal of Advanced Scientific Research (ISSN: 0976-9595), 3(10).

НЕОБХОДИМЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Эшматов БаходирЭлиевич

Университет экономики и педагогики, в.и.профессор к.ф-м.н

Sheraliyeva Shaxrizoda Asqar qizi, Primova Hukar Bobomurod qizi

Студенты 3-курса, Университет экономики и педагогики

eshmatovbahodir@mail.ru

Аннотация. Неограниченность многих из наиболее важных операторов, возникающих при исследовании краевых задач для уравнений в частных производных – непреложный факт. В этой работе мы введем некоторые основные понятия и необходимых для работы с неограниченными операторами в гильбертовом пространстве.

Ключевые слова: Краевых задач, оператор, регулярные решения, квазирегулярные решения, полусильные решения.

Пусть $\Omega \subset R^n$ –конечная односвязная область и границей Γ . В области Ω рассмотрим дифференциальное уравнение

$$Lu = \sum_{|\alpha| \leq k} a_\alpha(x) D^{|\alpha|} u(x) = f(x) \quad (1)$$

с достаточно гладкими коэффициентами. Здесь D^α - оператор дифференцирования порядка $|\alpha|$:

$$D^\alpha u(x) = \frac{\partial^{|\alpha|}}{\partial x_1^{\alpha_1} \partial x_2^{\alpha_2} \dots \partial x_n^{\alpha_n}} u(x)$$

$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n)$ -мультииндекс $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $f(x)$ - заданная, $u(x)$ - неизвестная функция. Не уменьшая общности, будем предполагать что $\sum_{|\alpha|=k} |a_\alpha(x)| > 0$ то есть порядок уравнения (1) равен k .

Обозначим через B_j дифференциальные (линейный) выражения порядка $l_j (< k)$.

$$B_j u(x) = \sum_{|\alpha| \leq l_j} b_{\alpha_j}(x) D^\alpha u(x), \quad j=1,2,\dots,m$$

К р а е в а я з а д а ч а. Найти решения уравнения (1) удовлетворяющее условия

$$B_j u(x)|_\Gamma = 0, \quad j=1,2,\dots,m \quad (2)$$

Для сформулированной задачи введем определения различных типов решений краевых задач.

Обозначим через p максимальный порядок производных в краевых условиях (2).

Определение 1. Регулярным решением краевой задачи (1) – (2) называются функция $u(x) \in C^k(\Omega) \cap C^p(\overline{\Omega})$, удовлетворяющих уравнению (1) и условиям (2).

Регулярные решения иногда еще называют *классическими*. Регулярное решение обладает всеми непрерывными следами производных входящих в краевое условие (2). Поэтому определение регулярного решения будет различным для различных краевых задач, даже если они сформулированы для одного и того же дифференциального уравнения.

Большинство классических краевых задач для дифференциальных уравнений вида (1) при достаточной гладкости правой части уравнения $f(x)$ имеют регулярные решения.

Однако существует класс задач решения которых даже при $f \in C_0(\Omega)$ не являются регулярными. Это может быть названо наличием особенностей или разрывов самого решения или его производных на некотором многообразии нулевой меры в Ω , либо возникновением различного рода особенностей на отдельных участках границы Γ . Вводя соответствующие поправки в определение регулярного решения, такие решения называют *квазирегулярными* решениями задач.

Очевидно что для того чтобы решение краевой задачи было регулярным $f(x) \in C(\Omega)$. Легко видеть также что, не для всех $f(x) \in L_2(\Omega)$ решение задачи может быть квазирегулярным.

Поэтому при рассмотрении краевых задач для дифференциальных уравнений с правой частью $f(x) \in L_2(\Omega)$ требуется введение более общего определения решений задачи которые называются обобщенными решениями краевых задач. То есть, если функция $u(x)$ не обладает достаточной гладкостью чтобы являться регулярным или квазирегулярным решением задач, то следует указать в каком смысле она удовлетворяет граничному условию.

Определение 2. Функция $u(x) \in L_2(\Omega)$ называется *сильным* решением задачи (1)- (2) если существует последовательность функций $u_n(x) \in C^k(\Omega) \cap C^p(\Gamma)$ удовлетворяющих уравнению (1) и краевым условиям (2), такая что u_n и Lu_n сходятся в $L_2(\Omega)$ к $u(x)$ и $f(x)$ соответственно. Краевая задача (1)- (2) называется *сильно разрешимой* если сильное решение задачи существует для любой правой части $f(x) \in L_2(\Omega)$ и единственно.

Существует задачи которые не для всех $f(x) \in L_2(\Omega)$ имеют сильное решение. Поэтому бывает полезным введение более общего чем сильное, понятие решения задачи.

Определение 3. Функция $u \in L_2(\Omega)$ называется *полусильным* решением задач (1)- (2) если существует последовательность функций $u_n \in M$ удовлетворяющих условию (2) так что $u_n(x)$ и $Lu_n(x)$ сходятся в $L_2(\Omega)$ соответственно к $u(x)$ и $f(x)$. Краевая задача называется *полусильно разрешимой* если полусильное решение задачи существует для любой правой части $f(x) \in L_2(\Omega)$ и единственно.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Сабитов К.Б. Уравнения математической физики. Учебник для ВУЗов. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2013. 352 с.
- [2] Тихонов А.И., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М. Изд-во МГУ. 2004.
- [3] Бицадзе А.В., Калинин Д.Ф. Сборник задач по уравнениям математической физики. М. 1985.

RATIOS OF DEFORMATION RATES OF CONTACTING BODIES

Khurramov Shavkat Rachmatullaevich¹ and Ismadiyorov Doniyor Uktamovich²

¹ Tashkent University of Architecture and Civil Engineering, Yanghi shakhar street, 9, Tashkent city, 100194 Uzbekistan

² Tashkent University of Information Technologies, Amir Temur avenue, 108, Tashkent city, 100200, Uzbekistan

*e-mail: shavkat-xurramov59@mail.ru

ismadiyorovdoniyor0711@gmail.com

Annotatsiya. Ikki valli modullar sanoatning turli sohalaridagi valokli texnologik mashinalari ko'plab turlarining asosiy ishchi organlari hisoblanadi.. Ish simmetrik siqish moduli (har bir) siqish valining kontakt egri chig'ini shaklinining matematik modelini yaratishga va uning vallar qoplamasi siqilishdagi va tiklashdagi deformatsiya tezligining ishlov berilayotgan material deformatsiya tezligiga nisbati kabi asosiy parametrlarni aniqlashga bag'ishlangan. Siqish vallari kontakt egri chiziqlari shaklining matematik modellari ishlab chiqilgan. Siqish modulida o'zaro ta'sir va filtratsiya hodisalarining tahlili asosida kontaktlashuvchi jismlar deformatsiya tezliklari nisbatini topish uchun hisoblash formulalari topilgan. Material qalinligi ortishi bilan deformatsiya tezliklari nisbati ortishi aniqlangan. Vallar o'ramalari qalinligining ortishi siqishdagi deformatsiya tezliklari nisbatining o'sishiga olib kelishligi asoslangan.

Kalit so'zlar: ikki valli modul, ishlov berilayotgan material, kontakt egri chiziqlari shakli, kontaktlashuvchi jismlar deformatsiya tezliklari nisbati, kontakt egri chiziqlari modellari.

Аннотация. Двухвалковые модули являются основными рабочими органами большинства видов валковых технологических машин различных отраслей промышленности. Они используются в текстильной и легкой промышленности на удалении влаги из различных материалов, в целлюлозно-бумажной промышленности – на обезвоживании бумаги и т.д. Работа посвящена к разработке математической модели форму кривой контакта отжимного вала (каждого) в симметричном отжимном модуле и определение ее основных параметров – отношении скорости деформации покрытия валков к скорости деформации обрабатываемого материала при сжатии и восстановлении. Разработаны математические модели формы кривых контакта отжимных валков. На основе анализа явления взаимодействия и фильтрации влаги в отжимном модуле, получены расчетные формулы для определения соотношения скоростей деформации контактирующих тел. Выявлено, что с ростом толщины материала соотношение скоростей деформации при сжатии возрастает. Установлено, что увеличение толщины покрытия вала приводит возрастанию отношению скоростей деформации при сжатии.

Ключевые слова: двухвалковый модуль, обрабатываемый материал, формы кривых контакта, соотношения скоростей деформирования контактирующих тел, модели кривых контакта.

Abstract. Two-roll moduls are the main working bodies of most types of roller technological machines in various industries. The work is devoted to the development of a mathematical model of the shape of the contact curve of the squeezing roller (each) in a symmetrical squeezing module and the definition of its main parameters - the ratio of the deformation rate of the roller coating to the deformation rate of the processed material during compression and recovery. Mathematical models of the shape of contact curves of squeezing rollers have been developed. Based on the analysis of the phenomenon of interaction and filtration of moisture in the squeezing module, calculation formulas are obtained for determining the ratio of the deformation rates of the contacting bodies. It is revealed that with an increase in the thickness of the material, the ratio of the deformation rates during compression increases. It is established that an increase in the thickness of the roll coating leads to an increase in the ratio of the deformation rates during compression.

Keywords: two-roll moduls, processed material, contact curve shapes, ratios of deformation rates of contacting bodies, contact curves model.

INTRODUCTION

The physical-mechanical (deformation) characteristics of interacting elements (material and roll coatings) are described using mathematical models that take into account elastic, viscous, and plastic effects. The ratio of the deformation rates of the interacting elements is introduced as the main parameters defining contact curves and stresses [1].

Studies [2] show that the ratio of the deformation rates of interacting elements is significantly affected by their geometric and deformation parameters.

In studies [3-4] devoted to the study of contact interaction in modules where the rolls have elastic coatings, the problem of modeling contact curves is considered, taking into account the ratio of the deformation rates of the interacting elements.

This work is devoted to defining engineering models for calculating the ratio of the deformation rates of interacting elements, taking into account the main parameters of the roll modules.

MATERIALS AND METODS

In steady-state motion, each contact curve consists of two zones: a compression zone I and a recovery zone II . Due to the viscoelastic properties of the material or residual plastic deformation, it becomes asymmetrical.

The compression and recovery zones are determined by polar coordinates (r, θ) [5]:

$$r = \frac{R}{1+k_1} \left(1 + k_1 \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta} \right), \quad -\varphi_1 \leq \theta \leq 0; \quad (1)$$

$$r = \frac{R}{1+k_2} \left(1 + k_2 \frac{\cos \varphi_2}{\cos \theta} \right), \quad 0 \leq \theta \leq \varphi_2, \quad (2)$$

where R – is the roll radius, φ_1, φ_2 – are the contact angles, k_1, k_2 – represents the ratio of the rates of deformation of the interacting elements in the zone I and II .

From expressions (1) and (2) it follows [2]:

$$k_2 = \frac{k_1 \varphi_1^2}{\varphi_2^2 - k_1 (\varphi_1^2 - \varphi_2^2)}. \quad (3)$$

Thus, to solve the given problems, we first need to determine the values of k_1 . Then, from expression (3), we find k_2 .

The value of k_1 primarily depends on the physical and mechanical properties of the interacting elements during compression.

RESULTS

The deformation patterns of contacting bodies under compression will be described by the following models [6]:

$$\sigma_l = B \varepsilon_l^b + \mu_l \varepsilon_l \frac{d\varepsilon_l}{dt}, \quad \sigma_r = A \varepsilon_r^a + \mu_r \varepsilon_r \frac{d\varepsilon_r}{dt}, \quad (4)$$

where B, b, μ_l, A, a, μ_r – coefficients characterizing the physical and mechanical properties of interacting elements during the compression process..

According to Newton's law, the following condition is satisfied at every point in the compression zone $\sigma_r = \sigma_l$.

Then from equalities (4), we obtain

$$A\varepsilon_r^a + \mu_r \varepsilon_r \frac{d\varepsilon_r}{dt} = B\varepsilon_l^b + \mu_l \varepsilon_l \frac{d\varepsilon_l}{dt} \quad (5)$$

Where $\delta = \frac{\delta_1 \cos \varphi_1}{2}$, H – is the coating thickness, δ_1 – is the initial material thickness, $\Delta h_r, \Delta h_l, \frac{dh_r}{dt}, \frac{dh_l}{dt}$ – is the increment and strain rate of the interacting elements.

Let us substitute the expressions from equalities (5) into equalities (4) and transform them:

$$\begin{aligned} A \frac{\Delta h_r}{H}^a + \mu_r \frac{\Delta h_r}{H} \frac{1}{H} \frac{dh_r}{dt} &= B \frac{\Delta h_l}{\delta}^b + \mu_l \frac{\Delta h_l}{\delta} \frac{1}{\delta} \frac{dh_l}{dt}, \\ A \left(1 - \frac{H - \Delta h_r}{H}\right)^a + \mu_r \frac{1}{H^2} \Delta h_r \frac{dh_r}{dt} &= B \left(1 - \frac{\delta - \Delta h_l}{\delta}\right)^b + \mu_l \frac{1}{\delta^2} \Delta h_l \frac{dh_l}{dt}, \\ AaH\delta^2\Delta h_r - BbH^2\delta\Delta h_l + \mu_r\delta^2\Delta h_r \frac{dh_r}{dt} - \mu_l H^2\Delta h_l \frac{dh_l}{dt} + C &= 0, \end{aligned} \quad (6)$$

where

$$C = (A(1-a) - B(1-b))H^2\delta^2. \quad (7)$$

Note, that

$$k_1 = \frac{\frac{dh_r}{dt}}{\frac{dh_l}{dt}} = \frac{dh_r}{dh_l} \approx \frac{\Delta h_r}{\Delta h_l}. \quad (8)$$

At the points of zone I the following relationships are fulfilled:

$$\Delta h_r + \Delta h_l = \Delta h, \quad \frac{dh_r}{dt} + \frac{dh_l}{dt} = \frac{dh}{dt}, \quad (9)$$

where $\Delta h, \frac{dh}{dt}$ – represents the total increment and the total rate of deformation in zone I .

With equalities (8), from equality (9), we obtain:

$$\Delta h_r = \frac{k_1}{1+k_1} \Delta h, \quad \Delta h_l = \frac{1}{1+k_1} \Delta h, \quad \frac{dh_r}{dt} = \frac{k_1}{1+k_1} \frac{dh}{dt}, \quad \frac{dh_l}{dt} = \frac{1}{1+k_1} \frac{dh}{dt}. \quad (10)$$

With expression (10), equation (6) has the following form:

$$C + AaH\delta^2\Delta h + \mu_r\delta^2\Delta h \frac{dh}{dt} k_1^2 + (2C + AaH\delta^2\Delta h - BbH^2\delta\Delta h)k_1 +$$

$$+ C - BbH^2\delta\Delta h - \mu_l H^2\Delta h \frac{dh}{dt} = 0 \quad (11)$$

The discriminant of the quadratic equation is:

$$D = [(2C + (Aa\delta - BbH)H\delta\Delta h)^2 - 4(C + AaH\delta^2\Delta h)(C - BbH^2\delta\Delta h)] + 4((C + AaH\delta^2\Delta h)\mu_l H^2 - (C - BbH^2\delta\Delta h)\mu_r \delta^2)\Delta h \frac{dh}{dt} + \mu_r \mu_l H^2 \delta^2 \Delta h \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 \quad (12)$$

Calculations by formula (14) indicate that the value in the second square bracket is small compared to the value in the first square bracket. So, neglecting the second square bracket from equality (14), we obtain:

$$\sqrt{D} = AaH\delta^2\Delta h + BbH^2\delta\Delta h$$

Then the quadratic equation (13) has the following solution:

$$k_{1(1,2)} = \frac{-(2C + AaH\delta^2\Delta h - BbH^2\delta\Delta h) \pm (AaH\delta^2\Delta h + BbH^2\delta\Delta h)}{2C + AaH\delta^2\Delta h + \mu_r \delta^2\Delta h \frac{dh}{dt}}$$

From here, we have

$$k_{1(1)} = \frac{-(C + AaH\delta^2\Delta h)}{C + AaH\delta^2\Delta h + \mu_r \delta^2\Delta h \frac{dh}{dt}} \quad (13)$$

$$k_{1(2)} = \frac{BbH^2\delta\Delta h - C}{C + AaH\delta^2\Delta h + \mu_r \delta^2\Delta h \frac{dh}{dt}} \quad (14)$$

Let us analyze solution (13).

Here $C + AaH\delta^2\Delta h + \mu_r \delta^2\Delta h \frac{dh}{dt} > 0$, since $C + AaH\delta^2\Delta h \gg \mu_r \delta^2\Delta h \frac{dh}{dt}$. Then from equality (13), it follows that $k_1 < 0$. Since $k_1 > 0$, solution (15) cannot be the value of k_1 .

Let us analyze solutions (14) for various values of C .

Assuming that $a = 1$ and $b = 1$, from expression (7), it follows that $C = 0$.

Let $C > 0$. From the second solution (14), it follows that $C + AaH\delta^2\Delta h + \mu_r \delta^2\Delta h \frac{dh}{dt} > 0$. Since $k_1 > 0$, inequality $BbH^2\delta\Delta h - C > 0$ must be satisfied.

Then $0 < C < BbH^2\delta\Delta h$ or considering expression (7) $B(1-b) < A(1-a) < B(1-b) + Bb \frac{\Delta h}{\delta}$.

The last inequality holds, since $Bb \frac{\Delta h}{\delta} > 0$.

Let $C < 0$. From the second solution (14), it follows that $\frac{dh}{dt}_a = \frac{1}{2} \omega R \varphi_1$. Assuming that $k_1 > 0$, we obtain $-AaH\delta^2\Delta H - \mu_r\delta^2\Delta h \frac{dh}{dt} < C < 0$ or with expression (7)

$$B(1-b) - Aa \frac{\Delta h}{H} - \mu_r \frac{\Delta H}{H^2} \frac{dh}{dt} < A(1-a) < B(1-b)$$

The last inequality is satisfied, since $Aa \frac{\Delta h}{H} + \mu_r \frac{\Delta H}{H^2} \frac{dh}{dt} > 0$.

Thus, solution (16) is the value of k_1 .

Using expressions (9), we write the expression for the value of k_1

$$k_1 = \frac{Bb\Delta h - (A(1-a) - B(1-b))\delta}{Aa\Delta hH + (A(1-a) - B(1-b))H^2 + \mu_r\Delta h \frac{dh}{dt}} \frac{H^2}{\delta} \quad (15)$$

Calculations of k_1 by formula (15) can be simplified by substitution of Δh and $\frac{dh}{dt}$ by mean values.

We determine the mean value of Δh and $\frac{dh}{dt}$ in accordance with the mean value theorem of integral calculus

$$\Delta h_a = \frac{1}{\varphi_1} \int_0^{\varphi_1} R \left(1 - \frac{\cos \theta}{\cos \varphi_1}\right) d\theta, \quad \frac{dh}{dt}_a = \frac{1}{\varphi_1} \int_0^{\varphi_1} \omega R \cos \varphi_1 \frac{\sin \theta}{\cos^2 \theta} d\theta$$

or after integration to the first approximation

$$\Delta h_a = \frac{2R}{3} \varphi_1^2, \quad \frac{dh}{dt}_a = \frac{1}{2} \omega R \varphi_1,$$

where ω – is the angular velocity of the roller.

We also have that $\delta = \frac{\delta_1 \cos \varphi_1}{2} \approx \frac{1}{4} (2 - \varphi_1^2) \delta_1$. Substituting expressions Δh_a , $\frac{dh}{dt}_a$ and δ into equalities (14), we finally obtain calculation formula for the value of k_1

$$k_1 = \frac{8BbR\varphi_1^2 - 3(A(1-a) - B(1-b))(2 - \varphi_1^2)\delta_1}{4AaRH\varphi_1^2 + 3(A(1-a) - B(1-b))(2 - \varphi_1^2)H^2 + 2\mu_r\omega R^2\varphi_1^3} \frac{H^2}{\delta_1} \quad (16)$$

The value of k_2 depending on the nature of the deformation of the material (being processed) and is determined by expression (3).

From equation (3) considering formula (16), we obtain

$$k_2 = \frac{(8BbR\varphi_1^2 - 3(A(1-a) - B(1-b))(2 - \varphi_1^2)\delta_1)H^2}{4RH(Aa\delta_1\varphi_2^2 - 2BbH(\varphi_1^2 - \varphi_2^2)) + 3(A(1-a) - B(1-b))(2 - \varphi_1^2)H^2\delta_1 + 2\mu_r\omega R^2\sigma_1\varphi_1\varphi_2^2} \quad (17)$$

Thus, equations (16) and (17) define the ratios of the deformation rates of interacting elements, which can be used to determine and optimize the parameters of rolling modules in industrial machines.

It was found that the contact curve models depend significantly on the ratio of the deformation rates of interacting elements, which, in turn, are influenced by the thickness of these elements, the radius of the rolls, and the gap between the rolls.

CONCLUSIONS

The resulting expressions (16) and (17) are used to analyze contact curves and stresses and, consequently, to determine the key parameters of contact interaction in the rolling module, where the interacting elements are materials with elastic-viscous properties.

The analysis shows that the geometric parameters and physical and mechanical properties of the interacting elements significantly influence the strain rate ratios.

The proposed analytical expressions for the strain rates ratios provide a theoretical basis for modeling contact interactions in rolling modules and assist in selecting rational parameters rolling machines.

REFERENCES:

- [1] Bayat, A., Azimi, A., Tadhveelpour A. Terrain parameter identification for weeled module robots using deep neural networks. Int.Journal Mech. Based Desing of Struct. and Mach..53, (2025) DOI:10.1080/15397734.2024.2423764
- [2] Turgunov K.K., Annaev N.U.,Khurramov S.I., “Parameters of contact lines of rolls”, J. of Phys: Conf. Ser, 2373 (7) 072003, 2022, doi:10.1088/1742-6296/2373/7/072003
- [3] Sorochan E., Melnikov B., Raimberdiyev T. “Mathematical model plates and strips rolling for calculation of energy power parameters and dynamic loads” MATEC Web of Conf. 73, 040090(2016) DOI: 10.1051/mateconf/20167304009
- [4] Sulaymanova D., Abduganieva Y., Miratov Z. “Modeling roll contact curves of a squeezing machine”, E3S Web of Conf., 443, 0.006, (2023), <https://doi.org/10.1051/e3conf/202344303006>
- [5] Khurramov Sh.R., Bakhadirov G.A., Abdulkarimov A. “Mathematical modeling of friction stresses in a two-roll module”, Izv. Vysh. Ucheb.Zav., Ser.Tech.Teks.Prom. 397 (1) 2022
- [6] Kuznetsov G.K., Farukshin V.V., Krasovskaya M.S. Distribution of pressure along the arc of contact of rolls as a function of the properties of the rolled material. Izv. Vysh. Ucheb.Zav., Ser.Tekhn.Teks.Prom. 297(2), (2007)

O‘SIMLIKLARNI PARVARISHLASH JARAYONINI INTELLEKTUAL AVTOMATLASHTIRISH TEXNOLOGIYASI

Ochilov Muzaffar Rayimberdiyevich¹, Ochilova Sojida Rayimberdi qizi²

¹Axborot texnologiyalari va menejment universiteti, Qarshi shahri 180100, O‘zbekiston, E-mail: muzaffar_3848@mail.ru

²Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi shahri 180100, O‘zbekiston, E-mail: sojida.ochilova28@gmail.com

***Annotatsiya.** Maqolada ofis, turar joy va ta’lim muassasalarining ichki hududlarida joylashtirilgan o‘simliklarni parvarishlash uchun real vaqt ma’lumotlariga asoslangan smart sug‘orish tizimining funksional modeli taklif etiladi. Tizim tuproq namligi, xona harorati va nisbiy namligi, yorug‘lik darajasi hamda suv rezervuari holatini sensorlar orqali kuzatish, ma’lumotlarni mikrokontrollerda qayta ishlash, Wi-Fi orqali monitoring interfeysiga uzatish va namlik belgilangan diapazondan pasayganda suv nasosini avtomatik boshqarishga asoslanadi. Bir nechta*

tuvak mavjud bo'lgan binolar uchun zonali monitoring, individual namlik chegaralari, suv sarfini nazorat qilish, masofaviy ogohlantirish va qo'lda boshqarish funksiyalari bir arxitekturada birlashtirildi. Yondashuv doimiy inson nazoratiga bog'liqlikni kamaytirish, dam olish kunlari yoki ta'til davrida parvarish uzluksizligini ta'minlash hamda ortiqcha sug'orishni cheklashga qaratilgan.

Kalit so'zlar: ofis, ta'lim muassasasi, IoT, tuproq namligi, ESP32, real vaqt monitoringi, avtomatik sug'orish.

Аннотация. В статье предложена функциональная модель интеллектуальной системы полива, основанной на данных реального времени и предназначенной для ухода за растениями, размещёнными внутри офисных, жилых и образовательных помещений. Система предусматривает мониторинг влажности почвы, температуры и относительной влажности воздуха в помещении, уровня освещённости и состояния резервуара для воды с помощью датчиков, обработку полученных данных микроконтроллером, их передачу через Wi-Fi в интерфейс мониторинга, а также автоматическое управление водяным насосом при снижении влажности почвы ниже установленного диапазона. Для помещений с несколькими растениями в единую архитектуру интегрированы функции зонального мониторинга, индивидуальной настройки пороговых значений влажности, контроля расхода воды, дистанционного оповещения и ручного управления. Предлагаемый подход направлен на снижение зависимости процесса ухода за растениями от постоянного контроля со стороны человека, обеспечение непрерывности ухода в выходные дни и в период отпусков, а также предотвращение избыточного полива.

Ключевые слова: офис, образовательное учреждение, IoT, влажность почвы, ESP32, мониторинг в реальном времени, автоматический полив.

Abstract. The article proposes a functional model of an intelligent irrigation system based on real-time data and designed for the care of plants located in office, residential, and educational environments. The system provides monitoring of soil moisture, indoor air temperature and relative humidity, illumination level, and water reservoir status using sensors; processing of the collected data by a microcontroller; transmission of the data via Wi-Fi to a monitoring interface; and automatic control of a water pump when soil moisture falls below a predefined range. For environments containing multiple plants, the architecture integrates zonal monitoring, individual configuration of moisture threshold values, water consumption monitoring, remote notifications, and manual control functions. The proposed approach aims to reduce the dependence of plant care on continuous human supervision, ensure uninterrupted care during weekends and vacation periods, and prevent excessive watering.

Keywords: office, educational institution, IoT, soil moisture, ESP32, real-time monitoring, automatic irrigation.

KIRISH

Zamonaviy binolarda qulay, estetik va funksional ichki muhitni shakllantirishda xona o'simliklaridan foydalanish tobora kengayib bormoqda. Ofislar, turar joylar va ta'lim muassasalarida joylashtirilgan o'simliklar interyerning tabiiy elementi sifatida xizmat qilish bilan birga, yopiq makonda inson uchun yoqimli va komfortli muhit yaratishga ham ko'maklashadi. Shu bilan birga, xona o'simliklarining sog'lom rivojlanishi tuproq namligi, harorat, havoning nisbiy namligi va yoritilganlik kabi muhit parametrlarining o'simlik ehtiyojiga mos ravishda ta'minlanishiga bevosita bog'liq.

Amaliyotda esa o'simliklarni parvarishlash jarayoni ko'p hollarda inson omiliga bog'liq bo'lib qolmoqda. Xodim, o'qituvchi, texnik xodim yoki uy egasining o'simlik holatini muntazam kuzatishi va o'z vaqtida sug'orishi talab etiladi. Dam olish kunlari, xizmat safari, ta'til davri yoki xonalardan vaqtincha foydalanilmasligi natijasida sug'orishning kechikishi kuzatilishi mumkin. Aksincha, parvarish vazifasi aniq belgilanmagan muhitda bir o'simlikning bir necha shaxs

tomonidan sug'orilishi tuproqning ortiqcha namlanishiga olib keladi. Bundan tashqari, bir binoda joylashgan turli o'simliklarning suv va yorug'likka bo'lgan ehtiyoji bir xil emasligi yagona sug'orish rejimidan foydalanishni samarasiz qiladi.

IoT texnologiyalarining rivojlanishi o'simlik holatini sensorlar orqali uzluksiz kuzatish, ma'lumotlarni masofadan ko'rish va ijro qurilmalarini avtomatik boshqarish imkonini bermoqda. HomeBud tizimida xona o'simliklari uchun maqsadli tuproq namligi va kunlik yoritish ko'rsatkichlarini individual sozlash, avtomatik sug'orish va yoritishni mobil boshqaruv bilan birlashtirish taklif qilingan [1]. Branovskyi va Mychuda tomonidan ishlab chiqilgan tizimda tuproq namligi, harorat va yorug'lik sensorlari asosida o'simlik parvarishini avtomatlashtirishning strukturaviy va algoritmik yechimlari ko'rsatilgan [2].

Korostenskyi va Olenych esa xona o'simliklarini sug'orishda sun'iy neyron tarmoq va fuzzy xulosalashdan foydalanib, tuproq namligi hamda havo haroratini qaror qabul qilish jarayoniga birlashtirgan [4]. ESP32 va bulutli monitoringga asoslangan zamonaviy yechimlarda ham real vaqt telemetriyasi, masofaviy nazorat va avtomatik sug'orishning amaliy imkoniyatlari kengayib bormoqda [5–7].

Mavjud ishlarda alohida sensor ko'rsatkichlari, chegaraviy boshqaruv yoki masofaviy monitoring samarali yoritilgan bo'lsa-da, ko'p tuvakli bino sharoitida individual o'simlik profili, bir nechta muhit parametrlarini birgalikda baholash, rezervuar holatini nazorat qilish, sug'orish natijasini qayta o'lchash va ijro qurilmasi nosozligini aniqlashni yagona boshqaruv sikliga birlashtirish masalasi dolzarb bo'lib qolmoqda. Mazkur tadqiqotning maqsadi - uy, ofis va ta'lim muassasalarida joylashgan xona o'simliklarini individual xususiyatlari va real vaqt muhit ma'lumotlari asosida avtomatik parvarishlash, sug'orish va masofadan monitoring qilish imkonini beruvchi intellektual boshqaruv texnologiyasini takomillashtirishdan iborat.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Tadqiqotda mavjud yechimlarni qiyosiy o'rganish, o'simlik holatini sensor ma'lumotlari asosida baholash hamda parvarish jarayonini avtomatik boshqarish algoritmini ishlab chiqishga yo'naltirilgan kompleks metodologik yondashuv qo'llanildi. Dastlab xona o'simliklarini avtomatik parvarishlashga oid mavjud IoT yechimlari funksional imkoniyatlari bo'yicha tahlil qilindi. HomeBud tizimidagi individual maqsadli namlik va yoritish sozlamalari [1], ko'p sensorli avtomatlashtirilgan parvarish arxitekturasini [2], namlik chegarasiga asoslangan sug'orish mexanizmi [3] hamda fuzzy va neyron tarmoq asosidagi qaror qabul qilish usuli [4] taklif etilayotgan model uchun metodik asos sifatida qabul qilindi.

O'simliklar holatini avtomatlashtirilgan tarzda kuzatish bo'yicha avvalgi tadqiqotda CNN texnologiyasi asosida tasvirlardan o'simlik holatini aniqlash va monitoring qilish imkoniyatlari o'rganilgan [5]. Ushbu tadqiqotda esa monitoring jarayoni sensor ma'lumotlari bilan kengaytirilib, tuproq namligi va muhit parametrlarini real vaqt rejimida baholash asosida o'simlikni parvarishlash jarayonini avtomatik boshqarish yondashuvi ishlab chiqildi [11].

Tizimning kirish parametrlari sifatida tuproq namligi, xona harorati, havoning nisbiy namligi, yoritilganlik darajasi va suv rezervuarining holati tanlandi. Har bir o'simlik yoki zona uchun maqsadli namlik diapazoni va kuzatuv parametrlari individual profil ko'rinishida saqlanadi. Sensor qiymatlari qaror qabul qilishdan oldin ruxsat etilgan diapazon bo'yicha tekshiriladi, keskin sakrashlar va mantiqan mos kelmaydigan qiymatlar filtrlash orqali ajratiladi.

O'simlik holatini baholashda faqat bitta namlik chegarasidan foydalanish o'rniga, tuproq namligi asosiy ko'rsatkich sifatida olinib, harorat, havo namligi va yorug'lik yordamchi omillar sifatida hisobga olinadi. Holat "me'yoriy", "kuzatuv talab etiladi", "sug'orish zarur", "kritik" va "texnik nosozlik" kabi funksional toifalarga ajratiladi. Qaror qabul qilishda fuzzy mantiqdan foydalanish sensor qiymatlarining qat'iy chegaralarda keskin almashishiga bog'liq bo'lgan boshqaruv xatolarini kamaytirishga xizmat qiladi.

Boshqaruvning muhim qismi qayta aloqa tamoyiliga asoslanadi. Sug'orish zarur deb topilganda avval rezervuarda suv mavjudligi tekshiriladi, so'ng nasos qisqa impuls bilan ishga tushiriladi. Suvning tuproqda tarqalishi uchun kutish oralig'idan keyin namlik qayta o'lchanadi. Maqsadli diapazonga erishilmagan bo'lsa, xavfsizlik cheklovlari doirasida navbatdagi sug'orish sikli bajariladi. Nasos ishga tushirilganiga qaramay namlikda kutilgan o'zgarish kuzatilmasa, tizim sensor, nasos yoki suv uzatish kanalida ehtimoliy nosozlik mavjudligini qayd etadi.

Taklif etilayotgan intellektual parvarishlash tizimi

Taklif etilayotgan tizim faqat avtomatik sug'orish qurilmasi sifatida emas, balki sensorli monitoring, ma'lumotlarni qayta ishlash, intellektual qaror qabul qilish, ijro qurilmalarini boshqarish va masofaviy nazoratni birlashtiruvchi funksional arxitektura sifatida shakllantirildi. Markaziy boshqaruv moduli sifatida Wi-Fi aloqa imkoniyatiga ega ESP32 mikrokontrolleridan foydalanish nazarda tutiladi. Tuproq namligi har bir tuvak yoki zona uchun alohida kapasitativ sensor orqali, xona harorati va nisbiy namligi DHT22/SHT turidagi sensor, yoritilganlik esa LDR yoki BH1750 turidagi sensor yordamida kuzatiladi.

Har bir o'simlik uchun individual parvarish profili tashkil etilishi tizimning muhim xususiyatidir. Profil tarkibida maqsadli tuproq namligi diapazoni, ruxsat etilgan minimal namlik, kuzatuv oralig'i va zarur hollarda yoritish bilan bog'liq parametrlar saqlanadi. Bu yondashuv turli biologik talablarga ega o'simliklarni bitta umumiy chegaraviy qiymat asosida boshqarishdan voz kechish imkonini beradi.

Ko'p o'simlikli ofis va ta'lim binolari uchun tizim zonali tamoyilda kengaytiriladi. Har bir zona sensor tuguni va tegishli ijro kanaliga ega bo'lib, markaziy monitoring panelida barcha zonalarning joriy holati, sug'orish tarixi, ogohlantirishlar va rezervuar holati ko'rsatiladi. Internet aloqasi vaqtincha uzilganda asosiy sug'orish qoidalari ESP32 darajasida lokal bajarilishi tizimning funksional barqarorligini ta'minlaydi.

Intellektual boshqaruv algoritmi va uning ishlash mexanizmi

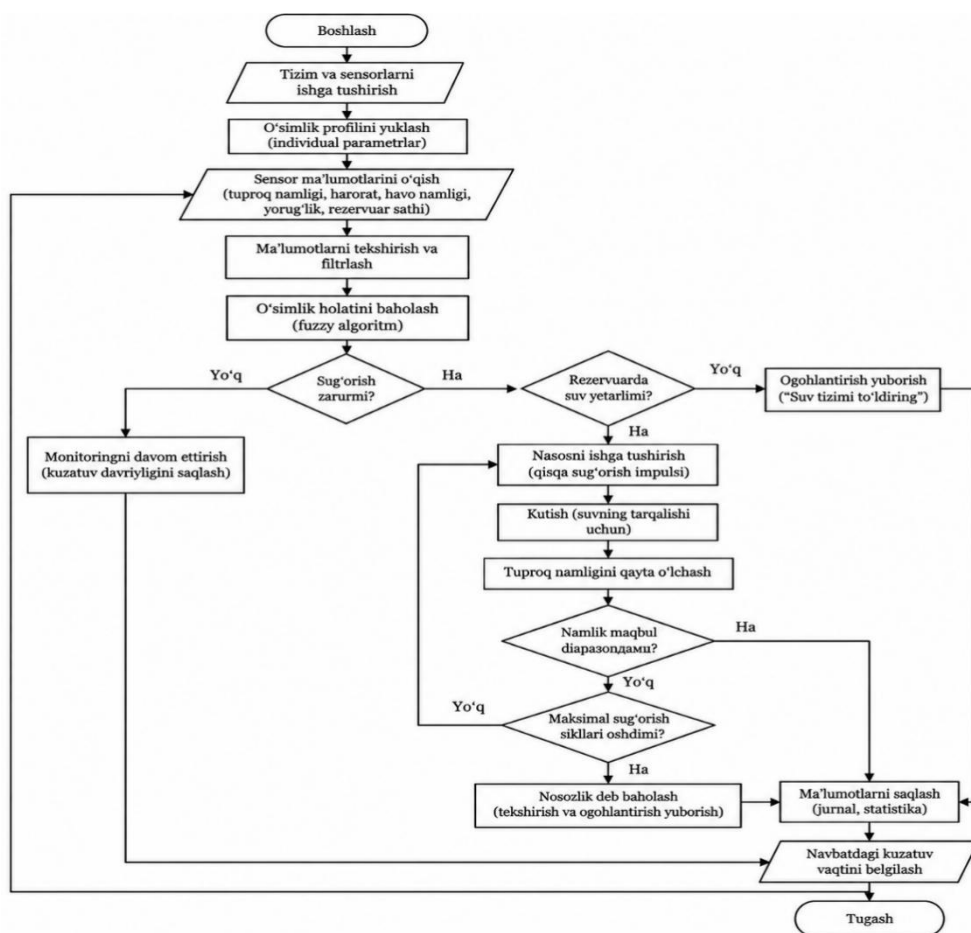
Boshqaruv algoritmi o'simlik profilini yuklashdan boshlanadi. Keyin sensorlardan tuproq namligi, harorat, havoning nisbiy namligi, yoritilganlik va rezervuar holati olinadi. Olingan qiymatlar tekshirilgach, joriy holat individual profil bilan taqqoslanadi va fuzzy baholash asosida sug'orish zarurati aniqlanadi. Sug'orish talab qilinmagan holatda tizim monitoring rejimiga qaytadi.

Sug'orish zarur bo'lsa, rezervuarda yetarli suv mavjudligi tekshiriladi. Suv yetarli bo'lmagan holatda nasos ishga tushirilmaydi va foydalanuvchiga ogohlantirish yuboriladi. Suv mavjud bo'lsa, nasos uzluksiz ishlatilmaydi; u qisqa muddatli impuls rejimida faollashtiriladi.

1-rasmda keltirilgan algoritimga ko'ra, tizim ishga tushirilgach, dastlab o'simlikning individual parvarish profili yuklanadi va sensorlardan zarur ma'lumotlar olinadi. Qayta ishlangan qiymatlar asosida o'simlikning joriy holati baholanadi. Sug'orish talab etilganda rezervuardagi suv miqdori tekshiriladi va suv yetarli bo'lsa, nasos qisqa muddatli impuls bilan ishga tushiriladi. Sug'orishdan so'ng tuproq namligi qayta o'lchanib, natija baholanadi.

Agar belgilangan maksimal sikllardan keyin ham namlik kutilgan darajada o'zgarmasa, tizim holatni ehtimoliy nosozlik sifatida belgilaydi va foydalanuvchini xabardor qiladi. Shu tariqa algoritm sensorli monitoringni ijro qurilmasi natijasini tekshiruvchi qayta aloqa bilan birlashtiradi.

Agar maqsadli namlik diapazoniga erishilmagan bo'lsa, xavfsizlik chegaralari doirasida sug'orish sikli takrorlanadi. Belgilangan maksimal sikllardan keyin ham namlik o'zgarmasa, tizim ehtimoliy nosozlikni qayd etib, foydalanuvchiga ogohlantirish yuboradi. Bajarilgan amallar va sensor ko'rsatkichlari tarix sifatida saqlanib, keyingi kuzatuv siklida qaror qabul qilish uchun foydalanilishi mumkin.



1-rasm. O'simliklarni parvarishlash jarayonini intellektual avtomatlashtirish algoritmining blok-sxemasi

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Taklif etilgan funksional modelning asosiy natijasi xona o'simliklarini parvarishlashda alohida texnik funksiyalarni yagona yopiq boshqaruv sikliga birlashtirishdan iborat. Mavjud tizimlarda uchraydigan real vaqt monitoringi, avtomatik sug'orish, individual chegaralarni belgilash va masofaviy boshqaruv imkoniyatlari [1–3, 5–7] mazkur yondashuvda rezervuar nazorati, impulsli sug'orish va natijani qayta o'lchash mexanizmi bilan to'ldiriladi. Fuzzy baholash esa bir nechta muhit parametrlarini qat'iy "ha/yo'q" chegaralariga bog'lamasdan qaror qabul qilish imkonini beradi [4].

Tizimning ko'p zonali tuzilishi uni bitta uy o'simligidan tashqari, ofis, universitet, maktab, kutubxona va laboratoriyalardagi ko'plab tuvaklarni markazlashtirilgan tarzda kuzatish uchun moslashtiradi. Shu bilan birga, ushbu ish funksional model va boshqaruv algoritmini shakllantirishga qaratilganligi sababli suv tejalishi, o'simlik o'sishi yoki sensor aniqligi bo'yicha miqdoriy samaradorlik ko'rsatkichlari tajriba natijasi sifatida keltirilmaydi. Bunday ko'rsatkichlarni aniqlash uchun keyingi bosqichda real prototip, turli o'simlik turlari va nazorat guruhi asosida uzoq muddatli eksperimental sinovlar o'tkazilishi zarur.

XULOSA

Tadqiqot natijasida o'simliklarni parvarishlash jarayonini real vaqt sensor ma'lumotlari asosida intellektual boshqarish yondashuvi taklif etildi. Ishlab chiqilgan algoritmi o'simlik holatini baholash, sug'orish zaruratini aniqlash, suv berish jarayonini boshqarish va uning natijasini qayta nazorat qilish imkonini beradi. Mazkur yechim o'simlik parvarishini individual ehtiyojga mos, uzluksiz va inson aralashuvini kamaytirgan holda tashkil etishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Liang B., Chen V., Tian K., Bigos I., Jokic K., Haghani S. HomeBud: A Smart IoT Watering System for Indoor Plants. 2025 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), 2025, pp. 1–6. DOI: 10.1109/ICCE63647.2025.10929813.
- [2] Branovskyi V., Mychuda Z. Development of an Automated Plant Care Management System. Computer Systems and Networks, 2025, Vol. 7, No. 1, pp. 37–46. DOI: 10.23939/csn2025.01.037.
- [3] Patni J.C., Prakash V.S., Reddy G.S.V. et al. Smart Plant Irrigation System with Arduino Uno and Soil Moisture Sensor. 2025 2nd International Conference on Computational Intelligence, Communication Technology and Networking (CICTN), 2025. DOI: 10.1109/CICTN64563.2025.10932429.
- [4] Korostenskyi R., Olenych I. Application of Artificial Neuron Network and Fuzzy Inference in the Houseplant Watering Intelligent System. Electronics and Information Technologies, 2025, No. 29, pp. 5–12. DOI: 10.30970/eli.29.1.
- [5] Lazaruk I., Klym H. Smart Soil Moisture Monitoring for IoT-Controlled Automatic Plant Irrigation. Measuring Equipment and Metrology, 2025, Vol. 86, No. 3, pp. 92–98. DOI: 10.23939/istcm2025.03.092.
- [6] Guerrero-Ulloa G., Méndez-García A., Torres-Lindao V., Zamora-Mecías V., Rodríguez-Domínguez C., Hornos M.J. Internet of Things (IoT)-based indoor plant care system. Applied Intelligence Systems, 2023. DOI: 10.3233/AIS-220483.
- [7] Musse A., Salamy H., Min C.-H. Design of a Low-Cost Smart Plant Watering System for Automated Plant Monitoring and Watering. IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System (IoTais), 2024, pp. 44–50. DOI: 10.1109/IoTais64014.2024.10799341.
- [8] . Lazaruk I., Klym H. Smart Soil Moisture Monitoring for IoT-Controlled Automatic Plant Irrigation. Measuring Equipment and Metrology, 2025, Vol. 86, No. 3, pp. 92–98. DOI: 10.23939/istcm2025.03.092.
- [9] . Guerrero-Ulloa G., Méndez-García A., Torres-Lindao V., Zamora-Mecías V., Rodríguez-Domínguez C., Hornos M.J. Internet of Things (IoT)-based indoor plant care system. Applied Intelligence Systems, 2023. DOI: 10.3233/AIS-220483.
- [10] . Branovskyi V., Mychuda Z. Development of an Automated Plant Care Management System. Computer Systems and Networks, 2025, Vol. 7, No. 1, pp. 37–46. DOI: 10.23939/csn2025.01.037.
- [11] . Berdiyev G., Ochilova S., Ochilov M., Xoliqova A. CNN-Based Image System for Automated Agricultural Crop Condition Monitoring // Academia Open. – 2026. – Vol. 11, No. 1. – DOI: 10.21070/acopen.11.2026.13423.

ARXIV HUJJATLARI QIYMATINI BAHOLASH MEZONLARINI FORMALLASHTIRISHNING MATEMATIK MODELI

Qudratova Mehriniso Nemat qizi

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalar universiteti tayanch doktoranti,
Toshkent, O‘zbekiston

Email: qudratovamehr@gmail.com

***Annotatsiya.** Ushbu maqolada arxiv hujjatlari qiymatini baholash mezonlarini matematik formallashtirish masalasi ko‘rib chiqilgan. Tadqiqotning maqsadi arxiv hujjatlarining qiymatini belgilovchi mezon va ko‘rsatkichlarni miqdoriy ifodalash hamda ularni yagona matematik model*

doirasida shakllantirishdan iborat. Tadqiqotda tizimli tahlil, ko'p mezonli baholash va matematik modellashtirish usullaridan foydalanilgan. Turli xususiyatlarni ifodalovchi baholash ko'rsatkichlarini o'zaro taqqoslash imkonini yaratish uchun ularni normallashtirish, mezonlarning yakuniy natijaga ta'sirini hisobga olish uchun esa vazn koeffitsientlaridan foydalanish taklif etilgan. Natijada arxiv hujjatining alohida mezonlar bo'yicha baholarini umimlashtiruvchi integral qiymat ko'rsatkichini aniqlashga asoslangan matematik model shakllantirilgan. Taklif etilgan yondashuv baholash mezonlarini miqdoriy va taqqoslanadigan ko'rinishga keltirish hamda arxiv hujjatlari qiymatini ko'p mezonli baholash algoritmini ishlab chiqish uchun matematik asos yaratishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: arxiv hujjati, qiymatni baholash, baholash mezonlari, formallashtirish, matematik model.

Аннотация. В статье рассматривается задача математической формализации критериев оценки ценности архивных документов. Цель исследования заключается в количественном представлении критериев и показателей, определяющих ценность архивных документов, и их формировании в рамках единой математической модели. В исследовании использованы методы системного анализа, многокритериального оценивания и математического моделирования. Для обеспечения сопоставимости оценочных показателей, характеризующих различные свойства документов, предложена их нормализация, а для учета влияния критериев на итоговый результат — использование весовых коэффициентов. В результате сформирована математическая модель, основанная на определении интегрального показателя ценности, обобщающего оценки архивного документа по отдельным критериям. Предложенный подход позволяет представить критерии оценки в количественной и сопоставимой форме и служит математической основой для разработки алгоритма многокритериальной оценки ценности архивных документов.

Ключевые слова: архивный документ, оценка ценности, критерии оценки, формализация, математическая модель.

Abstract. This article addresses the mathematical formalization of criteria for archival document value assessment. The aim of the study is to quantitatively represent the criteria and indicators that determine the value of archival documents and to formulate them within a unified mathematical model. The study employs methods of systems analysis, multi-criteria assessment, and mathematical modeling. To ensure the comparability of assessment indicators representing different document characteristics, their normalization is proposed, while weighting coefficients are used to account for the influence of individual criteria on the final result. As a result, a mathematical model based on determining an integral value indicator that aggregates an archival document's assessments across individual criteria is formulated. The proposed approach enables assessment criteria to be represented in a quantitative and comparable form and provides a mathematical basis for developing an algorithm for multi-criteria archival document value assessment.

Keywords: archival document, value assessment, assessment criteria, formalization, mathematical model.

KIRISH

Arxiv hujjatlarining qiymatini baholash uzoq muddatli va doimiy saqlashga ajratiladigan hujjatlarni aniqlashning muhim jarayonlaridan biridir. Zamonaviy arxiv amaliyotida baholash hujjat mazmuni bilan bir qatorda uning yaratilish konteksti, bajaradigan funksiyasi, axborot ahamiyati, huquqiy va ijtimoiy talablari kabi omillarni ham hisobga olishni talab qiladi. Raqamli hujjatlar hajmining ortib borishi esa katta miqdordagi axborotni belgilangan mezonlar asosida tizimli va izchil baholash zaruratini kuchaytirmoqda.

Arxiv hujjatining qiymati bir nechta o'zaro bog'liq xususiyatlar asosida shakllanadi. Baholash jarayonida hujjatning mazmuni, yaratilish konteksti, funksional ahamiyati, noyoblighi,

foydalanish imkoniyati va boshqa xususiyatlar e'tiborga olinishi mumkin. Bunda mezonlarning turli mazmunga ega bo'lishi, sifat va miqdor ko'rsatkichlari orqali ifodalanishi hamda ularning yakuniy bahoga ta'sir darajasining bir xil emasligi baholash jarayonini murakkablashtiradi. Zamonaviy tadqiqotlar ham arxiv hujjatlarini baholash murakkab qaror qabul qilish jarayoni ekanligini va qo'llaniladigan mezonlar bo'yicha universal yondashuv shakllanmaganligini ko'rsatadi.

Mazkur muammoni hal etish yo'llaridan biri baholash mezonlari va ko'rsatkichlarini matematik jihatdan formallashtirishdir. Bunda hujjatning baholash uchun ahamiyatli xususiyatlari matematik o'zgaruvchilar orqali ifodalanadi, turli shkalalardagi ko'rsatkichlar yagona o'lchov oralig'iga keltiriladi va mezonlarning nisbiy ahamiyati hisobga olinadi. Natijada sifat jihatdan tavsiflanadigan xususiyatlarni miqdoriy baholash va keyingi ko'p mezonli hisoblash jarayoniga kiritish imkoniyati yaratiladi.

Tadqiqotning maqsadi arxiv hujjatlari qiymatini baholash mezonlari va ko'rsatkichlarini matematik formallashtirish hamda ularni ko'p mezonli baholashda qo'llash uchun formal modelni shakllantirishdan iborat.

MATERIALLAR VA USULLAR

Tadqiqotda arxiv hujjatlari qiymatini baholash mezonlarini matematik shaklda ifodalash uchun tizimli tahlil, formalizatsiya, normallashtirish va ko'p mezonli baholash usullaridan foydalanildi. Baholanayotgan arxiv hujjati (D) bilan, uning qiymatini tavsiflovchi mezonlar to'plami esa (C) bilan belgilandi:

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\} \quad (1)$$

bu yerda c_i — i -baholash mezon, n — mezonlarning umumiy soni.

Har bir mezon bo'yicha hujjatga dastlabki a_i qiymat beriladi. Turli mezonlar turli baholash shkalalarida ifodalanishi mumkinligi sababli ularni o'zaro taqqoslash uchun yagona $[0;1]$ intervaliga keltirish talab etiladi. Qiymatning ortishi hujjat qiymatining oshishini ifodalovchi mezonlar uchun normallashtirish quyidagi formula asosida amalga oshiriladi:

$$x_i = \frac{a_i - a_i^{\min}}{a_i^{\max} - a_i^{\min}} \quad (2)$$

Bu yerda a_i — hujjatning (i)-mezon bo'yicha dastlabki bahosi; $a_i^{\min}$ va $a_i^{\max}$ — ushbu mezon uchun belgilangan minimal va maksimal qiymatlar; x_i — mezonning normallashtirilgan qiymati. Agar mezon qiymatining kamayishi hujjatning baholash nuqtayi nazaridan yuqoriroq natijasini ifodalasa, bunday teskari yo'nalishli mezon uchun normallashtirish quyidagicha amalga oshiriladi:

$$x_i = \frac{a_i^{\max} - a_i}{a_i^{\max} - a_i^{\min}} \quad (3)$$

Bunda a_i qiymati kamaygan sari normallashtirilgan x_i qiymati ortadi. Shunday qilib, to'g'ri va teskari yo'nalishli mezonlarni normallashtirishdan so'ng ularning barchasi yagona talqinga ega bo'ladi: x_i qiymatining 1 ga yaqinlashishi tegishli mezon bo'yicha bahoning yuqoriligini, 0 ga yaqinlashishi esa pastligini ifodalaydi. Natijada:

$$0 \leq x_i \leq 1 \quad (4)$$

Normallashtirishdan so'ng baholanayotgan arxiv hujjati barcha mezonlar bo'yicha sonli qiymatlardan tashkil topgan vektor orqali ifodalanadi:

$$X(D) = (x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (5)$$

Bu yerda $X(D)$ — D arxiv hujjatining formallashtirilgan baholash vektori. Vektorning har bir x_i elementi hujjatning tegishli mezon bo'yicha normallashtirilgan qiymatini ifodalaydi.

Baholash mezonlarini sonli ko'rinishga o'tkazish

Arxiv hujjatlarini baholashda barcha mezonlar dastlab sonli ko'rinishda ifodalanmasligi mumkin. Ayrim mezonlar miqdoriy qiymatga ega bo'lsa, boshqalari sifat, tartibli yoki mantiqiy belgilar orqali tavsiflanadi. Shu sababli mezonlarni matematik modelga kiritishdan oldin ularning qiymatlarini tegishli sonli shkala bilan ifodalash talab etiladi. Bunda formallashtirish usuli mezonning ma'lumot turiga qarab tanlanadi. Miqdoriy mezonlarda dastlabki qiymat bevosita son orqali ifodalanadi va (2)-formula asosida normallashtiriladi. Mantiqiy xususiyatga ega mezonlarda esa belgining mavjud yoki mavjud emasligiga mos ravishda 1 va 0 qiymatlaridan foydalanish mumkin:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{agar baholanayotgan xususiyat mavjud bo'lsa,} \\ 0, & \text{agar baholanayotgan xususiyat mavjud bo'lmasa.} \end{cases} \quad (6)$$

Sifat jihatdan ifodalanadigan mezonlarni formallashtirishda ularning holatlari tartibli sonli shkala yordamida aks ettirilishi mumkin. Masalan, mezonning namoyon bo'lish darajasi "past", "o'rta" va "yuqori" kabi tartibli qiymatlar bilan tavsiflansa, ularga oldindan belgilangan sonli qiymatlar mos qo'yiladi. Bunda sonli shkala va uning chegaralari baholash metodikasi hamda ekspert xulosalari asosida belgilanishi lozim.

1-jadval. Baholash ko'rsatkichlarini matematik formallashtirish usullari

Ko'rsatkich turi	Dastlabki ifodalanishi	Formallashtirish usuli	Natija
Miqdoriy	Sonli qiymat	Normallashtirish	$x_i \in [0;1]$
Mantiqiy	Ha/yo'q	1 yoki 0 qiymat berish	$x_i \in \{0;1\}$
Tartibli	Past/o'rta/yuqori	Tartibli sonli shkala	$x_i \in [0;1]$
Ekspert bahosi	Ball yoki lingvistik baho	Sonli shkalaga akslantirish va normallashtirish	$x_i \in [0;1]$

Shunday qilib, turli shaklda ifodalangan baholash ko'rsatkichlarini yagona $[0;1]$ oralikka keltirish natijasida ular (5)-formulada keltirilgan baholash vektori tarkibiga kiritilishi mumkin. Bu yondashuv miqdoriy va sifat xususiyatlarini yagona matematik model doirasida ifodalash hamda keyingi ko'p mezonli hisoblash jarayonida birgalikda foydalanish imkonini beradi.

Baholash mezonlarining hujjatning umumiy qiymatini aniqlashdagi ahamiyati bir xil bo'lmisligi mumkin. Shu sababli har bir mezonga w_i vazn koeffitsienti biriktiriladi. Vazn koeffitsientlari quyidagi shartlarni qanoatlantiradi:

$$W=(w_1, w_2, \dots, w_n), \quad w_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (7)$$

Bu yerda w_i — i -mezonning vazn koeffitsienti bo'lib, uning arxiv hujjati qiymatini baholashdagi nisbiy ahamiyatini ifodalaydi. Vazn koeffitsientlarining yig'indisi birga teng bo'lishi mezonlar ta'sirini yagona shkala doirasida ifodalash imkonini beradi.

Normallashtirilgan mezon qiymatlari va ularning vazn koeffitsientlari asosida arxiv hujjatining integral qiymat ko'rsatkichi quyidagicha aniqlanadi:

$$V(D) = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (8)$$

Bu yerda $V(D)$ — baholanayotgan D arxiv hujjatining integral qiymat ko'rsatkichi; w_i — i -mezonning vazn koeffitsienti; x_i — ushbu mezon bo'yicha normallashtirilgan baho; n — baholash mezonlarining umumiy soni. $V(D)$ ko'rsatkichi alohida mezonlar bo'yicha olingan baholarni ularning nisbiy ahamiyatini hisobga olgan holda yagona sonli qiymatga birlashtiradi. $x_i \in [0;1]$ va vaznlar yig'indisi birga teng bo'lgan holatda $V(D)$ qiymati ham $[0;1]$ oraliqda shakllanadi.

Shunday qilib, taklif etilgan matematik formalizatsiya arxiv hujjatining turli mezonlar bo'yicha xususiyatlarini yagona o'lchov shkalasiga keltirish va ularni umumlashtirilgan qiymat ko'rsatkichi orqali ifodalash imkonini beradi.

NATIJAR VA MUHOKAMA

Modelni amaliy qo'llashda mezonlar tarkibi baholanayotgan hujjatlarning turi, yaratilish konteksti va baholash maqsadiga muvofiq shakllantirilishi lozim. Arxiv hujjatining qiymati bir nechta xususiyatlarning o'zaro ta'siri asosida shakllanishi sababli modelda mezonlar soni qat'iy chegaralanmaydi. Bu turli turdagi arxiv hujjatlari uchun tegishli mezonlar tizimini shakllantirish imkonini beradi.

Mezonlarning yakuniy bahoga ta'sir darajasi ularning vazn koeffitsientlari orqali hisobga olinadi. (7)-formulada belgilangan shartlar vazn koeffitsientlarini yagona tizimda ifodalashga xizmat qiladi. Bunda vazn qiymatining yuqori bo'lishi tegishli mezonning umumiy baholashdagi nisbiy ahamiyati yuqoriroq ekanligini bildiradi.

Arxiv hujjatining umumlashtirilgan qiymati (8)-formula asosida integral ko'rsatkich orqali aniqlanadi. Ushbu ko'rsatkich normallashtirilgan mezon qiymatlarini ularning vazn koeffitsientlarini hisobga olgan holda yagona sonli bahoga birlashtiradi. Belgilangan shartlarda integral ko'rsatkich $[0;1]$ oraliqda shakllanadi. Uning 1 ga yaqinlashishi tanlangan mezonlar tizimi doirasida hujjatning umumlashtirilgan bahosi yuqoriroq, 0 ga yaqinlashishi esa pastroq ekanligini anglatadi.

Taklif etilgan modelning ishlash mexanizmini ko'rsatish maqsadida shartli arxiv hujjati uchun hisoblash misoli ko'rib chiqildi. Bunda $c_1, c_2, \dots, c_5$ shartli baholash mezonlarini ifodalaydi, ularning qiymatlari va vazn koeffitsientlari esa modelning hisoblash mexanizmini namoyish etish maqsadida berilgan bo'lib, yakuniy normativ qiymatlar sifatida talqin qilinmaydi.

2-jadval. Shartli arxiv hujjatini ko'p mezonli baholash natijalari

Baholash mezoni	Normallashtirilgan qiymat x_i	Vazn w_i	$w_i x_i$
c_1	0,80	0,25	0,200
c_2	0,70	0,20	0,140
c_3	0,90	0,25	0,225
c_4	0,60	0,15	0,090
c_5	0,80	0,15	0,120
Jami	-	1,00	0,775

(8)-formula asosida:

$$V(D)=0,25(0,80)+0,20(0,70)+0,25(0,90)+0,15(0,60)+0,15(0,80)=0,775.$$

Hisoblash natijasida shartli hujjat uchun integral qiymat ko'rsatkichi $V(D)=0,775$ ni tashkil etdi. Ushbu natija tanlangan mezonlar va vazn koeffitsientlari doirasida hujjatning umumlashtirilgan bahosini ifodalaydi. Mazkur qiymat modelning hisoblash mexanizmini namoyish etuvchi shartli natija hisoblanadi.

Integral bahoning shakllanishida alohida mezonlarning ta'siri ularning normallashtirilgan qiymati va vazn koeffitsientiga bog'liq. Keltirilgan hisoblash misolida integral natijaga eng katta hissa c_3 mezoniga to'g'ri kelib, uning w_3x_3 qiymati 0,225 ni tashkil etdi. Keyingi yuqori ulush c_1 mezonida kuzatilib, 0,200 ga teng bo'ldi. c_2 , c_5 va c_4 mezonlarining integral ko'rsatkichga qo'shgan hissasi mos ravishda 0,140, 0,120 va 0,090 ni tashkil etdi. Bu natijalar integral bahoning faqat mezon bo'yicha olingan qiymatga emas, balki ushbu mezonga berilgan vazn koeffitsientiga ham bog'liqligini ko'rsatadi.

Shu sababli modelni amaliy qo'llashda vazn koeffitsientlarini asosli aniqlash muhim ahamiyatga ega. Vazn koeffitsientlarining o'zgarishi $V(D)$ qiymatini o'zgartirishi mumkinligi sababli modelning vaznlarga sezgirligini tahlil qilish maqsadga muvofiq.

Taklif etilgan model bo'yicha arxiv hujjatini baholash jarayoni quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi: hujjat xususiyatlarini aniqlash → baholash mezonlarini shakllantirish → mezon qiymatlarini sonli ifodalash → normallashtirish → vazn koeffitsientlarini hisobga olish → integral qiymat ko'rsatkichini aniqlash.

Bunda integral ko'rsatkichni arxiv hujjatining mutlaq qiymati sifatida talqin qilish maqsadga muvofiq emas. Olingan natija tanlangan mezonlar, ularning dastlabki qiymatlari va belgilangan vazn koeffitsientlariga bog'liq bo'lgan ko'p mezonli baholash natijasini ifodalaydi. Shu sababli mezonlarni shakllantirish va ularning vazn koeffitsientlarini aniqlash modelning ishonchliligiga bevosita ta'sir qiluvchi muhim bosqichlar hisoblanadi.

Taklif etilgan modelning afzalligi uning mezonlarning qat'iy soniga bog'lanmaganligidir. Baholash vazifasiga qarab mezonlar tarkibini o'zgartirish mumkin, bunda modelning umumiy matematik tuzilishi saqlanib qoladi. Bu xususiyat modelni turli tarkib va xususiyatlarga ega arxiv hujjatlarini baholashga moslashtirish imkonini beradi.

Taklif etilgan modelning amaliy samaradorligini baholash uchun uni real arxiv hujjatlari to'plamida sinovdan o'tkazish, hisoblangan integral qiymatlarni ekspert baholari bilan taqqoslash hamda mezonlar va vazn koeffitsientlarining yakuniy natijaga ta'sirini eksperimental tahlil qilish zarur.

XULOSA

Tadqiqot natijasida arxiv hujjatlari qiymatini baholash mezonlarini matematik formallashtirishga asoslangan model taklif etildi. Modelda baholash mezonlari matematik o'zgaruvchilar orqali ifodalanib, turli shkalalardagi qiymatlarni $[0;1]$ oralikka normallashtirish va mezonlarning nisbiy ahamiyatini vazn koeffitsientlari orqali hisobga olish ko'zda tutildi. Normallashtirilgan mezon qiymatlarini baholash vektori ko'rinishida ifodalash arxiv hujjatining turli xususiyatlarini yagona matematik shaklda aks ettirish imkonini beradi.

Taklif etilgan model asosida alohida mezonlar bo'yicha baholarni umumlashtiruvchi integral qiymat ko'rsatkichini aniqlash mumkin. Modelning mezonlar soniga qat'iy bog'lanmaganligi uni baholash vazifasi va hujjatlarning xususiyatlariga muvofiq moslashtirish imkonini beradi. Mazkur yondashuv arxiv hujjatlari qiymatini ko'p mezonli baholash algoritmini ishlab chiqish uchun matematik asos sifatida xizmat qilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Henttonen, P., Packalén, S. Results of archival appraisal: a study of a Finnish City // Archival Science. — 2024. — Vol. 24, No. 1. — P. 21–39. — DOI: 10.1007/s10502-023-09426-6.

[2] Tallman, N., Work, L., Anderson, M., Denault, C., Dressler, V.E. Evolving Digital Preservation Appraisal Criteria and Selection // Preservation, Digital Technology & Culture. — 2026. — Vol. 55, No. 2. — P. 63–78. — DOI: 10.1515/pdtc-2025-0057.

[3] Thakkar, J.J. Multi-Criteria Decision Making. — Singapore: Springer, 2021. — DOI: 10.1007/978-981-33-4745-8.

[4] Krishnan, A.R. Past efforts in determining suitable normalization methods for multi-criteria decision-making: A short survey // Frontiers in Big Data. — 2022. — Vol. 5. — Art. 990699. — DOI: 10.3389/fdata.2022.990699.

[5] Ayan, B., Abacıoğlu, S., Basilio, M.P. A Comprehensive Review of the Novel Weighting Methods for Multi-Criteria Decision-Making // Information. — 2023. — Vol. 14, No. 5. — Art. 285. — DOI: 10.3390/info14050285.

[6] ISO/TR 21946:2018. Information and documentation — Appraisal for managing records. — Geneva: International Organization for Standardization, 2018.

[7] ISO 15489-1:2016. Information and documentation — Records management — Part 1: Concepts and principles. — Geneva: International Organization for Standardization, 2016.

[8] ISO 23081-1:2017. Information and documentation — Records management processes — Metadata for records — Part 1: Principles. — Geneva: International Organization for Standardization, 2017.

KO‘ZI OJIZ INSONLAR UCHUN CHUQUR O‘QITISH ALGORITMLARI ASOSIDA AQLLI BOSH KIYIM ISHLAB CHIQISH

Umarov Muhriddin Abduxalil o‘g‘li

Oriental universiteti, Samarqand, O‘zbekiston

e-mail: muhriddin.umarov.1992@gmail.com

Annotatsiya. So‘nggi yillarda Sun‘iy intellekt (SI) texnologiyalari yuqori darajada rivojlandi va turli sohalarida, jumladan, banklarda, elektron pochta boshqaruvida, tibbiyotda va boshqa ko‘plab sohalarida qo‘llanilmoqda. Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi ko‘rish qobiliyati zaif (ko‘r) insonlarga SI texnologiyalaridan foydalangan holda yordam berishdir. Ko‘rlik tabiiy hodisa, ammo ko‘r insonlarning dunyoni ko‘rish qobiliyatiga ega bo‘lgan insonlarga o‘xshash his qilishlariga to‘sqinlik qilmasligi zarur. Har xil to‘siqlar ularning rivojlanishiga to‘sqinlik qilmasligi uchun ular shunday aniqlik bilan yurishi yoki kundalik vazifalarni bajarishlari kerak. Odatda, ko‘r inson to‘siqlarni aylanib o‘tish uchun oq tayoqdan foydalanadi. Texnologik taraqqiyot aqlli bosh kiyimlarni ishlab chiqish imkoniyatini taqdim etadi, bu ko‘zi ojiz insonlarga potensial xavflarni oldindan bilishga yordam beradi. Ushbu maqolada ko‘r insonlar yo‘llarni, obyektlarni va QR kodlarni aniqlashda duch keladigan qiyinchiliklar tahlil qilindi va olib borilayotgan tadqiqotlar taqdim etildi.

Kalit so‘zlar: ko‘zi ojiz inson, sun‘iy intellekt, aqlli bosh kiyim, chuqur o‘qitish.

Аннотация. В последние годы технологии искусственного интеллекта (ИИ) значительно развились и применяются в различных сферах, включая банковскую деятельность, управление электронной почтой, медицину и многие другие области. Основной целью данного исследования является оказание помощи людям с нарушениями зрения и незрячим людям с использованием технологий искусственного интеллекта. Слепота является естественным состоянием, однако она не должна препятствовать незрячим людям воспринимать окружающий мир и взаимодействовать с ним подобно зрячим людям. Для обеспечения самостоятельности и безопасности они должны иметь возможность точно ориентироваться в пространстве и выполнять повседневные задачи, не позволяя различным препятствиям ограничивать их развитие и жизнедеятельность. Традиционно незрячие люди используют белую трость для обнаружения и обхода

препятствий. Развитие современных технологий создает возможности для разработки интеллектуальных головных устройств, которые могут помочь людям с нарушениями зрения заранее обнаруживать потенциальные опасности. В данной статье проанализированы трудности, с которыми сталкиваются незрячие люди при обнаружении путей, объектов и QR-кодов, а также представлены результаты проводимых исследований и современные разработки в данной области.

Ключевые слова: незрячий человек, искусственный интеллект, интеллектуальное головное устройство, глубокое обучение.

Abstract. In recent years, Artificial Intelligence (AI) technologies have advanced significantly and are being applied in various fields, including banking, email management, medicine, and many other areas. The main objective of this study is to assist visually impaired and blind people through the use of AI technologies. Blindness is a natural condition; however, it should not prevent blind people from experiencing and interacting with the world in ways similar to sighted individuals. They need to be able to navigate safely and perform everyday tasks accurately so that various obstacles do not hinder their development and independence. Traditionally, blind people use a white cane to detect and avoid obstacles. Technological advancements have created opportunities for developing smart headwear that can help visually impaired people identify potential hazards in advance. This paper analyzes the challenges faced by blind people in detecting paths, objects, and QR codes and presents current research and developments in this field.

Keywords: visually impaired person, artificial intelligence, smart headwear, deep learning.

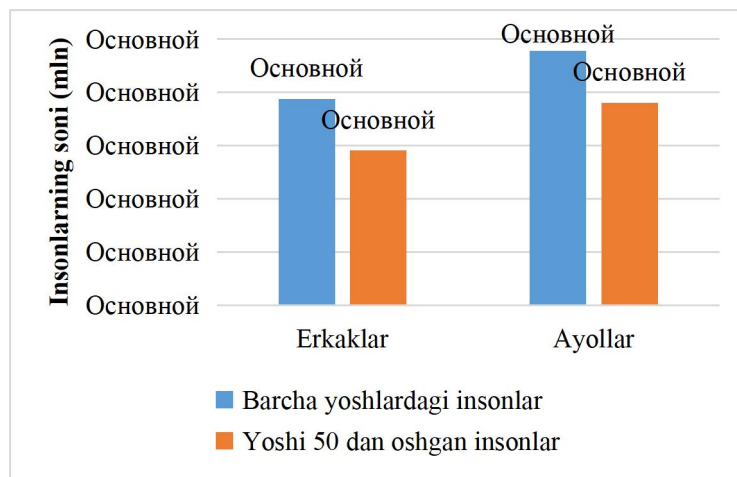
KIRISH

Texnologiyalar bizning ishlash, yashash va muloqot qilish uslubimizni o'zgartirdi. SI haqida to'liq tushunchaga ega bo'lmagan ko'rish qobiliyati zaif insonlar ko'plab veb-saytlarga kira olmaydi va mobil telefonlaridan foydalana olmaydi. Ko'pgina Internet buyumlari ko'rish qobiliyati zaif insonlar uchun mavjud emas [1]. SI hujjatlarni o'qiy oladi va sarlavhalar, paragraflar va ro'yxatlar kabi tizimli elementlarni tushuna oladi, shu bilan foydalanuvchilarga ovozli signallar yordamida hujjatlarni tezda boshqarish imkonini beradi. Shuningdek, u boshqa ilovalardagi fotosuratlarini ham taniy oladi [2].

Yigirma birinchi asrning eng e'tiborga molik yangiliklari orasida ko'zi ojizlar insonlar uchun o'zini bir joydan ikkinchi joyga ko'chirish va texnik vositalardan mustaqil foydalanish imkonini beruvchi o'zini o'zi boshqaradigan va avtomatik transport vositalari muhim ahamiyatga ega. Xavfsizlik nuqtai nazaridan, sun'iy intellektga to'liq ishonish mumkin emas, lekin u insonlarni qutqarish qobiliyatiga ega va to'qnashuvlar hamda to'siqlar oqibatlarini yumshatishga yordam beradi [3].

Foydali texnologiya jamiyat va insoniyatga foyda keltiradigan texnologiyadir. Ko'zi ojiz insonlar kundalik vazifalarni bajarishda, ayniqsa harakatchanlik haqida gap ketganda, qiyinchiliklarga duch kelishadi, chunki ularning yo'lida potensial xavfli to'siqlar bo'lishi mumkin. Odatda, ular yer yuzida harakat qilish va eng xavfsiz marshrutni topishga yordam berish uchun oq tayoqdan foydalanadilar. Oq tayoq foydali, ammo yaqin atrofdagi to'siqlarni, masalan, ko'cha to'siqlarini aniqlash qiyin. Texnologiya insoniyat hayoti uchun tobora zarur bo'lib borayotgan bugungi dunyoda oq tayoq ko'rlar uchun funksiyasini yaxshilash uchun aqlli bo'lishi mumkin.

Ko'rishning buzilishi butun dunyo bo'ylab ko'plab insonlarga ta'sir ko'rsatadigan muhim muammolar bo'lib, Irlandiya Ko'zi ojizlar Milliy Kengashi ma'lumotlariga ko'ra, 1-rasmda ko'rsatilganidek, millionlab ko'r insonlar normal turmush tarzini olib bora olmaydilar. Ko'rish qobiliyati zaif bemorlar jiddiy yordamga muhtoj. Ko'zi ojiz insonlar tanish ko'chalarda harakat qilishda qiynaladi va ular hayotni yaxshilaydigan texnologiyalarni talab qiladi. Ushbu tadqiqot ko'r insonlarga yo'lni kesib o'tishga va aqlli shaharlardagi narsalarni aniqlashga yordam berish uchun aqlli bosh kiyimlardan foydalanishni taklif qiladi.



1-rasm. Dunyodagi ko‘r bo‘lgan insonlar soni

Aqlli shaharlar ko‘r insonlarning hayotini o‘zgartirishi mumkin. Jamoat joylaridan foydalanish imkoniyati ko‘zi ojizlar uchun aqlli shaharlarning muhim xususiyatidir. Taklif etilayotgan aqlli bosh kiyim texnologiyasi nogironlar uchun qulay muhit yaratishga yordam beradi. Ovoz signallari bilan aqlli svetoforlar ko‘r insonlarga gavjum chorrahalarini kesib o‘tishga yordam beradi va ko‘r insonlar aqlli jamoat transporti tarmoqlari uchun real vaqt rejimida avtobus va poezdlar jadvali yordamida sayohatlarini rejalashtirishlari mumkin.

Olib borilgan tadqiqotlar tahlili. Ko‘rishni buzilishi bu ko‘zga ta’sir qiladigan anatomik deformatsiyalar, kasalliklar yoki yaralar natijasidir. Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti (JSST) ma’lumotlariga ko‘ra, nogironlik bu funktsiyaning yo‘qolishiga olib keladigan va bemor uni normal bajara olmaydigan disfunktsiyadir. Bu jismoniy, aqliy yoki ikkalasi ham bo‘lishi mumkin bo‘lgan cheklovdir. Biroq, tadqiqotchilar ko‘rish qobiliyati zaif insonlar kundalik hayotini samarali boshqarishi mumkinligini aniqladilar.

Ko‘rish qobiliyati zaif bemorlarga hayotda duch keladigan to‘siqlarni yengib o‘tishda yordam berish uchun sun’iy intellektga asoslangan yechimlarni qabul qilish bo‘yicha ko‘plab olimlar tomonidan bir nechta tadqiqotlar o‘tkazildi. SI odatda inson aqlini talab qiladigan funktsiyalarni bajara oladigan aqlli mashinalarni ishlab chiqish bilan shug‘ullanadigan kompyuter fanining katta sohasini ifodalaydi. Biroq, mashinali o‘qitish va chuqur o‘qitish evolyutsiyasi texnologiya sanoatining deyarli barcha sohalarida paradigma o‘zgarishiga olib keldi, shu bilan birga shifokorlar va bemorlarga bir vaqtning o‘zida yordam berdi. Aksariyat insonlar sun’iy intellektning konvetsiyasi va uning kundalik hayotimizni o‘zgartirish hamda osonlashtirish qobiliyati bilan yaxshi tanish emas. Nogironlar ko‘pincha qo‘rquv, rahm-shafqat, noqulaylik aybdorlik bilan munosabatda bo‘lishadi.

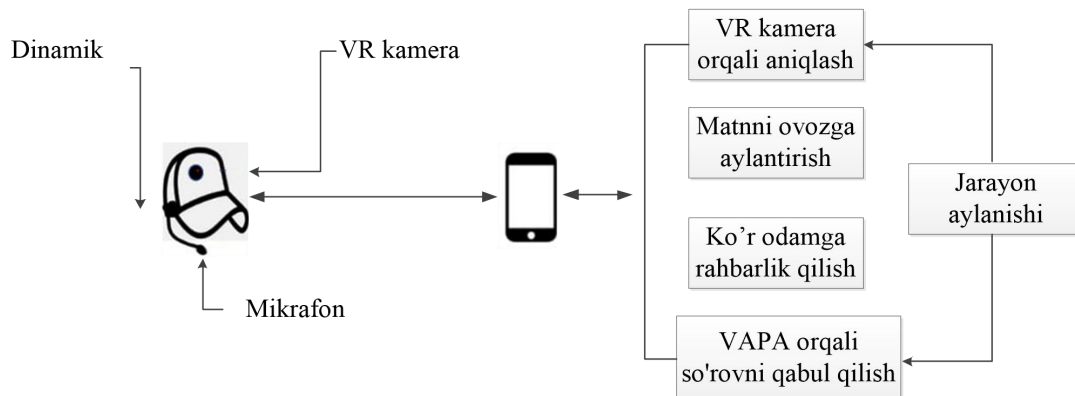
MATERIALLAR VA USULLAR

Ma’lumotlar to‘plami. Ushbu tadqiqot nogironlarga turli obyektlarni aniqlashga va real vaqt rejimida aqlli shaharlarning afzalliklaridan foydalanishga yordam berishga qaratilgan. Aqlli bosh kiyim VR texnologiyasini qo‘llab-quvvatlaydigan standart kamera, shuningdek, mikrofon va spiker bilan jihozlangan. Model Common Objects in Context (COCO) ma’lumotlar to‘plami bilan o‘qitildi va obyektlarni quyidagi uchta bosqichda aniqlash mumkin:

1. Kamera, mikrofon va spikerni ushbu funktsiya uchun maxsus ishlab chiqilgan ilovaga ulash; VR kamerasi yuqori darajadagi ishonchni ta’minlagan YOLO algoritmi yordamida real vaqt rejimida obyektlarni suratga olishga va ularni aniqlashga muvaffaq bo‘ldi.

2. Dasturiy ta’minot obyektlarni aniqladi va matnni tanib olish va aylantirish uchun Text-to-Speech (TTS) algoritmidan foydalandi. TTS algoritmlari yozma matnni sinchkovlik bilan o‘rganish, tasniflash va talqin qilish uchun tabiiy tilni qayta ishlash (NLP) usullarini qo‘llaydi, so‘ngra matnning eshitish orqali ifodasini yaratish uchun nutq sintezidan foydalanadi.

3. Ovoz bilan faollashtirilgan shaxsiy yordamchilar (VAPA) ko'zi o'z insonlarga muloqot jarayonida yo'l-yo'riq ko'rsatishi, ularni to'g'ri yo'nalishga yo'naltirish va qaror qabul qilishga yordam beradi, chunki ular oldida nima borligini aniqlashga harakat qiladi.



2-rasm. Taklif etilgan model

Jarayon. COCO ma'lumotlar to'plami turli xil obyektlarning 50 dan ortiq tasvirlarini o'z ichiga oladi. Quyidagi uchta sinf ko'rib chiqiladi:

- ✓ Yo'l harakati: Bu sinfda svetoforlar, yo'lni kesib o'tish belgilari va boshqalar kabi barcha yo'l harakati yo'riqnomalari mavjud.
- ✓ Obyektlar: Bu sinfda stol, stullar va boshqa turli xil obyektlar mavjud.
- ✓ Hayvonlar: Bu sinfda it, mushuk va boshqa hayvonlarning har xil turlari mavjud.

Ushbu turkumlash jarayoni COCO ma'lumotlar bazasida ko'pchilik obyektlarni taqsimlash standartiga asoslanadi. CNNlar bir nechta qatlamlarga ega, shu jumladan konvolyutsion qatlamlar, birlashtiruvchi qatlamlar va ularning asosiy tuzilishi sifatida to'liq bog'langan qatlamlar.

Tarmoq qirralar, burchaklar va teksturalar kabi xususiyatlarni ajratib olish uchun konvolyutsion qatlamdagi kirish tasviriga filtrlar to'plamini qo'llaydi. Keyin birlashtiruvchi qatlam o'lchamlarini kamaytirish uchun xususiyat xaritalarini namuna oladi. To'liq bog'langan qatlamda tarmoq ushbu xususiyatlardan foydalangan holda tasvirni bir yoki bir nechta toifalarga ajratadi. TensorFlow va Keras kabi chuqur o'rganish tizimlarida CNNlarni amalga oshirishda ko'plab kutubxonalar mavjud.

CNNni tenglama yordamida ifodalash mumkin (1):

$$= (* +) \quad (1)$$

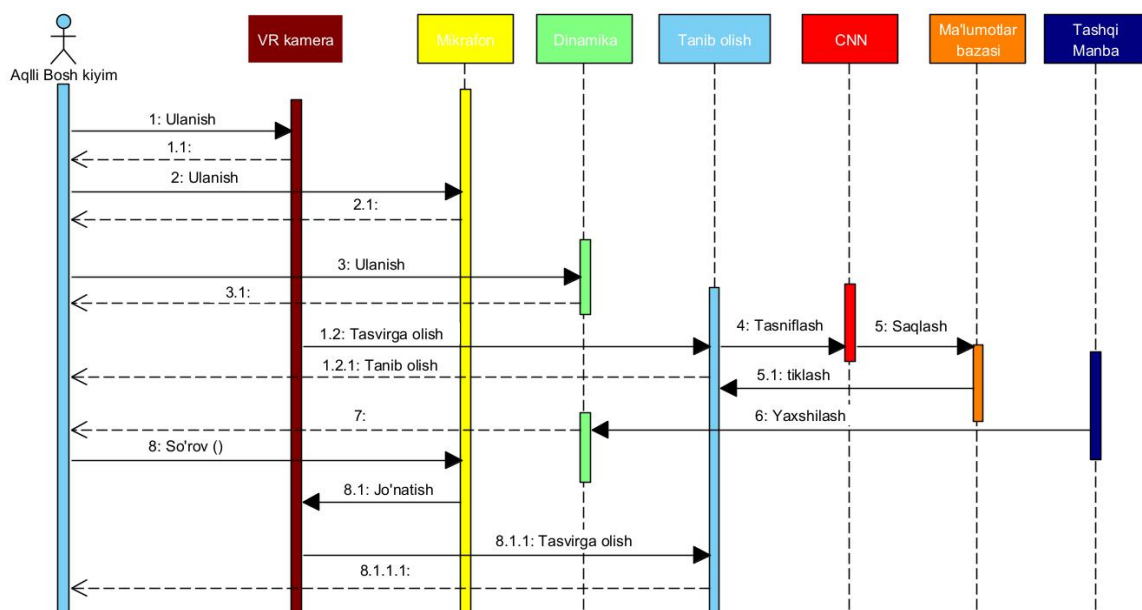
bu yerda y chiqish, x kirish, W vazn matritsasi, b egilish vektori va f faollashtirish funksiyasi. $*$ operatori W va x o'rtasidagi konvolyutsiyani ifodalaydi.

Oddiy CNN arxitekturasida bu tenglama turli darajadagi mavhumlikni o'rganish uchun turli vazn matritsalarini va moyilliklari bilan bir nechta marta qo'llaniladi. Yakuniy chiqish qatlami bashorat yoki tasnifni yaratmaguncha, bitta qatlamning chiqishi keyingi qatlam uchun kirish bo'lib xizmat qiladi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Tajribalar Python bilan uchta sinfga asoslangan turli obyektlarning integratsiyalashgan ma'lumotlar to'plamidan foydalangan holda o'tkazildi:

- Yo'l harakati;
- Obyektlar;
- Hayvonlar.



3-rasm. Aqlli bosh kiyimning jarayonlari ketma-ketligi diagrammasi

3-rasmda, obyektlarni tanib olish uchun VR kamerasi YOLO algoritmi yordamida tasvirdan obyektlarni tanib uchun foydalanilgan. Mikrofon va kamerani o'z ichiga olgan VAPA qurilmasi ko'zi ojiz insonlarning so'rovlari bilan ovoyni aniqlash va TTS algoritmidan foydalanib, ularga o'z vazifalarini bajarishda yordam berish uchun ishlatiladi. Virtual reality (VR) kameralari texnologik dunyoda mashhurlik kasb etmoqda. Ular turli maqsadlarda, jumladan, o'yin, turizm va ta'lim uchun ishlatilishi mumkin bo'lgan 360 darajali yozuvlar va tasvirlarni olishlari mumkin.

1-jadval.

Turli obyektlarni aniqlash natijalari

№	Tasvir natijasi	Sinf	Tasvir natijasi	Sinf
1.		Hayvonlar		Yo'l harakati
2.		Yo'l harakati		Obyektlar

Ushbu algoritmlar turli obyektlarning shakli, o'lchami, rangi va tuzilishini aniqlash uchun to'plangan tasvir va videolarni tahlil qiladi. Ularning aniqligini oshirish uchun algoritmlar obyektlar paydo bo'ladigan konteksni ham hisobga oladi. ushbu tadqiqotda YOLO algoritmi nogironlarni normal hayotlarida baholash uchun qo'llanildi.

VR kamerasi 1-jadvalda ko'rsatilganidek, yuqori ishonch bilan obyektни aniqlaganda, obyekt qanday ko'rinishda bo'lishi ehtimoli yuqori. Ushbu yuqori darajadagi ishonch foydalanuvchilarga aniqlangan obyekt bilan turli yo'llar bilan o'zaro aloqa qilish imkonini beradi.

Agar VR kamerasi xonadagi stulni aniqlasa, masalan, foydalanuvchilar unga o'tirish yoki uni harakatlantirish orqali u bilan muloqot qilishlari mumkin.

XULOSA

Ushbu maqola ko'rish qobiliyati zaif insonlar aqlli shahar hududlarini samarali bosib o'tishlari mumkin bo'lgan vositalarni tushunishimizni kuchaytirishga qaratilgan. Obyektni tanib olish uchun tavsiya etilgan metodologiyani samaradorligini tasdiqladi, bu nogironligi bo'lgan insonlarga kundalik faoliyatini tabiiy va uzluksiz tarzda amalga oshirishga yordam beradi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, VAPA uskunasi foydalangan holda CNN va YOLO kombinatsiyasi obyektlarni tanib, tez va ishonchli natijalarni taqdim etadi. Bu insonlarning o'zaro ta'siri sohasida SI dan foydalanishni kengaytirishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] The Alan Turing Institute. (2019). AI and inclusion.

[2] M. R. Morris, A. Zolyomi, C. Yao, S. Bahram, J. P. Bigham, and S. K. Kane, "With most of it being pictures now, I rarely use it: Understanding Twitter's evolving accessibility to blind users," in Proc. the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, San Jose California, USA, 2016.

[3] World Health Organization. (2015). Visual impairment and blindness. [Online].

TA'LIM TIZIMLARIDA NUTQ SINTEZLASH UCHUN MATNNI NORMALIZATSIYA QILISH

Umarov Muhridin Abduxalil o'g'li¹, Saidkulov Elyor Abdullayevich², Umarov Xusniddin Abduxalil o'g'li³

¹Oriental universiteti, Samarqand, O'zbekiston

²Toshkent kimyo xalqaro universiteti samarqand filiali, Samarqand, O'zbekiston

³Vatan universiteti, Toshkent, O'zbekiston

e-mail: muhridin.umarov.1992@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada o'zbek tilidagi nutq sintezlash (Text-to-Speech, TTS) tizimlari uchun matnni normalizatsiya qilish modulini loyihalash masalasi ko'rib chiqiladi. Matnni normalizatsiya qilish - raqamlar, qisqartmalar, sanalar, pul birliklari va boshqa nostandart so'zlarni (Non-Standard Words, NSW) ularning to'liq talaffuz shakliga aylantirish jarayoni bo'lib, sifatli va tabiiy ovozli sintezni ta'minlashda hal qiluvchi bosqichlardan biri hisoblanadi. Tadqiqot davomida o'zbek tilining morfologik xususiyatlarini hisobga oluvchi qoidaviy (rule-based) yondashuvga asoslangan normalizatsiya moduli ishlab chiqildi. Modul matnni tokenlashtirish, nostandart so'zlarni aniqlash va tasniflash, hamda ularni chekli holatli transduktorlar (Finite-State Transducer, FST) yordamida talaffuz shakliga aylantirish bosqichlaridan iborat. Tadqiqot uchun 5000 dan ortiq jumladan iborat maxsus test korpusi tuzildi, unda raqamlar, sanalar, vaqt, pul birliklari, o'lchov birliklari va qisqartmalar mavjud matn namunalari jamlangan. Tajriba natijalari ishlab chiqilgan modulning normalizatsiya aniqligi 96,4% ni tashkil etganini ko'rsatdi, bu esa mavjud oddiy qoidaviy tizimlarga nisbatan sezilarli yaxshilanishdir. Olingan natijalar o'zbek tilidagi Ta'lim tizimlarida tizimlarining TTS sifatini oshirishda taklif etilgan modulning samaradorligini tasdiqlaydi. Kelgusi tadqiqotlar neyron tarmoqlarga asoslangan gibrid yondashuvlarni qo'llashga qaratiladi.

Kalit so'zlar: ta'lim tizimlari, nutq sintezi, matnni normalizatsiya qilish, nostandart so'zlar, chekli holatli transduktor, tabiiy tilni qayta ishlash, o'zbek tili.

Аннотация. В статье рассматривается задача проектирования модуля нормализации текста для систем синтеза речи (Text-to-Speech, TTS) на узбекском языке. Нормализация текста - процесс преобразования чисел, сокращений, дат, денежных сумм и

других нестандартных слов (Non-Standard Words, NSW) в их полную произносимую форму, являющийся одним из ключевых этапов обеспечения качественного и естественного звучания синтезированной речи. В ходе исследования разработан модуль нормализации, основанный на правилном (rule-based) подходе с учётом морфологических особенностей узбекского языка. Модуль включает этапы токенизации текста, обнаружения и классификации нестандартных слов, а также их преобразования в произносимую форму с помощью конечных автоматов-преобразователей (Finite-State Transducer, FST). Для исследования был составлен специальный тестовый корпус из более чем 5000 предложений, содержащий примеры с числами, датами, временем, денежными суммами, единицами измерения и сокращениями. Результаты эксперимента показали, что точность нормализации разработанного модуля составила 96,4%, что является значительным улучшением по сравнению с существующими простыми правилами системами. Полученные результаты подтверждают эффективность предложенного модуля в повышении качества синтеза речи в системах обучения узбекскому языку. Дальнейшие исследования будут направлены на применение гибридных подходов на основе нейронных сетей.

Ключевые слова: системы образования, синтез речи, нормализация текста, нестандартные слова, конечный автомат-преобразователь, обработка естественного языка, узбекский язык.

Abstract. This article addresses the design of a text normalization module for Uzbek-language Text-to-Speech (TTS) systems. Text normalization is the process of converting numbers, abbreviations, dates, currency amounts, and other non-standard words (NSWs) into their fully spelled-out, pronounceable form, and represents a decisive stage in achieving high-quality, natural-sounding synthesized speech. In this study, a normalization module based on a rule-based approach that accounts for the morphological features of the Uzbek language was developed. The module consists of text tokenization, detection and classification of non-standard words, and their conversion into pronounceable form using finite-state transducers (FSTs). A dedicated test corpus of more than 5,000 sentences was compiled, containing text samples with numbers, dates, times, currency amounts, units of measurement, and abbreviations. Experimental results showed that the developed module achieved a normalization accuracy of 96.4%, a substantial improvement over existing simple rule-based systems. The results obtained confirm the effectiveness of the proposed module in improving the quality of TTS in Uzbek language educational systems. Future work will focus on applying hybrid approaches based on neural networks.

Keywords: education systems, speech synthesis, text normalization, non-standard words, finite-state transducer, natural language processing, Uzbek language.

KIRISH

Zamonaviy nutq sintezlash (Text-to-Speech, TTS) tizimlari inson-kompyuter o'zaro aloqasining ajralmas qismiga aylanib bormoqda: ular ovozi yordamchilarda, navigatsiya tizimlarida, ko'zi ojiz foydalanuvchilar uchun ekran o'quvchilarida, elektron kitob va yangiliklarni ovozlashtirishda keng qo'llaniladi. Har qanday TTS tizimining sifati, birinchi navbatda, kirish matnining qanchalik to'g'ri va tabiiy tarzda talaffuz shakliga o'girilishiga bog'liq. Matnda raqamlar ("125"), sanalar ("15.03.2026"), vaqt ("14:30"), pul birliklari ("250 000 so'm"), o'lchov birliklari ("12 kg") va qisqartmalar ("TIU", "va h.k.") kabi nostandart so'zlar (Non-Standard Words, NSW) mavjud bo'lib, ular lug'atda alohida yozilmagani va oddiy harf-tovush qoidalari bilan o'qilmagani sababli sintez tizimi uchun alohida qiyinchilik tug'diradi.

Matnni normalizatsiya qilish - aynan shu turdagi nostandart so'zlarni ularning to'liq, tabiiy talaffuz shakliga aylantirish jarayoni bo'lib, TTS quvurining birinchi va eng muhim bosqichlaridan biri hisoblanadi. Ingliz, rus va boshqa yirik tillar uchun bu yo'nalishda keng qamrovli tadqiqotlar olib borilgan va yetuk dasturiy vositalar yaratilgan bo'lsa-da, o'zbek tili o'zining boy morfologiyasi (kelishik, egalik va son qo'shimchalari), o'ziga xos raqam-so'z mosligi hamda standartlashtirilgan

fonetik va matn korpuslarining yetishmasligi tufayli bu borada nisbatan kam resursli til (low-resource language) hisoblanadi.

Ushbu maqolaning maqsadi - o'zbek tilidagi TTS tizimlari uchun raqamlar, sanalar, vaqt, pul birliklari, o'lchov birliklari va qisqartmalarni qamrab oluvchi qoidaviy matn normalizatsiyasi modulini loyihalash, uni amalga oshirish hamda tajriba natijalari asosida uning samaradorligini baholashdan iborat. Tadqiqotning ilmiy ahamiyati shundaki, u o'zbek tili morfologiyasiga moslashtirilgan NSW taksonomiyasini taklif etadi va amaliy ahamiyati natijada olingan modulni istalgan o'zbek tilidagi TTS tizimiga integratsiya qilish mumkinligidadir.

MATERIALLAR VA USULLAR

Taklif etilayotgan normalizatsiya moduli to'rt bosqichli arxitekturaga ega: (1) matnni tokenlashtirish, (2) nostandart so'zlarni aniqlash, (3) ularni sinflarga ajratish (klassifikatsiya) va (4) har bir sinf uchun mos qoidalar asosida talaffuz shakliga kengaytirish (expansion). Ushbu arxitektura Sproat va boshqalar tomonidan taklif etilgan klassik NSW normalizatsiya sxemasining o'zbek tili xususiyatlariga moslashtirilgan ko'rinishidir.

NSW toifalari o'zbek tili matn korpusi tahlili asosida quyidagi yettita sinfga ajratildi: sanoq va tartib sonlari ("12" → "o'n ikki"), sanalar ("01.09.2026" → "birinchi sentyabr, ikki ming yigirma oltinchi yil"), vaqt ("09:15" → "to'qqiz dan o'n besh daqiqa"), pul birliklari ("50 000 so'm" → "ellik ming so'm"), o'lchov birliklari ("3 kg" → "uch kilogramm"), qisqartma va abbreviaturalar ("TIU" → "t-i-u") hamda maxsus belgilar ("% ", "& " va h.k.).

Har bir sinf uchun kengaytirish qoidalari chekli holatli transduktorlar (Finite-State Transducer, FST) shaklida formallashtirildi, chunki FST orqali leksik almashtirish va morfologik moslashtirishni bir vaqtning o'zida, past hisoblash xarajati bilan amalga oshirish mumkin. Sonlarni so'zga aylantirish qoidasi rekursiv tarzda quyidagi umumlashtirilgan ifoda orqali ta'riflandi:

$$N(x) = f(x \text{ div } 10^k) \oplus f(x \text{ mod } 10^k) \quad (1)$$

bu yerda $N(x)$ - x sonining so'z shakli, f - raqam guruhini so'zga o'giruvchi funksiya, $\oplus$ - mos kelishik/egalik qo'shimchalarini hisobga olgan holda ikki bo'lakni birlashtirish operatori. Bunday rekursiv yondashuv ixtiyoriy uzunlikdagi sonlarni, jumladan o'zbek tiliga xos guruhlash (ming, million, milliard) qoidalarini to'g'ri qo'llash imkonini beradi. Modul dasturiy jihatdan uch qatlamli quvur (pipeline) sifatida amalga oshirildi. Birinchi qatlam - tokenizator - kirish matnini gaplarga, so'ngra so'z va so'z-bo'lmagan belgilar ketma-ketligiga ajratadi. Tokenlashtirish bosqichida oddiy bo'shliq bo'yicha bo'lish yetarli emas, chunki o'zbek tilidagi raqam-birlik birikmalari ("12kg", "50%"), sana formatlari ("01.09.2026") va tirnoq/qavs ichidagi qisqartmalar ko'pincha bitta "so'z" sifatida yozilib, ichida bir nechta NSW elementini birlashtiradi. Shu sababli tokenizatorida muntazam ifodalar (regular expressions) asosida qurilgan qoidalar to'plami qo'llanildi, unda har bir qoida ma'lum bir belgi sinfiga (raqam, sana ajratkichi, valyuta belgisi, foiz belgisi va h.k.) mos keladi va tokenlarni tegishli chegaralar bo'yicha ajratadi.

Ikkinchi qatlam - aniqlash va tasniflash (detection & classification) moduli - har bir tokenni "oddiy so'z" yoki muayyan NSW sinfiga tegishli deb belgilaydi. Bu bosqichda ustuvorlik tartibiga ega qoidalar zanjiri (rule chain) qo'llanildi: avval eng spetsifik naqshlar (masalan, to'liq sana formati) tekshiriladi, so'ng umumiyroq naqshlar (oddiy ko'p xonali son) ko'rib chiqiladi. Bunday tartib naqshlar bir-biriga mos kelib qolgan holatlarda (masalan, "2026" soni ham yil, ham oddiy sanoq son sifatida talqin qilinishi mumkin) noaniqlikni kamaytiradi va kontekstdagi qo'shni tokenlar (masalan, oldida "-yil" so'zi yoki nuqta bilan ajratilgan kun-oy-yil formati borligi) yordamida to'g'ri sinf tanlanishini ta'minlaydi.

Uchinchi qatlam - kengaytirish (expansion) moduli - aniqlangan NSWni to'liq talaffuz shakliga aylantiradi va bu jarayonda o'zbek tilining agglyutinativ morfologiyasini hisobga oladi. Har bir sonli qiymat avval lug'aviy negizlarga ("bir", "yigirma", "yuz", "ming" va h.k.) parchalanadi, so'ngra kerakli o'rinlarda kelishik ("ni", "-da", yoki "-dan"), egalik yoki tartib son

(“-inchi”) qo‘shimchalari FST holatlari orqali qo‘shiladi. Masalan, “3-sinf” ifodasi “uchinchi sinf” shakliga, “10 kg dan” esa “o‘n kilogrammdan” shakliga aylantiriladi. Qo‘shimchalarning tovush uyg‘unligi (masalan, “-ga”/“-ka”/“-qa” variantlari) alohida fonologik qoidalar jadvali orqali boshqariladi, bu esa natija matnining tabiiyligini ta'minlaydi. Qisqartma va abbreviaturalar uchun avtomatik qoidalar yetarli bo‘lmagani sababli, tizimga alohida istisnolar lug‘ati (exception dictionary) qo‘shildi. Ushbu lug‘at 400 dan ortiq keng tarqalgan o‘zbekcha va xalqaro qisqartmani (“TIU”, “O‘zMU”, “BMT”, “kg”, “va h.k.”) hamda ularning tayyor talaffuz shaklini o‘z ichiga oladi. Lug‘atda topilmagan yangi qisqartmalar uchun tizim zaxira strategiyasi (fallback strategy) sifatida harflab o‘qish (letter-by-letter spelling) qoidasini qo‘llaydi. Bu yondashuv, garchi ideal bo‘lmasa-da, tizimning notanish kirish ma'lumotlariga nisbatan barqarorligini ta'minlaydi va tizim ishlamay qolishining oldini oladi.

Modul Python dasturlash tilida amalga oshirildi; muntazam ifodalar standart `re` kutubxonasi yordamida, FST asosidagi kengaytirish qoidalari esa `pynini` kutubxonasi orqali qurilgan holatlar grafigi ko‘rinishida ifodalandi. Bunday arxitektura tanlovi ikkita afzallikni beradi: birinchidan, qoidalar deklarativ tarzda, dasturning asosiy mantiqidan ajratilgan holda yozilgani uchun yangi NSW sinflarini yoki istisnolarni qo‘shish tizimning boshqa qismlariga ta'sir qilmaydi; ikkinchidan, FSTlarning kompilyatsiya qilingan holati ishlash vaqtida yuqori tezlikni ta'minlaydi, bu esa modulni real vaqt (real-time) TTS quvurlariga integratsiya qilish imkonini beradi.

Modulni sinash uchun 5000 dan ortiq jumladan iborat maxsus test korpusi qo‘lda tuzildi; korpus rasmiy hujjatlar, yangilik matnlari va o‘quv adabiyotlaridan olingan jummalarni o‘z ichiga oladi va yuqorida sanab o‘tilgan yettita NSW sinfining barchasini muvozanatli tarzda qamrab oladi. Korpusni yig‘ish jarayonida har bir manba turi (rasmiy hujjat, yangilik, o‘quv matni) taxminan teng nisbatda olindi, bu esa modulning turli uslub va janrdagi matnlarga nisbatan umumlashtirish qobiliyatini baholash imkonini berdi. Har bir jumlaning to‘g‘ri (etalon) talaffuz shakli ikki mustaqil lingvist tomonidan qo‘lda belgilandi va kelishmovchilik yuzaga kelgan holatlar uchinchi mutaxassis ishtirokida hal qilindi, bu esa etalon ma'lumotlar sifatini oshirdi. Baholash mezonini sifatida so‘z darajasidagi normalizatsiya aniqligi (word-level normalization accuracy) - to‘g‘ri kengaytirilgan NSW sonining ularning umumiy soniga nisbati - qo‘llanildi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Ishlab chiqilgan modulning test korpusidagi umumiy normalizatsiya aniqligi 96,4% ni tashkil etdi. NSW sinflari bo‘yicha taqsimlangan natijalar 1-jadvalda keltirilgan.

NSW sinfi	Test namunalari soni	To‘g‘ri normalizatsiya	Aniqlik, %
Sanoq/tartib sonlari	1240	1224	98,7
Sanalar	780	745	95,5
Vaqt ifodalari	560	534	95,4
Pul birliklari	620	607	97,9
O‘lchov birliklari	540	512	94,8
Qisqartma/abbreviaturalar	690	630	91,3
Maxsus belgilar	570	545	95,6
Umumiy	5000	4797	96,4

1-jadval natijalaridan ko‘rinib turibdiki, sanoq sonlari va pul birliklari uchun aniqlik eng yuqori (mos ravishda 98,7% va 97,9%) bo‘lib, bu qoidalarining nisbatan formal va bir xilligi bilan izohlanadi. Eng past aniqlik qisqartma va abbreviaturalar sinfida (91,3%) qayd etildi - bunga sabab ko‘plab qisqartmalarning bir nechta talaffuz varianti mavjudligi va lug‘atda barcha yangi abbreviaturalarni oldindan hisobga olib bo‘lmasligidir. Xatolarning katta qismi kontekstga bog‘liq omonimik holatlarda (masalan, “1-son” ifodasining “birinchi son” yoki “bir raqam” sifatida talqin qilinishi) yuzaga keldi, bu esa sof qoidaviy yondashuvning tabiiy chegarasini ko‘rsatadi.

Olingan natijalar oldingi, faqat asosiy sonlarni qamrab oluvchi oddiy qoidaviy tizimlar bilan solishtirilganda sezilarli yaxshilanishni namoyish etdi: bunday tizimlarning o‘rtacha aniqligi taxminan 78–82% atrofida bo‘lgan. Demak, taklif etilgan yettita sinfli taksonomiya va FST asosidagi kengaytirish mexanizmi o‘zbek tilidagi TTS tizimlari uchun sezilarli amaliy foyda beradi.

XULOSA

Ushbu maqolada o‘zbek tilidagi nutq sintezlash tizimlari uchun matnni normalizatsiya qilish modulini loyihalash masalasi ko‘rib chiqildi. O‘zbek tili morfologiyasiga moslashtirilgan yettita NSW sinfidan iborat taksonomiya ishlab chiqildi va har bir sinf uchun chekli holatli transduktorlarga asoslangan kengaytirish qoidalari yaratildi. 5000 dan ortiq jumlati test korpusida o‘tkazilgan tajribalar modulning 96,4% umumiy aniqlikka erishganini ko‘rsatdi, bu mavjud oddiy qoidaviy yechimlarga nisbatan sezilarli yutuqdir. Kelgusi tadqiqotlar quyidagi yo‘nalishlarda davom ettirilishi rejalashtirilgan: (1) qisqartma va abbreviaturalarni aniqlashda kontekstni hisobga oluvchi neyron tarmoqqa asoslangan tasniflagichlarni joriy etish; (2) qoidaviy va neyron yondashuvlarni birlashtiruvchi gibrid arxitekturani ishlab chiqish; (3) yaratilgan test korpusini kengaytirish va uni ochiq manba sifatida ilmiy hamjamiyatga taqdim etish. Ushbu yo‘nalishdagi izlanishlar o‘zbek tilidagi TTS tizimlarining sifatini yanada oshirishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Sproat, R., Black, A.W., Chen, S., Kumar, S., Ostendorf, M., Richards, C. Normalization of non-standard words // Computer Speech and Language. - 2001. - Vol. 15, № 3. - P. 287–333.

[2] Taylor, P. Text-to-Speech Synthesis. - Cambridge: Cambridge University Press, 2009. - 626 p.

[3] Mohri, M. Finite-State Transducers in Language and Speech Processing // Computational Linguistics. - 1997. - Vol. 23, № 2. - P. 269–311.

[4] van Esch, D., Sproat, R. An expanded taxonomy of semiotic classes for text normalization // Proceedings of Interspeech 2017. - 2017. - P. 4016–4020.

[5] Hamroyeva, Sh.M., Maxmudjonova, G.U. Kam resursli tillarda G2P model tayyorlashda fonetik korpuslarning ahamiyati: o‘zbek tili misolida // “Kompyuter lingvistikasi: muammolar, yechim, istiqbollar” V xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari. - Toshkent, 2025. - Jild 1, № 01. - B. 44–49.

АНАЛИЗ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ВАЛКОВОМ МОДУЛЕ

Хуррамов Шавкат Рахматуллаевич¹, Исмадияров Дониёр Уктамович²

¹ Ташкентский архитектурно-строительный университет, ул. Янги шаҳар 9, г.Ташкент, 100194, Узбекистан

² Ташкентский университет информационных технологий, ул.Амира Темура 108, г.Ташент, 100200, Узбекистан

***Annotatsiya.** Kontakt egri chiziqlari shaklining matematik modellari valli modulda kontakli o'zaro ta'sir masalalarini yechishda kontakt kuchlanishlari taqsimot epyuralarinin matematik ifodalashni va valli mashinlar energiyaviy kuch parametrlarnin boshqarish imkoniyatini ta'minlovchi asosiy vosita hisoblanadi. Kontakt egri chiziqlari shaklining matematik modellari val*

o'ramasining siqilish va tiklanishdagi deformatsiya tezliklarining ishlov berilayotgan material mos deformatsiya tezligiga nisbatining funksiyasi sifatida ishlab chiqildi. Vallar kontakt egri chiziqlarining matematik modellari tajriba tadqiqotlarida qo'llaniladigan shtamplarga bog'liq bo'lmasligi aniqlandi. Vallar kontakt egri chiziqlarining matematik modellari ko'proq vallar o'ramalari va ishlov berilayotgan material deformatsiya parametrlariga bog'liq bo'lishi va ular orasida deformatsiya tezliklari nisbatini aniqlovchi parametr bu modellarga eng ko'p ta'sir qilishligi ko'rsatilgan.

Kalit so'zlar: valli modul, ishlov berilayotgan material, vallar o'ramalari, kontaktli o'zaro ta'sir, kontakt egri chiziqlari, kontakt egri chiziqlari shakli modellari

Аннотация. Математические модели формы кривых контакта являются ключевым инструментом в решении задач контактного взаимодействия в валковом модуле, обеспечивая математическое описание эпюры распределения контактных напряжений и возможность управления энергосиловых параметров валковых машин. Разработаны математические модели, где форма кривой контакта описывается как функция отношения скоростей деформации сжатия и восстановлению покрытия вала к соответствующей деформации обрабатываемого материала. Выявлено, что математические модели формы кривых контакта валков не зависят от вида штампов, использованных в экспериментальных исследованиях. Показано, что математические модели формы кривых контакта валков зависят преимущественно из деформационных параметров покрытия валков и обрабатываемого материала, среди которых наиболее влияние имеет параметр, определяющий соотношение скоростей их деформации.

Ключевые слова: валковой модуль, обрабатываемый материал, покрытия валков, контактное взаимодействие, кривые контакта, модели формы кривых контакта.

Abstract. Mathematical models of contact curve shapes are essential for addressing issues related to contact interaction in roll modules. These models provide a mathematical framework for analyzing contact stress distribution diagrams and enable the control of energy and force parameters in roller machines. Mathematical models that describe the shape of the contact curve as a function of the ratio of compression and recovery deformation rates of the roller coating relative to the corresponding deformation of the processed material were developed. Our findings indicate that the mathematical models of roll contact curve shapes are independent of the types of dies used in experimental studies. It was shown that these models primarily depend on the deformation parameters of both the roller coating and the processed material, with the ratio of their deformation rates being the most significant factor.

Keywords: roll module, processed material, roller coating, contact interaction, contact curves, contact curve shape model.

1 ВВЕДЕНИЕ

Моделирование формы кривых контакта с эластичными валками (валками с эластичным покрытием) представляет собой достаточно сложную задачу, так как оба контактирующие тела деформируются одновременно. В связи с этим в инженерных расчетах контактных напряжений форму кривой контакта часто принимают за простую геометрическую фигуру: дуги окружности, эллипса и параболу. Также при моделировании эпюры распределения контактных напряжений используют простые механические модели, в которых одного из контактирующих тел (или обрабатываемый материал, или покрытие вала) считают недеформируемым [1].

В исследованиях [2-4] отмечается, что точная форма кривых контакта в двухвалковых модулях с эластичными покрытиями является искомым результатом, зависящим от законов деформирования контактирующих тел.

Деформирования контактирующих тел характеризуются кривыми зависимостей «напряжения - деформация», полученные на основе экспериментальных исследований с использованием «штампов». В экспериментальных исследованиях деформации материалов используют в основном прямоугольные и цилиндрические штампы. В прямоугольном штампе напряжения на образец материала действует по вертикальному направлению и соответственно деформация образца происходит по направлению вертикально к ее оси. В цилиндрическом штампе напряжения на образец материала действует по направлению к оси штампа и соответственно деформация образца происходит по радиусу штампа.

Данная статья посвящена к анализу влияния формы штампов к модели форму кривой контакта

2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Кривая контакта валкового модуля состоит из зоны сжатия I и восстановления II , точки которых определяются полярными координатами $(r; \theta)$ (рис. 1).

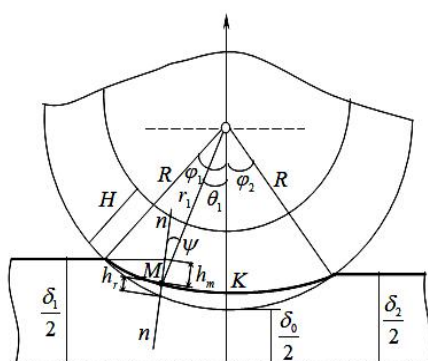


Рис.1. Схема контактного взаимодействия в валковом модуле

(рис. 1)

Сначала считаем, что в экспериментальных исследованиях деформации контактирующих тел использованы прямоугольные штампы. В этом случае деформация контактирующих тел по направлению $n-n$ имеют вид

$$h_{1r} = \frac{R \cos \theta - r \cos \theta}{\cos(\theta - \psi)}, h_{1m} = \frac{r \cos \theta - R \cos \varphi_1}{\cos(\theta - \psi)}, \quad -\varphi_1 \leq \theta \leq 0, \quad (1)$$

$$h_{2r} = \frac{R \cos \theta - r \cos \theta}{\cos(\theta - \psi)}, h_{2m} = \frac{r \cos \theta - R \cos \varphi_2}{\cos(\theta - \psi)}, \quad 0 \leq \theta \leq \varphi_2, \quad (2)$$

где ψ – угол между направлениями $n-n$ и $r-r$, φ_1, φ_2 – углы контакта.

Исследования [2,4] показывают, что одним из определяющих факторов формы кривой контакта является отношение скорости деформации эластичного вала к скорости деформации обрабатываемого материала:

$$\dot{\epsilon}_{1r} = k_1 \dot{\epsilon}_{1m}, \quad -\varphi_1 \leq \theta \leq 0, \quad 0 < k_1 < \infty, \quad (3)$$

$$\dot{\epsilon}_{2r} = k_2 \dot{\epsilon}_{2m}, \quad 0 \leq \theta \leq \varphi_2, \quad 0 < k_2 < \infty, \quad (4)$$

где k_1, k_2 – отношение скорости сжатия и восстановления, соответственно.

Исходя из того, что контактное взаимодействие в валковом модуле происходит в малой промежуток времени можно принимать гипотезу о постоянстве отношении скоростей деформации контактирующих тел, т.е. можно считать k_1 и k_2 постоянными.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ

Из равенства (3) и (4) с учетом выражения (1) и (2) находим

$$\frac{d}{d\theta} \frac{R \cos \theta - r \cos \theta}{\cos(\theta - \psi)} = k_1 \frac{d}{d\theta} \frac{r \cos \theta - R \cos \varphi_1}{\cos(\theta - \psi)},$$

$$\frac{d}{d\theta} \frac{R \cos \theta - r \cos \theta}{\cos(\theta - \psi)} = k_2 \frac{d}{d\theta} \frac{r \cos \theta - R \cos \varphi_2}{\cos(\theta - \psi)},$$

или после интегрирования

$$\frac{R \cos \theta - r \cos \theta}{\cos(\theta - \psi)} = k_1 \frac{r \cos \theta - R \cos \varphi_1}{\cos(\theta - \psi)} + C_1,$$

$$\frac{R \cos \theta - r \cos \theta}{\cos(\theta - \psi)} = k_2 \frac{r \cos \theta - R \cos \varphi_2}{\cos(\theta - \psi)} + C_2.$$

С учетом граничных условий $r = R$, когда $\theta = -\varphi_1$ и $\theta = \varphi_2$ имеем, что $C_1 = 0$ и $C_2 = 0$.

Тогда для всякой ψ , имеем

$$r = \frac{R}{1 + k_1} \left(1 + k_1 \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta} \right), \quad -\varphi_1 \leq \theta \leq 0, \quad (5)$$

$$r = \frac{R}{1 + k_2} \left(1 + k_2 \frac{\cos \varphi_2}{\cos \theta} \right), \quad 0 \leq \theta \leq \varphi_2. \quad (6)$$

Формулы (5) и (6) описывают форму кривой контакта в случае, когда в экспериментальных исследованиях деформации контактирующих тел использованы прямоугольные штампы.

Теперь считаем, что в экспериментальных исследованиях деформации контактирующих тел использованы цилиндрические штампы. В этом случае деформация контактирующих тел в зоне контакта по направлению $n-n$ имеют вид (рис. 1)

$$h_{1r} = \frac{R - r}{\cos \psi}, \quad h_{1m} = \frac{r - R \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta}}{\cos \psi}, \quad -\varphi_1 \leq \theta \leq 0, \quad (7)$$

$$h_{2r} = \frac{R - r}{\cos \psi}, \quad h_{2m} = \frac{r - \frac{R \cos \varphi_2}{\cos \theta}}{\cos \psi}, \quad 0 \leq \theta \leq \varphi_2. \quad (8)$$

Отсюда находим

$$\frac{d}{d\theta} \frac{R - r}{\cos \psi} = k_1 \frac{d}{d\theta} \frac{r - R \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta}}{\cos \psi}, \quad (9)$$

$$\frac{d}{d\theta} \frac{R-r}{\cos\psi} = k_2 \frac{d}{d\theta} \frac{r-R \frac{\cos\varphi_2}{\cos\theta}}{\cos\psi} . \quad (10)$$

Интегрируя (9) и (10) и учитывая граничные условия $r = R$, когда $\theta = -\varphi_1$ и $\theta = \varphi_2$ получаем формулы тождественные одинаковые с формулами (5) и (6).

Таким образом, формулы (5) и (6) описывают форму кривой контакта отжимных модулей. При этом формула (5) определяет кривую контакта в зоне сжатия, а формула (6) в зоне восстановления.

4 ВЫВОДЫ

На основе анализа выявлено, что математические модели формы кривых контакта валков не зависят от вида штампов, использованных в экспериментальных исследованиях.

Показано, что математические модели формы кривых контакта валков зависят преимущественно из деформационных параметров покрытия валков и обрабатываемого материала, среди которых наиболее влияние имеет параметр, определяющий соотношение скоростей их деформации.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

[1] Холтураев Ф.С. Математическое моделирование и совершенствование процесса отжима кожи валковыми машинами. Дис. ... докт. фил. (PhD). Наманган: НамМТИ, 2021. – 117 с.

[2] Хуррамов Ш.Р. Аналитическое описание формы кривых контакта валков в двухвалковом модуле // Известия высших учебных заведений, Технология текстильной промышленности» – Иванова, 2021. – №4 (394). – С. 153-158

[3] Хуррамов Ш.Р. Решения контактных задач валкового отжима кожи // Научный журнал механика и технология – Наманган, 2024, №1, С.23-31.

[4] Хуррамов Ш.Р., Турғунов К.К., Аннаев Н.У., Алибаев К.Ю. Моделирование кривых контакта валков кожевенных отжимных машин // O‘zbekiston to‘qimachilik jurnali, T., 2022, №2 – С.71-79.

TUB SONLARNI ANIQLASHNING ZAMONAVIY ALGORITMLARI: TAHLILIY SHARH

Abbasova Nafisa Baxtiyor qizi

Farg‘ona Davlat Texnika Universiteti

Annotasiya. Ushbu maqolada tub sonlarni aniqlash masalasiga bag'ishlangan klassik va zamonaviy algoritmlar tahlil qilinadi. Sinov bo'lish usulidan tortib, ehtimoliy Ferma, Miller–Rabin va Solovay–Strassen testlariga, shuningdek 2002-yilda Agrawal, Kayal va Saxena tomonidan taklif etilgan birinchi polinomial vaqtli deterministik AKS algoritmigacha bo'lgan yondashuvlar ko'rib chiqiladi. Har bir algoritmnining matematik asoslari, vaqt murakkabligi va amaliy qo'llanilish sohalari qiyosiy tahlil qilinadi. Kriptografiya, xususan RSA algoritmi uchun katta tub sonlarni samarali topish masalasining dolzarbligi asoslanadi. Tadqiqot natijalari amaliy dasturlash va kriptografik tizimlarni loyihalashda tub sonlarni tekshirish usulini tanlashda mo'ljal bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Kalit so'zlar: tub sonlar, Miller–Rabin algoritmi, AKS algoritmi, hisoblash murakkabligi, kriptografiya.

Аннотация. В данной статье рассматриваются и анализируются классические и современные алгоритмы, предназначенные для определения простых чисел. Исследуются различные подходы — от метода пробного деления до вероятностных тестов Ферма, Миллера–Рабина и Соловея–Штрассена, а также первого детерминированного алгоритма AKS полиномиального времени, предложенного Агравалом, Каялом и Саксена в 2002 году. Проводится сравнительный анализ математических основ каждого алгоритма, его временной сложности и областей практического применения. Обосновывается актуальность задачи эффективного поиска больших простых чисел для криптографии, в частности для алгоритма RSA. Результаты исследования могут служить ориентиром при выборе методов проверки простоты чисел в практическом программировании и при проектировании криптографических систем.

Ключевые слова: простые числа, тестирование простоты, алгоритм Миллера–Рабина, алгоритм AKS, вычислительная сложность, криптография.

Abstract. This article examines and analyzes classical and modern algorithms for determining whether a number is prime. Various approaches are considered, ranging from the trial division method to the probabilistic Fermat, Miller–Rabin, and Solovay–Strassen tests, as well as the first deterministic polynomial-time AKS algorithm proposed by Agrawal, Kayal, and Saxena in 2002. A comparative analysis is provided of the mathematical foundations, time complexity, and practical application areas of each algorithm. The relevance of efficiently finding large prime numbers for cryptography, particularly for the RSA algorithm, is substantiated. The results of the study may serve as a guide for selecting appropriate primality-testing methods in practical programming and in the design of cryptographic systems.

Keywords: prime numbers, primality testing, Miller–Rabin algorithm, AKS algorithm, computational complexity, cryptography.

Tub sonlarni aniqlash masalasi sonlar nazariyasining eng qadimiy va ayni paytda amaliy ahamiyati eng yuqori bo'lgan masalalaridan biridir. Berilgan n natural soni tub yoki murakkab ekanligini aniqlash klassik matematik qiziqishdan tashqari, zamonaviy kriptografiya, xususan ochiq kalitli shifrlash tizimlari (RSA, Diffi–Hellman) uchun ham fundamental ahamiyatga ega. Bunday tizimlarning xavfsizligi yuzlab yoki minglab bitli katta tub sonlarni tezkor va ishonchli topishga bog'liq.

Tarixan tub sonlarni aniqlash uchun eng sodda usul — sinov bo'lish (trial division) — bo'lib, u kichik sonlar uchun samarali, ammo kriptografik miqyosdagi (bir necha yuz raqamli) sonlar uchun amalda qo'llab bo'lmaydi. Shu sababli XX asrning ikkinchi yarmidan boshlab ehtimoliy algoritmlar, so'ngra esa 2002-yilda birinchi deterministik polinomial vaqtli AKS algoritmi ishlab chiqildi. Ushbu maqolaning maqsadi — mavjud algoritmlarni yagona mezonlar (vaqt murakkabligi, aniqlik, amaliy qo'llanilish) asosida tizimli tahlil qilish va taqqoslashdan iborat. Tub sonlarni tekshirish nazariyasi Ferma kichik teoremasiga asoslangan dastlabki testlardan boshlangan. Miller (1976 yilda) va Rabin (1980 yilda) tomonidan ishlab chiqilgan ehtimoliy algoritmlar hozirgi kunda ham amaliyotda eng ko'p qo'llaniladigan usullardan biri bo'lib qolmoqda, chunki u yuqori aniqlikni nisbatan kichik hisoblash xarajati bilan ta'minlaydi. Solovay va Strassen (1977 yilda) Eyler mezoniga asoslangan muqobil ehtimoliy testni taklif qilishgan. Rivest, Shamir va Adleman (1978 yilda) tomonidan RSA kriptotizimining yaratilishi katta tub sonlarni topish masalasini amaliy ahamiyatga ega qilib qo'ydi. Nihoyat, Agrawal, Kayal va Saxena (2004) o'zlarining mashhur "PRIMES is in P" ishida tub sonlarni aniqlash masalasi P murakkablik sinfiga tegishli ekanligini, ya'ni bu masalani deterministik ravishda polinomial vaqtda yechish mumkinligini isbotlashdi. Knutning "The Art of Computer Programming" (2-jild) asari esa algoritmik sonlar nazariyasi bo'yicha fundamental manba sifatida keng qo'llaniladi.

Klassik deterministik usullar. Sinov bo'lish usuli n sonining tubligini tekshirish uchun uni 2 dan $\sqrt{n}$ gacha bo'lgan barcha butun sonlarga bo'lib ko'rish printsipiga asoslanadi. Agar bunday bo'luvchi topilmasa, n tub son hisoblanadi. Usulning vaqt murakkabligi $O(\sqrt{n})$ bo'lib, bu kichik n

qiymatlari uchun qoniqarli, ammo kriptografiya qo'llaniladigan yuzlab raqamli sonlar uchun amalda bajarib bo'lmaydigan hisoblash hajmini talab qiladi. Eratosfen g'alviri esa berilgan chegaragacha bo'lgan barcha tub sonlarni $O(n \log \log n)$ murakkablikda topishga imkon beradi, ammo u alohida bitta katta sonni tekshirish uchun emas, balki oraliqdagi barcha tub sonlarni ro'yxatlash uchun mo'ljallangan.

Ehtimoliy algoritmlar. Ferma kichik teoremasiga ko'ra, agar p tub son bo'lsa va a soni p ga karrali bo'lmasa, u holda $a^{(p-1)} \equiv 1 \pmod{p}$ tengligi o'rinli bo'ladi. Ferma testi shu tenglikning bajarilishini tekshiradi, biroq ba'zi murakkab sonlar (Karmayl sonlari) barcha asoslar uchun bu testdan "muvaffaqiyatli" o'tishi mumkin, bu esa usulning asosiy kamchiligidir. Miller–Rabin testi Ferma testining kuchaytirilgan varianti bo'lib, $n-1$ sonini $2^{s \cdot d}$ ko'rinishida ifodalab, qo'shimcha tekshiruvlar kiritish orqali xato ehtimolini har bir iteratsiyada kamida to'rt martaga kamaytiradi. k marta mustaqil tasodifiy asos bilan tekshirilganda, algoritmnining xato qilish ehtimoli 4^{-k} dan oshmaydi, bu esa yetarlicha katta k uchun amaliy jihatdan ishonchli natija beradi. Solovay–Strassen testi Eyler mezoni va Yakobi belgisidan foydalanadi va shunga o'xshash ehtimoliy tabiatga ega, biroq amaliyotda Miller–Rabin testiga nisbatan kamroq qo'llaniladi, chunki u odatda ancha sekinroq ishlaydi.

AKS deterministik algoritmi. 2002-yilda taqdim etilgan AKS algoritmi $(n-x)^n \equiv x^n \pmod{n}$ ko'rinishidagi polinomial tenglikka asoslanadi va bu tenglik faqat va faqat n tub son bo'lgandagina barcha butun x lar uchun o'rinli bo'lishini isbotlaydi. Algoritmnining tarixiy ahamiyati shundaki, u birinchi marta tub sonlarni aniqlash masalasini hech qanday ehtimoliy taxminlarsiz, sof deterministik tarzda polinomial vaqtda yechish mumkinligini nazariy jihatdan isbotladi. Dastlabki versiyaning vaqt murakkabligi yuqori bo'lganligi sababli (taxminan $O(\log^{7.5} n)$), keyingi ishlarda bu ko'rsatkich sezilarli darajada takomillashtirilgan. Shunga qaramay, amaliyotda AKS algoritmi hisoblash tezligi jihatidan Miller–Rabin testidan orqada qolgani sababli, hozirgi kunda ham kriptografik dasturlarda asosan ehtimoliy testlar qo'llaniladi.

Algoritmning qiyosiy tahlili. Quyidagi jadvalda ko'rib chiqilgan algoritmning asosiy xarakteristikalarini umumlashtirilgan (n — tekshirilayotgan son, k — iteratsiyalar soni):

Algoritm	Turi	Vaqt murakkabligi	Xato ehtimoli
Sinov bo'lish (Trial division)	Deterministik	$O(\sqrt{n})$	Yo'q
Ferma testi	Ehtimoliy	$O(k \cdot \log^3 n)$	Karmayl sonlarida yuqori
Miller–Rabin testi	Ehtimoliy	$O(k \cdot \log^3 n)$	$\leq 4^{-k}$
Solovay–Strassen testi	Ehtimoliy	$O(k \cdot \log^3 n)$	$\leq 2^{-k}$
AKS algoritmi	Deterministik	$O(\log^{7.5} n)$ (dastlabki)	Yo'q

O'tkazilgan tahlil shuni ko'rsatadiki, amaliy kriptografik tizimlarda tub sonlarni tekshirish uchun ehtimoliy algoritmlar, xususan Miller–Rabin testi, tezlik va ishonchlilik nisbati bo'yicha eng maqbul yechim bo'lib qolmoqda. AKS algoritmi nazariy jihatdan muhim bo'lsa-da, yuqori hisoblash xarajati uni amaliy tizimlarda keng qo'llanilishidan to'sib turibdi. Shu bilan birga, gibril yondashuvlar — masalan, dastlab kichik tub sonlarga sinov bo'lish orqali oldindan filtrlash, so'ngra Miller–Rabin testini qo'llash — amaliyotda hisoblash resurslarini sezilarli darajada tejashga imkon beradi. Bunday kombinatsiyalangan usullar zamonaviy kriptografik kutubxonalarda (masalan, katta tub sonlar generatsiyasida) keng qo'llaniladi.

Ushbu maqolada tub sonlarni aniqlashning klassik va zamonaviy algoritmlari tizimli tahlil qilindi. Sinov bo'lish usulining soddaligi, ammo cheklangan miqyosda samaradorligi; ehtimoliy Ferma, Miller–Rabin va Solovay–Strassen testlarining yuqori tezligi va amaliy qo'llaniluvchanligi; hamda AKS algoritmining nazariy ahamiyati ko'rsatib berildi. Kelgusi tadqiqotlar gibrid algoritmlarni optimallashtirish va kvant hisoblash sharoitida tub sonlarni aniqlash masalalarini o'rganishga qaratilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Azlarov T.A., Mansurov X.T. Sonlar nazariyasi — Toshkent: O'qituvchi, 1995.
- [2] G'ulomov S.S., Begimqulov U. Sh. Diskret matematika va algoritmlar nazariyasi. — Toshkent: TDIU, 2015.
- [3] Xudoyberdiyev A.T. Axborot xavfsizligi va kriptografiya asoslari. — Toshkent: TATU nashriyoti, 2019.
- [4] Rabin M. O. Probabilistic Algorithm for Testing Primality // Journal of Number Theory. — 1980. — Vol. 12, No. 1. — P. 128–138.
- [5] Solovay R., Strassen V. A Fast Monte-Carlo Test for Primality // SIAM Journal on Computing. — 1977. — Vol. 6, No. 1. — P. 84–85.
- [6] Rivest R. L., Shamir A., Adleman L. A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems // Communications of the ACM. — 1978. — Vol. 21, No. 2. — P. 120–126.

YASHIL IQTISODIYOT SHAROITIDA TA'LIM SOHASIDA SUN'IY INTELLEKTDAN FOYDALANISH

Ablaqulov Kamoliddin Bahriddinovich

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi 180100, O'zbekiston, E-mail: kamoliddin1987@umail.uz

Annotatsiya. Mazkur maqolada yashil iqtisodiyot sharoitida ta'lim sohasida sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalanishning imkoniyatlari va istiqbollari yoritilgan. Maqolada ta'limda sun'iy intellektdan oqilona foydalanish yashil iqtisodiyot tamoyillari asosida resurslardan samarali foydalanish va raqamli ta'limni rivojlantirishga xizmat qilishi asoslangan.

Kalit so'zlar: yashil iqtisodiyot, ta'lim, sun'iy intellekt, raqamli ta'lim, ta'lim texnologiyalari, mashinaviy o'qitish, katta ma'lumotlar, raqamlashtirish, ta'lim samaradorligi, innovatsion texnologiyalar.

Аннотация. В статье рассматриваются возможности и перспективы использования технологий искусственного интеллекта в сфере образования в условиях развития зелёной экономики. Обосновано, что рациональное применение искусственного интеллекта в образовании способствует эффективному использованию ресурсов, цифровой трансформации образовательного процесса и развитию устойчивой образовательной среды в соответствии с принципами зелёной экономики.

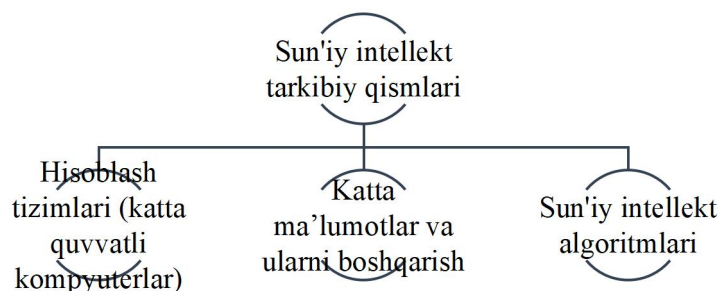
Ключевые слова: зелёная экономика, образование, искусственный интеллект, цифровое образование, образовательные технологии, машинное обучение, большие данные, цифровизация, эффективность образования, инновационные технологии.

Abstract. This article examines the opportunities and prospects of using artificial intelligence technologies in education under the conditions of a green economy. It is argued that the rational use of artificial intelligence in education can contribute to efficient resource utilization, digital transformation of the educational process, and the development of a sustainable educational environment in accordance with the principles of the green economy.

Keywords: green economy, education, artificial intelligence, digital education, educational technologies, machine learning, big data, digitalization, educational efficiency, innovative technologies.

Dunyoni o'zgartiruvchi ko'plab texnologiyalar singari, sun'iy intellekt ham ko'p yillar davomida ishlab chiqilgan bo'lib, hozirgi kunda hamma joyda mavjud va ta'lim uchun inqilobiy salohiyatni ochib berdi.

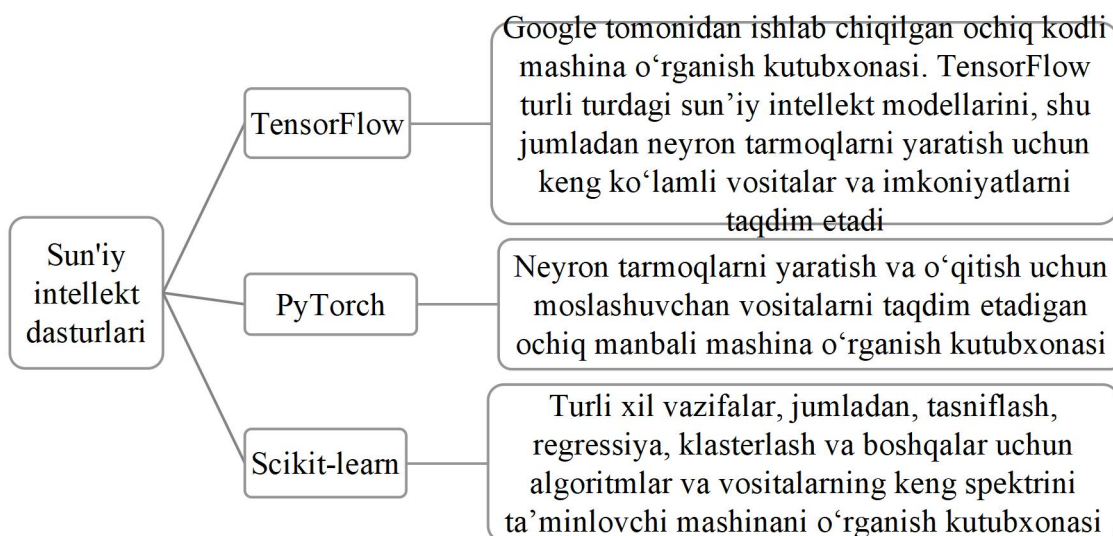
Sun'iy intellekt kompyuterlarni odam kabi o'ylash va ulardek yechim topishga yo'naltiradigan texnologiya bo'lib, u asosiy tarkibiy qismlarga ega bo'lishi talab qilinadi (1-rasm).



1-rasm. Sun'iy intellekt tarkibiy qismlari

Har bir sohada sun'iy intellekt texnologiyalarini qo'llash ko'plab yangi imkoniyatlarni ochishda ko'maklashmoqda, bu esa yangidan-yangi innovatsiyalarni keltirib chiqarishda zamin yaratadi [1]. Shuni ta'kidlash joizki, sun'iy intellekt inson aqliga qanchalik yaqin bo'lsa, uni yaratish shunchalik ko'p ma'lumot va hisoblash resurslarini talab qiladi [2].

Sun'iy intellektni yaratishning oxirgi bosqichi uni real muhitda amalga oshirish va ishda qo'llab-quvvatlashdan iboratdir. Bunga sun'iy intellektni mavjud tizimlarga integratsiyalash, modelni serverlarga joylashtirish va uning ishonchli ishlashi va yangilanishini ta'minlash kiradi [3]. Sun'iy intellektni yaratish uchun ishlatilishi mumkin bo'lgan ko'plab dasturlar va vositalar mavjud. Ulardan ba'zilar 2-rasmida keltirilgan.

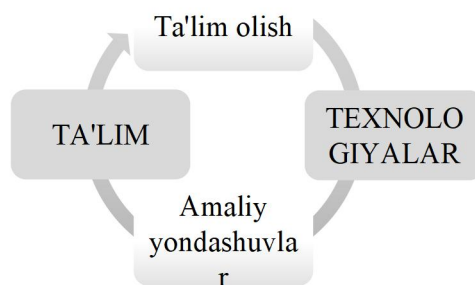


2-rasm. Sun'iy intellektni yaratish dasturlari

Sun'iy intellekt yordamida o'qituvchilar o'quv jarayonini o'quvchilarning individual ehtiyojlariga moslashtirib, ta'limni yanada samarali va qiziqarli qiladi. Sun'iy intellektga asoslangan texnologiyalar, shuningdek, ma'muriy vazifalarni hal qilishda yordam beradi, operatsiyalarni soddalashtiradi va o'qituvchilarni o'qitishga e'tiborini qaratadi [4].

Muhandislik kasblariga bo'lgan qiziqishning yangi to'liqini axborot texnologiyalari sohasidagi yondashuv va tushunchalarni boshqa sohalarga ham jalb qildi. Aytish mumkinki, dasturiy ta'minotni ishlab chiqish bo'yicha Agile Manifesti iqtisodiyot va ta'limda juda keng

qo'llanila boshlandi. Ta'lim sohasiga o'tkazilgan bunday usullar va yondashuvlar Ed prefiksini oldi (3-rasm).



3-rasm. Texnologiyalar va ta'lim mazmunining o'zaro ta'siri

Ta'limni axborotlashtirish uchun sun'iy intellektni qo'llashda ikkita asosiy muammo mavjud bo'lib, hozirgi kunda ularni hal qilish juda qiyindir. Bular yagona o'zaro ta'sir muhitini yaratish muammosi va tahlil qilingan katta ma'lumotlarda shovqinni ajratish muammosi sanaladi. Oddiy maktab ko'pincha bunday tizimlarni iqtisodiy jihatdan amalga oshirishga qodir emas, chunki sotib olishdan tashqari, ular doimiy qimmat texnik xizmat ko'rsatishni va tashqi quvvatlardan foydalanishni talab qiladi [5].

Ta'lim jarayonini qo'llab-quvvatlash uchun sun'iy intellekt texnologiyasini joriy etishda, odatda butun ta'lim muassasasi yoki hatto bir nechta muassasalar majmuasiga tegishli bo'lgan kompleks yechimlarni nazarda tutadi. Biroq, bunday yechimlar, odatda, nafaqat katta moliyaviy resurslarni, tasdiqlash va amalga oshirish uchun uzoq vaqtni talab qiladi, balki mashinani o'rganish vositalaridan maqsadli foydalanishdan ko'ra, qonuniy ravishda rasmiylashtirish ham qiyinroq. Xususiyl asboblardan yanada qulayroq holatda, chunki ular to'g'ridan-to'g'ri o'qituvchi tomonidan butun ta'lim muassasasining to'liq ishtirokini talab qilmasdan va anonim ma'lumotlar bilan ishlaganda qo'shimcha tasdiqlashni talab qilmasdan foydalanishi mumkin.

ADABIYOTLAR RO'YXATI:

[1] Suyunov I.B. O'zbekistonda milliy sun'iy intellekt etikasi kengashini tashkil etish // New Renaissance. Volume 2. Issue 2. pp. 66-74.

[2] Роджер Бутл. Работа, богатство и благополучие в эпоху мыслящих машин // Искусственный интеллект и экономика. 2023. 26-53 с.

[3] Mengturayev Farxod Ziyatovich, Xaydarov Sherali Islom o'g'li Ta'limda sun'iy intellektning o'rni // Volume-27 Issue-3 April 2023 Journal Of New Century Innovations pp. 98-108.

[4] Abraqulov K.B. Methodological and practical aspects of applying artificial intelligence technologies in education // Universum: психология и образование : электрон. научн. журн. 2026. 2(140). URL: <https://7universum.com/ru/psy/archive/item/21802>

[5] Abraqulov K. (2026). Methodological aspects of teaching artificial intelligence fundamentals and data analysis in technical specializations. «ACTA NUUZ», 1(1.2), 42-45. Retrieved from <https://journals.nuu.uz/index.php/actanuuz/article/view/10856>

УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ПОТЕНЦИАЛОВ СКОРОСТЕЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ТЕЧЕНИЯ МНОГО КОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ

Донаев Бурхон

Каршинский государственный технический университет, город Карши.

b.donayev55@mail.ru

Annotatsiya. Yetarlicha yuqori tezliklarda harakatlanadigan ko'p fazali va ko'p tezlikli muhitlar oxirgi vaqtlarda amaliy fan va texnikada keng qo'llanilmoqda. Bu yonish mahsulotlari qisman mayda zarrachalar shaklida bo'lgan turli yoqilg'i turlarini ishlab chiqish, yadroviy va boshqa qurilmalardagi ko'p fazali aralashmadan iborat issiqlik tashuvchilarning xususiyatlarini o'rganish, shuningdek, suyuq metalli magnitogidrodinamik o'zgartirgichda elektr energiyasini olish bilan bog'liqdir. Bundan tashqari, ko'p tezlikli nazariya gaz-chang muhitlarida jismlarning uchish hisob-kitoblarida, g'ovlarni pulpa yoki qum bo'roni bilan aylanib o'tishda, shuningdek, purkalgan yoqilg'ilarning yonish nazariyasiga oid bir qator masalalarda va kosmik kemalarning issiqlikdan himoya qiluvchi qoplamalarini hisoblashda muhim rol o'ynaydi. Issiqlik almashinuvini jadallashtirish maqsadida issiqlik tashuvchilar yuqori tezliklarda haydalishi kerak. Ushbu maqola fazalararo issiqlik almashinuvi va jism sirtidan qattiq zarrachalarning qaytishini hisobga olgan holda, jismlarning ideal suyuqlik yoki gazning ko'p tezlikli tutash muhiti oqimi bilan aylanib o'tilishini tadqiq qilishga bag'ishlangan. Jismlarning ko'p fazali oqim bilan tovushdan yuqori tezlikdagi aylanib o'tilishining turli gidrodinamik sxemalari taklif etilgan, shuningdek, ko'p komponentli tizimlarning me'yoriy o'qisimmetrik oqimi asosiy tenglamalarining keltirib chiqarilishi berilgan. Ikki fazali muhitning tezlik potentsiallari, bosimi va harorati uchun olingan tenglamalar aniq masalalarni keyinchalik hal qilish uchun boshlang'ich asos bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: Ko'pfazali, issiqlik tashuvchi, gazchangituvchi, ko'p tezlikli, ikkifazali, simmetrikemas, tekis, bosim.

Аннотация. Многофазные и многоскоростные среды, движущиеся с достаточно большими скоростями, в последнее время находят широкое применение в практической науке и технике. Это связано с разработкой различных видов горючего, в которых продукты сгорания частично находятся в виде мелких частиц, с изучением характеристик теплоносителей, состоящих из многофазной смеси в ядерных и других установках, а также с получением электрической энергии в жидкометаллическом магнитогидродинамическом преобразователе. Кроме того, многоскоростная теория играет важную роль в расчетах полета тел в газопылевых средах, при обтекании препятствий пульпой или песчаной бурей, а также в ряде вопросов теории горения распыленных топлив и при расчете теплозащитных покрытий космических кораблей. В целях интенсификации теплообмена теплоносители должны прокачиваться с высокими скоростями. Данная статья посвящена исследованию обтекания тел потоком многоскоростной сплошной среды идеальной жидкости или газа с учетом теплообмена между фазами и отражения твердых частиц от поверхности тела. Предложены различные гидродинамические схемы сверхзвукового обтекания тел многофазным потоком, а также приведен вывод основных уравнений осесимметричного течения многокомпонентных систем. Полученные уравнения для потенциалов скоростей, давления и температуры двухфазной среды являются исходными для последующего решения конкретных задач.

Ключевые слова. Многофазная, теплоноситель, газопылевых, многоскоростная, двухфазная, плоский, давление, осесимметричный.

Abstract. Multiphase and multispeed media moving at sufficiently high speeds have recently found wide application in practical science and engineering. This is associated with the development of various types of fuel in which combustion products are partially in the form of fine particles, the study of the characteristics of coolants consisting of a multiphase mixture in nuclear

and other plants, as well as the generation of electrical energy in a liquid-metal magnetohydrodynamic converter. In addition, multispeed theory plays an important role in calculating the flight of bodies in gas-dust environments, the flow around obstacles by slurry or a sandstorm, as well as in a number of issues regarding the combustion theory of atomized fuels and the design of thermal protection coatings for spacecraft. To intensify heat transfer, coolants must be pumped at high velocities. This paper is devoted to the study of the flow around bodies by a stream of a multispeed continuous medium of an ideal liquid or gas, taking into account heat transfer between phases and the reflection of solid particles from the body surface. Various hydrodynamic schemes for supersonic flow around bodies by a multiphase stream are proposed, and the derivation of the main equations for the axisymmetric flow of multicomponent systems is presented. The obtained equations for velocity potentials, pressure, and temperature of the two-phase medium serve as initial data for the subsequent solution of specific problems.

Keywords: Multiphase, coolant, gas-dust, multispeed, two-phase, planar, pressure.

В работах Х.А.Рахматуллина [1] приаедены основные уравнения многоскоростных, взаимопроникающих, взаимодействующих друг с другом , сплошных баротропных сред. Эта теория получила дальнейшие развитие в работах Кройка А.Н, Стернина Л.Е. [2] и Нигматулина Р.И. [3] , в которых для замыкания системы уравнении двухфазной среды использованы уравнения энергии фаз с учетом фазовых превращений и без них. Эти уравнение движения в случае двумерного стационарного течения двухфазной смеси газа и твердых частиц неразрывности n-ой фазы в декартовых координатах имеют вид:

$$\begin{aligned}\frac{\partial u_n}{\partial x} u_n + \frac{\partial u_n}{\partial y} \vartheta_n &= -\frac{1}{\rho n_i} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{k}{\rho_n} \sum_{j=1}^2 (u_j - u_n), \\ \frac{\partial \vartheta_n}{\partial x} u_n + \frac{\partial \vartheta_n}{\partial y} \vartheta_n &= -\frac{1}{\rho n_i} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{k}{\rho_n} \sum_{j=1}^2 (\vartheta_j - \vartheta_n), \quad (1.1) \\ \frac{\partial}{\partial x} (\rho_n u_n) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho_n \vartheta_n) + \frac{V \rho_n \vartheta_n}{y} &= 0; \quad (1.2)\end{aligned}$$

С учетом теплообмена уравнения энергии имеют вид:

$$\begin{aligned}\frac{\partial i_1}{\partial x} u_1 + \frac{\partial i_1}{\partial y} \vartheta_1 - \frac{1}{\rho n_i} \left(\frac{\partial \rho}{\partial x} u_1 + \frac{\partial \rho}{\partial y} \vartheta_1 \right) + \frac{\rho_2}{\rho_1} \left[q + \frac{k}{\rho_2} (V_2 - V_1)^2 \right] &= 0 \\ \frac{\partial l_2}{\partial x} u_2 + \frac{\partial l_2}{\partial y} \vartheta_2 - q &= 0\end{aligned} \quad (1.3)$$

В этом случае уравнения состояния фаз можно записать в виде:

$$i_1 = C_1 T_1, \quad l_2 = C_2 T_2, \quad P = \rho_i R_1 T_1, \quad \rho_2 i = \text{const} \quad (1.4)$$

Равенство для функции “q” межфазного теплообмена представим в виде:

$$q = \beta (T_1 - T_2) \quad (1.5)$$

где $\vartheta_n^2 = u_n^2 + \vartheta_n^2$, $(n=1,2)$

Здесь ρ – давление, u_n , ϑ_n – скорости, T_n - температуры, $\rho n_i, \rho_n$ – истинная и приведенная плотности n-ой фазы, k и β – коэффициенты силового взаимодействия и теплообмена между фазами, R_1 – газовая постоянная, C_1, C_2 – коэффициент теплоемкости, i_1 – энтальпия газа, l_2 –внутренняя энергия частиц, $V=0,1$. Кроме этих уравнений имеем:

$$f_1 + f_2 = 1 \quad (1.6)$$

f_n – объемная концентрация n-ой фазы.

Теперь рассмотрим потенциальное движение двухфазной среды в линейной постановке, для этого линейной систему уравнений (1.1)-(1.6), полагая:

$$u_n = u_o - u_n^1, \quad \rho_2 = \rho_{20} + S_2, \quad \vartheta_n = \vartheta_n^1,$$

$$\rho_{li} = \rho_0 + \varepsilon_1, \quad P = P_o + P^1, \quad (n = 1, 2)$$

$$\rho_1 = \rho_{10} + S_1, \quad T_n = T_o + T_n^1 \quad (1.7)$$

Система уравнений (1.1) – (1.5)

Из-за малости возмущенных скоростей сред крилей при этом вод:

$$u_o \frac{\partial u_1^1}{\partial x} = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{k}{\rho_{10}} (u_2^1 - u_1^1),$$

$$u_o \frac{\partial \vartheta_1^1}{\partial x} = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{k}{\rho_{10}} (\vartheta_2^1 - \vartheta_1^1), \quad (1.8)$$

$$u_o \frac{\partial \delta_1}{\partial x} + \rho_{10} \left(\frac{\partial u_1^1}{\partial x} + \frac{\partial \vartheta_1^1}{\partial y} \right) + \frac{V \rho_{10} \vartheta_1}{y} = 0 \quad (1.9)$$

Для второй фазы запишутся уравнения аналогично. Из (1.6) получим:

$$\frac{\delta_1}{\rho_o} + \frac{\delta_2}{\rho_{oo}} = \frac{1}{\rho_o} \cdot \frac{\rho_{10}}{\rho_o} \varepsilon_1, \quad (1.10)$$

где $\rho_0, \rho_{oo}, \rho_{10}, \rho_{20}, P_o$ – постоянные величины

$P^1, u_1^1, \vartheta_1^1, \varepsilon_1, \delta_1, \delta_2$ – малые величины

Так как предполагаем, что движение потенциальное, то для потенциала скоростей имеем выражения:

$$u_i^1 = \frac{\partial \psi_i}{\partial x}, \quad \vartheta_i^1 = \frac{\partial \psi_i}{\partial y} (i=1, 2) \quad (1.11)$$

ψ_i – потенциал скорости

В этом случае уравнения для плоского и осесимметричного течения (1.1) – (1.10)

примут вид :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[u_o \frac{\partial \psi_1}{\partial x} + \frac{\rho^1}{\rho_o} - \frac{k}{\rho_{10}} (\psi_2 - \psi_1) \right] = 0 \quad (1.12)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left[u_o \frac{\partial \psi_1}{\partial x} + \frac{\rho^1}{\rho_o} - \frac{k}{\rho_{10}} (\psi_2 - \psi_1) \right] = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[u_o \frac{\partial \psi_2}{\partial x} + \frac{\rho^1}{\rho_{oo}} - \frac{k}{\rho_{20}} (\psi_2 - \psi_1) \right] = 0 \quad (1.13)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left[u_o \frac{\partial \psi_2}{\partial x} + \frac{\rho^1}{\rho_{oo}} - \frac{k}{\rho_{20}} (\psi_2 - \psi_1) \right] = 0$$

$$u_o \frac{\partial \delta_1}{\partial x} + \rho_{10} \left(\frac{\partial^2 \psi_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi_1}{\partial y^2} \right) + \frac{V \rho_{10} \vartheta_1}{y} = 0,$$

$$u_o \frac{\partial \delta_1}{\partial x} + \rho_{20} \left(\frac{\partial^2 \psi_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi_2}{\partial y^2} \right) + \frac{V \rho_{20} \vartheta_1}{y} = 0 \quad (1.14)$$

$$\frac{\partial T_1^1}{\partial x} = \frac{1}{C_1 \rho_o} \frac{\partial p^1}{\partial x} - \frac{\rho_{20}}{C_1 u_o \rho_{10}} \cdot \beta \cdot (T_1^1 - T_2^1), \quad (1.15)$$

$$\frac{\partial T_2^1}{\partial x} = \frac{1}{C_1 u_o} \cdot \beta \cdot (T_1^1 - T_2^1),$$

$$\rho^1 = R_1 (\rho_0 T_1^1 + T_0 \varepsilon_1), \rho_{2i} = \rho_{00} = \text{const} \quad (1.16)$$

Для первой и второй фазы из уравнения движения имеем:

$$\begin{aligned} u_o \frac{\partial \psi_1}{\partial x} + \frac{p^1}{\rho_0} - \frac{k}{\rho^{10}} (\psi_2 - \psi_1) &= C_1 \\ u_o \frac{\partial \psi_2}{\partial x} + \frac{p^1}{\rho_0} - \frac{k}{\rho^{20}} (\psi_2 - \psi_1) &= C_2 \end{aligned} \quad (1.17)$$

C_1 и C_2 – постоянные величины

Из условия, что при $x \rightarrow \infty \quad \psi_i = \psi_{ix} = p^1 = 0 \quad (i=1,2)$

имеем $C_1 = C_2 = 0$

В этом случае уравнения (1.17) примет следующий вид:

$$u_o \frac{\partial \psi_2}{\partial x} + \frac{p^1}{\rho_0} - \frac{k}{\rho^{10}} (\psi_2 - \psi_1) = 0 \quad (1.18)$$

$$u_o \frac{\partial \psi_2}{\partial x} + \frac{p^1}{\rho_{00}} - \frac{k}{\rho^{20}} (\psi_1 - \psi_2) = 0$$

Отсюда получим следующие уравнения :

$$\frac{\rho^{20}}{\rho^{00}} \rho^{10} \frac{\partial \psi_1}{\partial x} - \frac{\rho_{10}}{\rho^0} \rho^{20} \frac{\partial \psi_2}{\partial x} = - \frac{k}{u_0} (\psi_1 - \psi_2) \quad (1.19)$$

$$P^1 = -u_0 (\rho_{10} \psi_{1x} + \rho_{20} \psi_{2x}) \quad (1.20)$$

Из уравнение неразрывности (1.14) и из условия $f_1 + f_2 = 1$ получим :

$$\frac{\rho_{10}}{\rho_0} \left(\frac{\partial^2 \psi_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi_1}{\partial y^2} \right) + \frac{\rho_{20}}{\rho_{00}} \left(\frac{\partial^2 \psi_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi_2}{\partial y^2} \right) + \frac{u_0}{\rho_0} \cdot \frac{\rho_{10}}{\rho^0} \cdot \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial x} + \frac{V}{y} \left(\frac{\rho_{10}}{\rho^0} \frac{\partial \psi_1}{\partial y} + \frac{\rho_{20}}{\rho^{00}} \frac{\partial \psi_2}{\partial y} \right) = 0 \quad (1.21)$$

$$\text{Отсюда} \quad \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial x} = \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \rho^1} \cdot \frac{\partial \rho^1}{\partial x} + \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial T^1} \cdot \frac{\partial T^1}{\partial x}, \quad \frac{\partial \rho^1}{\partial \varepsilon_1} = Q_1^2 = T_0 R_1, \quad \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial T_1^1} = - \frac{P_0}{R_1 T_0^2} = - \frac{P_0}{Q_1^2 T_0},$$

$$M_1^2 = \frac{u_0^2}{Q_1^2};$$

В этом случае уравнение (1.21) примет следующий вид:

$$\frac{\partial T_1^1}{\partial x} = \frac{u_0 \rho_0 T_0}{M_1^2 P_0} \left(\frac{\partial^2 \psi_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi_1}{\partial y^2} \right) + \frac{u_0 \rho_{20} \rho_0^2 T_0}{M_1^2 P_0 \rho_{00} \rho_{10}} \left(\frac{\partial^2 \psi_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi_2}{\partial y^2} \right) + \frac{T_0}{P_0} \frac{\partial P^1}{\partial x} + \frac{u_0 \rho_0^2 T_0}{M_1 P_0 \rho_{10}} \cdot \frac{V}{y} \left(\frac{\rho_{10}}{\rho_0} \frac{\partial \psi_1}{\partial y} + \frac{\rho_{20}}{\rho_{00}} \frac{\partial \psi_2}{\partial y} \right) \quad (1.22)$$

T_2^1 для газа найдем из уравнение энергии подставим её в уравнение энергии для частицы и получим следующее уравнение относительно температуры газа и давления:

$$\frac{C_{10} u_0 \rho_{10}}{\rho_{20} \rho} \frac{\partial^2 T_1^1}{\partial x^2} + \left(1 + \frac{C_{10} \rho_{10}}{C_{20} \rho_{20}} \right) \frac{\partial T_1^1}{\partial x} - \frac{u_0 \rho_{10}}{\rho_0 \rho_{20} \beta} \cdot \frac{\partial^2 P^1}{\partial x^2} - \frac{\rho_{10}}{C_{10} \rho_0 \rho_{20}} \frac{\partial P^1}{\partial x} = 0 \quad (1.23)$$

Найдем давление из уравнения движения (1.18), продифференцируем его нах и подставим в уравнения (1.22) и (1.23).

Тогда, решая (1.23) в месте с уравнением (1.22) получим следующего уравнение третьего порядка:

$$\begin{aligned} A_1 \frac{\partial^3 \psi_1}{\partial x^3} + A_2 \frac{\partial^3 \psi_1}{\partial x \partial y^2} - A_4 \frac{\partial^2 \psi_1}{\partial x^2} + A_5 \frac{\partial^2 \psi_1}{\partial y^2} + A_2 \frac{V}{y} \frac{\partial^2 \psi_1}{\partial x \partial y^2} + A_5 \frac{V}{y} \frac{\partial \psi_1}{\partial y} + A_3 \left(\frac{\partial^3 \psi_1}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 \psi_2}{\partial x \partial y^2} \right) + A_6 \frac{\partial^2 \psi_2}{\partial x^2} + \\ + A_7 \frac{\partial^2 \psi_2}{\partial y^2} + A_2 \frac{V}{y} \frac{\partial^2 \psi_1}{\partial x \partial y^2} + A_7 \frac{V}{y} \frac{\partial \psi_2}{\partial y} + A_8 \left(\frac{\partial \psi_2}{\partial x} - \frac{\partial \psi_1}{\partial x} \right) = 0 \end{aligned} \quad (1.24)$$

$$\text{где } A_1 = \frac{u_0^2 \rho_{10} \rho_0}{\rho_{20} \beta} \left(\frac{C_1 T_0}{M_1^2 \rho_0} - \frac{C_1 T_0}{P_0} + \frac{1}{\rho_0} \right), \quad A_2 = \frac{C_1 u_0^2 \rho_{10} \rho_0 T_0}{\rho_{20} \beta M_1^2 P_0}, \quad A_3 = \frac{C_1 u_0^2 \rho_0^2 T_0}{\rho_{00} \beta M_1^2 \rho_0},$$

$$A_4 = u_0 \left[\frac{\rho_0 k}{\rho_{20} \beta} \left(\frac{C_1 T_0}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \right) - \frac{\rho_0 T_0}{\rho_0} \left(1 + \frac{C_1 \rho_{10}}{C_2 \rho_{20}} \right) \left(\frac{1}{M_1^2} - 1 \right) - \frac{\rho_{10}}{C_2 \rho_{20}} \right],$$

$$A_5 = \frac{u_0 \rho_0 T_0}{M_1^2 \rho_0} \left(1 + \frac{C_1 \rho_{10}}{C_2 \rho_{20}} \right), \quad A_6 = \left[\frac{k}{\rho_{20} \beta} \left(\frac{C_1 T_0}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \right) + \frac{\rho_{20} \rho_0 T_0}{\rho_{00} \rho_{10} M_1^2 \rho_0} \right],$$

$$A_7 = \frac{\rho_{20} u_0 \rho_0^2 T_0}{\rho_{00} \rho_{10} M_1^2 \rho_0} \left(1 + \frac{C_1 \rho_{10}}{C_2 \rho_{20}} \right), \quad A_8 = K \left[\frac{\rho_0 T_0}{\rho_{10} \rho_0} \left(1 + \frac{C_1 \rho_{10}}{C_2 \rho_{20}} \right) - \frac{1}{C_2 \rho_{20}} \right],$$

В уравнении (1.24) $V=0$ относится к плоской задаче, $V=1$ к осесимметричной отсюда для нахождения потенциалов скоростей двухфазного потока имеем уравнения (1.24).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа посвящено исследованию обтеканию тел потоком многоскоростной сплошной среды идеальной жидкости или газа с учетом теплообмена между фазами и отраженных твердых частиц от поверхности тела при решении найдем из уравнение энергии для частицы и получим уравнение относительно температуры газа и давления. Из уравнение движения найдем давление, продифференцируя этого получим уравнение третьего порядка. Таким образом для нахождения потенциалов скоростей найдем уравнения двухфазного потока при решении последующих задач в основном исходим из найденных уравнений

Литературы:

1. Рахматулин Х.А. Основы газодинамики взаимопроникающих движений сжимаемых сред. ПММ, Т.20.вып.2.1956.
2. Крайко А.Н, Стернин Л.Е. К теории течений двухскоростной сплошной среды с твёрдыми или жидкими частицами. ПММ, Т.29.вет. 3, 1965, 418-429
3. Нигматулин Р.И..Некоторые вопросы гидродинамики двухфазных полидисперсных сред. Изв.АН СССР, МЖГ, 1968, №3.

SUV OSTI OBYEKTLARINI ANIQLASHNING ZAMONAVIY USULLARI: QIYOSIY TAHLIL VA AKUSTIK YONDASHUVNING AFZALLIKLARI

Islomov D.

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Axborot texnologiyalari kafedrası

ANNOTATSIYA. Ushbu maqolada suv osti muhitida joylashgan obyektlarni (shu jumladan kichik va noaniq shakldagi obyektlarni) aniqlash uchun qo'llaniladigan asosiy geofizik va akustik usullar — akustik (sonar), elektr qarshilik tomografiyasi (ERT), yer osti radari (GPR) va magnit usul — qiyosiy tahlil qilinadi. Har bir usulning fizik ishlash tamoyili, suv muhitidagi qo'llanilish imkoniyati, aniqlash chuqurligi va asosiy cheklovlari ko'rib chiqiladi. So'nggi yillardagi ilmiy nashrlar asosida o'tkazilgan tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, akustik usul suv muhitidagi past so'nish darajasi va katta masofaga signal uzatish imkoniyati tufayli suv osti obyektlarini lokalizatsiya qilish uchun eng maqbul yondashuv hisoblanadi. Shu bilan birga, mavjud tadqiqotlarning aksariyati ochiq dengiz/ocean sharoitlari yoki aniq geometrik shakldagi obyektlar uchun mo'ljallanganligi, kichik va noaniq shakldagi obyektlarni ichki suv havzalarida aniqlash muammosi hali yetarlicha o'rganilmaganligi aniqlandi. Ushbu bo'shliq keyingi tadqiqotlar uchun asosiy yo'nalish sifatida belgilandi.

Kalit so'zlar: suv osti lokalizatsiyasi, akustik sensor, sonar, elektr qarshilik tomografiyasi, yer osti radari, teskari masala, matematik modellashirish.

Аннотация. В статье проводится сравнительный анализ основных геофизических и акустических методов, применяемых для обнаружения объектов, расположенных в подводной среде, включая малые объекты неопределённой формы: акустического (сонарного)

метода, электротомографического метода сопротивлений (ERT), георадара (GPR) и магнитного метода. Рассматриваются физические принципы работы каждого метода, возможности его применения в водной среде, глубина обнаружения и основные ограничения. Результаты анализа научных публикаций последних лет показывают, что акустический метод является наиболее подходящим подходом для локализации подводных объектов благодаря низкому уровню затухания сигнала в водной среде и возможности его передачи на значительные расстояния. Вместе с тем установлено, что большинство существующих исследований ориентировано на условия открытого моря/океана или на объекты с чётко определённой геометрической формой, тогда как проблема обнаружения малых объектов неопределённой формы во внутренних водоёмах остаётся недостаточно изученной. Данный пробел определён как одно из основных направлений дальнейших исследований.

Ключевые слова: подводная локализация, акустический датчик, сонар, электротомография сопротивлений, георадар, обратная задача, математическое моделирование.

Abstract. *This article presents a comparative analysis of the main geophysical and acoustic methods used to detect objects located in underwater environments, including small objects with irregular or uncertain shapes. The methods considered include acoustic (sonar) sensing, electrical resistivity tomography (ERT), ground-penetrating radar (GPR), and magnetic surveying. The physical operating principles, applicability in aquatic environments, detection depth, and major limitations of each method are examined. The results of an analysis based on recent scientific publications indicate that the acoustic method is the most suitable approach for underwater object localization due to the low level of signal attenuation in water and its ability to transmit signals over relatively long distances. At the same time, it was found that most existing studies focus on open-sea/ocean environments or objects with well-defined geometric shapes, while the problem of detecting small objects with uncertain shapes in inland water bodies remains insufficiently investigated. This research gap is identified as a key direction for further research.*

Keywords: *underwater localization, acoustic sensor, sonar, electrical resistivity tomography, ground-penetrating radar, inverse problem, mathematical modeling.*

KIRISH

Suv osti muhitida joylashgan yoki yashiringan obyektlarni aniqlash muammosi ko‘plab amaliy sohalarda — qutqaruv-qidiruv ishlarida, gidrotexnik inshootlarni tekshirishda, arxeologik tadqiqotlarda, tabiiy resurslarni qidirishda va harbiy maqsadlarda — dolzarbligicha qolmoqda. Ayniqsa, suv havzalarida cho‘kib ketgan insonlarni yoki boshqa kichik hajmdagi obyektlarni tezkor va aniq topish masalasi ijtimoiy ahamiyatga ega bo‘lib, mavjud qidiruv usullarining samaradorligi ko‘pincha vaqt, muhit sharoitlari va texnik imkoniyatlar bilan cheklangan.

Suv osti obyektlarini masofadan aniqlash uchun turli fizik tamoyillarga asoslangan bir qator texnologiyalar ishlab chiqilgan. Ularning har biri muayyan muhit sharoitlarida yaxshi natija bersada, boshqa sharoitlarda jiddiy cheklovlarga ega bo‘ladi. Shu sababli, aniq bir amaliy vazifa uchun eng mos usulni tanlash ilmiy asoslashni talab qiladi.

Ushbu maqolaning maqsadi — suv osti obyektlarini aniqlashda qo‘llaniladigan asosiy usullarni (akustik, elektr qarshilik tomografiyasi, yer osti radari va magnit usul) bir qator mezonlar bo‘yicha qiyosiy tahlil qilish, ularning suv muhitidagi qo‘llanilish chegaralarini aniqlash va shu asosda keyingi matematik modellash tirish tadqiqotlari uchun eng maqbul yondashuvni ilmiy jihatdan asoslashdir. Bundan tashqari, mavjud xalqaro adabiyotlar tahlili orqali ushbu sohada ochiq ilmiy muammolar (research gap) aniqlanadi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Tahlil uchun 2015–2025 yillar oralig‘ida chop etilgan, ilmiy bazalarda (IEEE, MDPI Sensors, ScienceDirect, Springer, arXiv) e‘lon qilingan ilmiy maqolalar, sharh (review) ishlari va

texnik hisobotlar tanlab olindi. Manbalarni tanlashda quyidagi mezonlarga rioya qilindi: (1) nashrning suv osti yoki yer osti obyektlarini aniqlash mavzusiga bevosita aloqadorligi; (2) nashrda matematik model, algoritim yoki eksperimental/simulyatsion natijalar keltirilganligi; (3) nashrning taniqli ilmiy bazada indekslanganligi.

Qiyosiy tahlil quyidagi beshta mezon bo'yicha o'tkazildi:

- fizik ishlash tamoyili — signal qanday jismoniy hodisaga asoslanganligi;
- suv muhitida signalning tarqalish xususiyati — so'nish darajasi, tezlik, masofa bilan sifat yo'qotilishi;
- aniqlash chuqurligi va masofasi — amaliyotda erishilgan natijalar asosida;
- muhit sharoitlariga sezuvchanlik — suvning tuzligi, loyqaligi, harorati kabi omillarga bog'liqlik;
- amaliy qo'llash murakkabligi — jihozlash, hisoblash resurslari va real vaqt rejimida ishlash imkoniyati.

Shu mezonlar asosida har bir usul alohida ko'rib chiqilib, keyin umumlashtirilgan qiyosiy jadval shaklida taqqoslandi (1-jadval, Natijalar bo'limida).

NATIJALAR

Akustik (sonar) usul

Akustik usul tovush to'lqinining suv muhitida tarqalishi, obyektidan aks etishi va sochilishi tamoyiliga asoslanadi. Suv osti sensor tarmoqlarida akustik aloqa va lokalizatsiya algoritmlarini tizimli tahlil qilgan tadqiqotda ko'rsatilishicha, akustik to'lqinlar suv muhitida optik yoki elektromagnit signallarga nisbatan ancha kam so'nadi, bu esa ularni suv osti aloqasi va obyektlarni aniqlash uchun eng amaliy vosita qiladi [1]. Manbaviy lokalizatsiya (source localization) masalasi matematik jihatdan matched field processing, TDOA/FDOA (vaqt/chastota farqiga asoslangan) usullari va geoakustik inversiya orqali yechiladi, bu esa signal parametrlaridan obyekt koordinatalarini tiklashning yaxshi rivojlangan nazariy asosini ta'minlaydi [2], [3].

So'nggi yillarda mashinaviy o'rganish usullari ham akustik lokalizatsiya sifatini oshirish uchun faol qo'llanilmoqda: differensiallanuvchi forward model asosidagi gradient optimallashtirish [4] va akustik signaldan chuqurlik/tezlik modelini konvolyutsion neyron tarmoq yordamida tiklash [5] kabi yondashuvlar bunga misol bo'ladi. Shu bilan birga, harakatlanuvchi suv osti obyektlarini aniqlashda signal tarqalish tezligining noaniqligi va platforma xatoliklari muammosi alohida ko'rib chiqilgan bo'lib, bu masalani yechish uchun ikki bosqichli yopiq shakldagi lokalizatsiya algoritmi taklif etilgan [6].

Elektr qarshilik tomografiyasi (ERT)

ERT usuli muhitning elektr qarshiligidagi lokal farqlarni o'lchashga asoslanadi va odatda statsionar elektrodlar tarmog'i orqali amalga oshiriladi. Bu usul yer osti geologik tuzilmalarini va konlarni qidirishda samarali qo'llaniladi, biroq suv muhitida — ayniqsa minerallashtirgan yoki sho'r suvda — muhitning o'zi yuqori elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lganligi sababli, kichik obyektning signali fon shovqiniga aralashib ketishi ehtimoli yuqori. Bundan tashqari, usul statsionar elektrod tizimini talab qilishi harakatlanuvchi yoki oldindan joyi noma'lum obyektlarni real vaqtda qidirish uchun uni amaliy jihatdan noqulay qiladi.

Yer osti radari (GPR)

GPR elektromagnit to'lqinning muhit chegaralaridan aks etishiga asoslanadi. Signalning so'nish darajasi muhitning elektr o'tkazuvchanligi bilan bevosita bog'liq bo'lib, suv — ayniqsa yuqori minerallashtirgan yoki loyqa suv — elektromagnit energiyani kuchli yutadi, natijada penetratsiya chuqurligi keskin qisqaradi [7], [8]. Adabiyotlarda ko'rsatilishicha, GPR chuchuk va nisbatan toza suv sharoitida cheklangan chuqurlikda ishlashi mumkin bo'lsa-da, tabiiy suv

havzalarining aksariyatida (loyqa, o'simlik qoldiqlari, minerallashtirilgan qatlamlar mavjud bo'lgan sharoitda) uning samaradorligi sezilarli darajada pasayadi [9], [10]. Shu sababli GPR suv osti obyektlarini aniqlashning asosiy vositasi sifatida emas, balki cheklangan yordamchi usul sifatida ko'rib chiqilishi maqsadga muvofiq.

Magnit usul

Magnit usul ferromagnit xususiyatga ega obyektning atrofida hosil qilgan magnit maydonini sensorlar tarmog'i orqali o'lchashga asoslanadi. Tabiiy sharoitdagi to'liq masshtabli eksperimentda passiv ferromagnit obyektning holatini tiklash masalasi teskari masala sifatida qo'yilib, genetik algoritim va zarralar sururmi optimizatori (particle swarm optimization) yordamida yechilgan [11]. Ushbu usul metall tarkibli obyektlarni (masalan, suv osti apparatlari, metall konstruksiyalar) aniqlashda samarali, biroq inson tanasi kabi nometall biologik obyektlarni bevosita aniqlay olmaydi — bu uning ushbu tadqiqot doirasidagi asosiy cheklovidir.

1-jadval. Suv osti obyektlarini aniqlash usullarining qiyosiy tahlili

Usul	Fizik tamoyil	Suvda ishlash qobiliyati	Aniqlash chuqurligi	Asosiy cheklov
Akustik (sonar)	Tovush to'liqlinining tarqalishi, aks etishi va sochilishi	Yuqori — suvda tovush yaxshi tarqaladi	O'nlab–yuzlab metr	Kichik/noaniq shakldagi obyektlarni klutter fonidan ajratish qiyin
Elektr qarshilik tomografiyasi (ERT)	Muhitning elektr qarshiligidagi farqni o'lchash	O'rtacha — statsionar elektrod tizimi talab qilinadi	Bir necha metr	Suvning minerallasuvi/tuzligi natijani buzadi, harakatlanuvchi target uchun mos emas
Yer osti radari (GPR)	Elektromagnit to'liqlinning aks etishi	Past — suvda elektromagnit to'liqlin tez so'nadi	Bir necha o'n santimetr – 1–2 metr	Suv (ayniqsa sho'r/loyqa suv) signalni kuchli yutadi
Magnit usul	Ferromagnit/metall obyektning magnit maydonini o'lchash	O'rtacha — faqat metall tarkibli obyektlarga sezgir	Bir necha metr	Inson tanasi kabi nometall obyektlarni aniqlay olmaydi

MUHOKAMA

O'tkazilgan qiyosiy tahlil shuni ko'rsatadiki, akustik usul suv muhitida signal tarqalishining nisbatan past so'nish darajasi, katta masofani qamrab olish imkoniyati va yaxshi rivojlangan matematik apparat (matched field processing, inversiya nazariyasi, TDOA/FDOA) mavjudligi tufayli boshqa ko'rib chiqilgan usullarga nisbatan suv osti obyektlarini lokalizatsiya qilish uchun eng maqbul yondashuv hisoblanadi. ERT va magnit usullar statsionar tizim yoki metall tarkibga bog'liqligi sababli, GPR esa suvda elektromagnit to'liqlinning kuchli so'nishi sababli ushbu vazifa uchun jiddiy cheklavlarga ega.

Shu bilan birga, adabiyotlar tahlili muhim bir bo'shliqni ham ko'rsatdi. Mavjud tadqiqotlarning katta qismi ochiq dengiz yoki okean sharoitida, aniq va nisbatan barqaror akustik xususiyatga ega obyektlarni (masalan, suv osti apparatlari, sensor tugunlari) lokalizatsiya qilishga qaratilgan [1]–[6], [11]. Kichik hajmdagi, noaniq va murakkab shakldagi biologik obyektlarni (jumladan, inson tanasini) ichki suv havzalari — ko'l, kanal, suv ombori kabi cheklangan va ko'pincha loyqa sharoitlarda aniqlash masalasi bo'yicha ilmiy adabiyotda maxsus tadqiqotlar hali

yetarlicha rivojlanmagan. Bunday obyektlarning akustik “imzosi” aniq geometrik shakldagi sun’iy obyektlarnikidan farq qilishi, ularni fon shovqinidan (masalan, tub relyefi, o’simlik qoldiqlaridan qaytgan signaldan) ajratishni murakkablashtiradi.

Shu bo’shliq — ya’ni kichik va noaniq shakldagi obyektlarni ichki suv havzalari sharoitida akustik ma’lumotlar asosida lokalizatsiya qilishning matematik modeli va sonli algoritmini ishlab chiqish — ushbu tadqiqot yo’nalishining ilmiy yangiligi va keyingi bosqichdagi tadqiqotlarning asosiy predmeti sifatida belgilandi.

XULOSA

Maqolada suv osti obyektlarini aniqlashning to’rtta asosiy usuli — akustik, elektr qarshilik tomografiyasi, yer osti radari va magnit usul — besh mezon bo’yicha qiyosiy tahlil qilindi. Tahlil natijalari akustik usulning suv muhitidagi fizik xususiyatlari va mavjud matematik apparati jihatidan eng istiqbolli yondashuv ekanligini ko’rsatdi. Shu bilan birga, kichik va noaniq shakldagi obyektlarni ichki suv havzalarida aniqlash masalasi bo’yicha adabiyotlarda mavjud bo’shliq aniqlandi. Ushbu xulosalar asosida keyingi tadqiqot bosqichida akustik signalning suv muhitida tarqalishini tavsiflovchi matematik model va unga asoslangan teskari masala (inverse problem) algoritmini ishlab chiqish rejalashtirilgan bo’lib, bu ishning natijalari kelgusi maqolalarda taqdim etiladi.

ADABIYOTLAR RO’YXATI:

- [1] Luo J., Fan L., Wu S., Yan X. Research on Localization Algorithms Based on Acoustic Communication for Underwater Sensor Networks // *Sensors*. — 2018. — Vol. 18, No. 1. — Art. 67. DOI: 10.3390/s18010067.
- [2] Inverse Methods in Underwater Acoustics // *Ocean Ambient Noise / ScienceDirect* (Book Chapter, Ch. 9). — 2017. URL: [sciencedirect.com/science/chapter/edited-volume/abs/pii/B9780128112403000096](https://www.sciencedirect.com/science/chapter/edited-volume/abs/pii/B9780128112403000096).
- [3] Advances and applications of machine learning in underwater acoustics // *Intelligent Marine Technology and Systems*. — Springer, 2023. DOI: 10.1007/s44295-023-00005-0.
- [4] Mismatch-Robust Underwater Acoustic Localization Using A Differentiable Modular Forward Model. — arXiv:2503.23260, 2025.
- [5] Estimation of 2D Velocity Model using Acoustic Signals and Convolutional Neural Networks. — arXiv:1906.04310, 2019.
- [6] A Co-Localization Algorithm for Underwater Moving Targets with an Unknown Constant Signal Propagation Speed and Platform Errors // *Sensors*. — 2024. — Vol. 24, No. 10. — Art. 3127. DOI: 10.3390/s24103127.
- [7] Dolphin L. Ground Penetrating Radar (GPR): Usage and Limitations. — SRI International, Menlo Park, CA. URL: ldolphin.org/GPRLimits.html.
- [8] Waterborne Ground Penetrating Radar // U.S. EPA, Environmental Geophysics. URL: epa.gov/environmental-geophysics/waterborne-ground-penetrating-radar.
- [9] Ground Penetrating Radar: Depth and Attenuation Limitations. — *Sensors & Software*. URL: sensoft.ca/?p=12851.
- [10] Ground Penetrating Radar (GPR) // Norwegian Geotechnical Institute (NGI). URL: ngi.no/en/research-and-consulting/site-invest-container/geophysical-ground-investigations/ground-penetrating-radar-gpr/.
- [11] In Situ Underwater Localization of Magnetic Sensors Using Natural Computing Algorithms // *PMC*. — 2023. URL: [pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9966058/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9966058/).

FINITE ELEMENT INVESTIGATION OF STATIC AND DYNAMIC BEHAVIOR OF CANTILEVER BEAM: INFLUENCE OF MATERIAL PROPERTIES ON DEFORMATION AND STRESS

Jasur Namozov^{1*} Alimov Shahboz

¹Department of Engineering and Computer Graphics, Termez State Engineering and Agrotechnological University, 284 Islom Karimov Street, Termez, 190100, Uzbekistan.

E-mail: jasurnamozov786@gmail.com, alimov.shahboz@gmail.com

ABSTRACT. *This study presents a finite element investigation of the static and dynamic behavior of a cantilever beam, focusing on the influence of material properties on deformation and stress. Numerical simulations are performed in Abaqus for three engineering materials: steel, aluminum, and concrete. Static analysis shows a significant variation in maximum deformation, ranging from 3.86×10^{-4} m for steel to 2.71×10^{-3} m for concrete, confirming the strong dependence of displacement on Young's modulus, whereas the maximum von Mises stress remains nearly constant (10.67–10.91 MPa) across all materials, indicating that stress is governed mainly by geometry and loading. Dynamic analysis under a gradually applied load reveals that the dynamic response closely matches the static solution, confirming the quasi-static nature of the system under slow loading. The results are validated against analytical beam theory, showing close agreement (about 1.5% error) and confirming the reliability of the numerical model. The findings clarify the distinct roles of material stiffness in deformation and stress, providing a practical reference for structural design.*

Keywords: *finite element method; cantilever beam; Abaqus; Young's modulus; von Mises stress; quasi-static analysis*

Annotatsiya. *Mazkur tadqiqotda konsol balkning statik va dinamik holati chekli elementlar usuli asosida o'rganilib, material xossalari deformatsiya va kuchlanishlarga ta'siri tahlil qilindi. Sonli modellash ishlari Abaqus dasturiy majmuasida uchta konstruksion material — po'lat, alyuminiy va beton uchun amalga oshirildi. Statik tahlil natijalari maksimal deformatsiyaning materialga qarab sezilarli darajada o'zgarishini ko'rsatdi: po'lat uchun $3.86 \cdot 10^{-4}$ m dan beton uchun $2.71 \cdot 10^{-3}$ m gacha. Bu natija siljish qiymatining materialning Yung moduliga kuchli darajada bog'liqligini tasdiqlaydi. Shu bilan birga, maksimal fon Mizes kuchlanishi barcha materiallar uchun deyarli o'zgarmas bo'lib, 10.67–10.91 MPa oralig'ida qayd etildi. Bu esa kuchlanishning asosan konstruktiv geometriya va tashqi yuklanish bilan belgilanayotganini ko'rsatadi. Sekin-asta qo'llaniladigan yuklama ostida amalga oshirilgan dinamik tahlil natijalari dinamik javobning statik yechimga juda yaqin ekanligini ko'rsatdi va yuklamaning sekin qo'llanilishi sharoitida tizimning kvazistatik xarakterga ega ekanligini tasdiqladi. Olingan natijalar analitik balk nazariyasi asosida hisoblangan qiymatlar bilan taqqoslanib validatsiya qilindi. Hisoblash natijalari analitik yechim bilan yaxshi muvofiqlikni ko'rsatib, taxminan 1.5% xatolik qayd etildi. Bu holat ishlab chiqilgan sonli modelning ishonchliligini tasdiqlaydi. Tadqiqot natijalari material qattiqligining deformatsiya va kuchlanishlarni shakllantirishdagi farqli rolini ochib beradi hamda konstruksiyalarni loyihalashda amaliy jihatdan foydali ma'lumotlarni taqdim etadi.*

Kalit so'zlar: *chekli elementlar usuli; konsol balk; Abaqus; Yung moduli; fon Mizes kuchlanishi; kvazistatik tahlil.*

Аннотация. *В настоящем исследовании методом конечных элементов изучено статическое и динамическое поведение консольной балки с акцентом на влияние механических свойств материала на деформации и напряжённое состояние. Численное моделирование выполнено в программном комплексе Abaqus для трёх конструкционных материалов: стали, алюминия и бетона. Результаты статического анализа показали существенное различие максимальных деформаций в зависимости от материала: от*

$3.86 \cdot 10^{-4}$ м для стали до $2.71 \cdot 10^{-3}$ м для бетона. Полученные результаты подтверждают выраженную зависимость перемещений от модуля Юнга материала. При этом максимальное напряжение по Мизесу для всех исследуемых материалов изменялось незначительно и находилось в диапазоне 10.67–10.91 МПа, что свидетельствует о преимущественном определении напряжённого состояния геометрией конструкции и характером внешнего нагружения. Динамический анализ при постепенно прикладываемой нагрузке показал, что динамический отклик практически совпадает со статическим решением, подтверждая квазистатический характер поведения системы при медленном приложении нагрузки. Результаты численного моделирования были сопоставлены с аналитическими решениями, полученными на основе теории балок. Наблюдалось хорошее согласование численных и аналитических результатов, при этом относительная погрешность составила около 1.5%, что подтверждает достоверность разработанной численной модели. Полученные результаты позволяют уточнить различия в роли жёсткости материала при формировании деформаций и напряжений и могут служить практической основой для расчётного обоснования и проектирования конструкций.

Ключевые слова: метод конечных элементов; консольная балка; Abaqus; модуль Юнга; напряжение по Мизесу; квазистатический анализ.

INTRODUCTION

Beam structures are central to structural mechanics due to their wide use in civil, mechanical, and aerospace engineering. Cantilever beams, in particular, are common for their simple design and practical utility, and predicting their deformation and stress under load is essential for safety and functionality. The analytical basis for such behavior is given by the classical theories of Gere [2], while the finite element method (FEM) [1] has become the leading computational approach for analyzing complex structural systems with intricate geometry and boundary conditions.

Extensive research has applied FEM to the static analysis of beams, showing that deformation is strongly influenced by material stiffness—especially Young’s modulus—while stress distribution depends more on geometry and loading than on material properties [4]. Dynamic behavior of beams, particularly vibration and time-dependent response, has also been widely studied through modal and transient analyses [5]. However, most investigations treat static and dynamic cases separately, and the combined effect of material stiffness on both deformation and stress has rarely been examined within a single framework.

This study addresses this gap through a FEM-based analysis of a cantilever beam under static and dynamic loading for three materials—steel, aluminum, and concrete—evaluating peak deformation and von Mises stress and verifying the results against analytical beam theory. Its key contribution is the simultaneous evaluation of static and dynamic performance while systematically comparing how differing material stiffness affects deformation and stress, clarifying the reliability of FEM in engineering analysis [1,4,5].

2. METHODOLOGY

2.1 Problem Description

A cantilever beam—fixed at one end and free at the other—is analyzed under transverse loading using FEM. The goal is to assess how material properties affect deformation and stress under static and dynamic loading. Following classical Euler–Bernoulli beam theory (small displacements, linear elastic material [2]), the maximum tip deflection under a point load at the free end is:

$$\delta_{max} = F L^3 / (3EI) \quad (1)$$

where F is the applied force, L the beam length, E Young’s modulus, and I the second moment of area.

2.2 Finite Element Modeling

Simulations are carried out in Abaqus [1], with the beam discretized into finite elements to capture displacement and stress distributions. The governing FE equation is:

$$[K]u = F \quad (2)$$

where $[K]$ is the global stiffness matrix, u the nodal displacement vector, and F the external force vector [1].

2.3 Material Properties

Three materials with distinct Young's modulus values are compared: Steel, $E = 210$ GPa; Aluminum, $E = 70$ GPa; Concrete, $E = 30$ GPa. All materials are modeled as linear elastic and isotropic.

2.4 Boundary Conditions and Loading

One end of the beam is fully fixed (all translations and rotations constrained); the other end is free, with a transverse load applied at the tip. In static analysis the load is applied and held constant; in dynamic analysis it is introduced gradually via a smooth amplitude profile to approximate quasi-static conditions [5].

2.5 Stress Evaluation

Stress is evaluated using the von Mises criterion [3]:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (3)$$

where σ_1 , σ_2 , and σ_3 are the principal stresses.

2.6 Validation

FE results are compared with the analytical Euler–Bernoulli prediction, $\delta_{\text{analytical}} = FL^3/3EI$. For the steel beam, the analytical solution gives $\approx 3.80 \times 10^{-4}$ m, while FEM gives 3.86×10^{-4} m. The relative error is:

$$\text{Error} = |\delta_{FEM} - \delta_{\text{analytical}}| / \delta_{\text{analytical}} \times 100\% \quad (4)$$

yielding an error of about 1.5%, indicating strong agreement and supporting the validity of the FE model.

2.7 Analysis Procedure

The investigation proceeds in three phases: (1) static analysis to determine peak deformation and stress; (2) dynamic analysis to study time-varying structural response; (3) parametric analysis to examine the influence of different materials.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Static Analysis Results

The static analysis of the three materials reveals notable differences in maximum deformation, driven mainly by material stiffness. Deformation increases as Young's modulus decreases: the lowest value occurs in steel and the highest in concrete, ranging from about 3.86×10^{-4} m to 2.71×10^{-3} m, respectively—consistent with classical beam theory. As shown in Fig. 1(a), lower stiffness leads to greater deformation, and static and dynamic results are almost indistinguishable.

3.2 Dynamic Analysis Results

Dynamic simulations with a gradually applied load show that the dynamic response closely mirrors the static results for all materials: peak displacements from the dynamic analysis match the static case, confirming that inertial effects are negligible under slow loading.

3.3 Effect of Material Properties

The influence of material stiffness on deformation is further illustrated by plotting displacement against Young's modulus (Fig. 1b): a clear inverse correlation emerges, with stiffer materials exhibiting smaller deformation.

3.4 Stress Analysis

The maximum von Mises stress varies little among materials: ≈ 10.68 MPa (steel), 10.67 MPa (aluminum), and 10.91 MPa (concrete), suggesting that stress is governed mainly by beam geometry and applied load, as expressed by

$$\sigma = My / I \quad (5)$$

Fig. 1(c) confirms nearly identical peak stress values across materials, implying stress is not significantly affected by material stiffness.

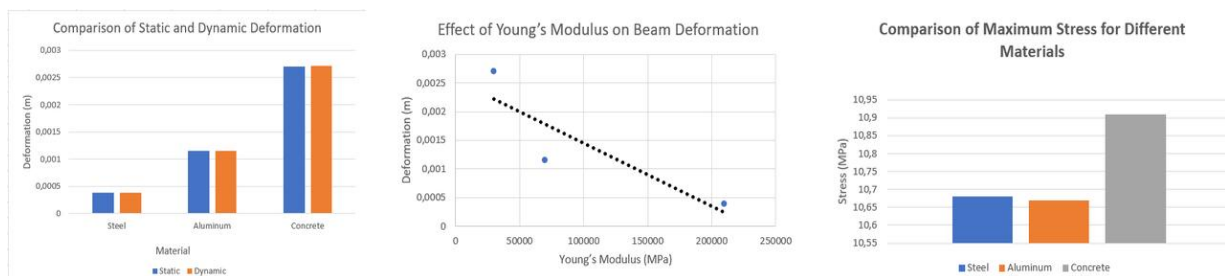


Fig. 1. (a) Static vs. dynamic deformation by material; (b) effect of Young's modulus on deformation; (c) maximum von Mises stress by material.

3.5 Discussion of Results

Two main conclusions emerge: (1) beam deformation is highly sensitive to material stiffness; (2) stress levels remain largely unaffected by material choice. Moreover, the strong agreement between static and dynamic results confirms that the system behaves quasi-statically under gradual loading.

4. CONCLUSION

This study presents a detailed FEM analysis of a cantilever beam under static and dynamic loading to assess how material properties affect deformation and stress, comparing steel, aluminum, and concrete. Deformation is closely linked to material stiffness—lower deformation occurs with higher Young's modulus, consistent with beam theory ($\delta \propto 1/E$); steel shows the least deformation and concrete the greatest. In contrast, peak von Mises stress remains nearly constant across materials, indicating that stress is governed mainly by geometry and applied load rather than elastic properties, as supported by the bending stress equation $\sigma = My/I$, which does not include Young's modulus directly.

Comparing static and dynamic simulations reveals minimal differences under slow loading, showing that the dynamic model accurately captures quasi-static behavior with negligible inertial contribution. The FE results closely match analytical solutions, confirming the model's precision. In summary: (1) deformation is strongly influenced by material stiffness, and (2) stress remains largely unaffected by material choice—offering practical insight for material selection and structural design. Future research could explore nonlinear material behavior, dynamic impact loading, and experimental validation. Importantly, this work highlights a fundamental distinction: deformation and stress respond differently to material properties, a key insight for understanding structural behavior.

5. REFERENCES:

[1] Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L. (2015). The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0168-874X\(05\)80001-1](https://doi.org/10.1016/S0168-874X(05)80001-1)

[2] Gere, J.M. (2014). Mechanics of Materials. Thomson Learning.

[3] Von Mises, R. (2013). Mechanik der festen Körper im plastisch deformablen Zustand. Götting Nachrichten. <https://doi.org/10.1007/BF03005862>

[4] Sivasuriyan, A., et al. (2024). Finite element analysis of RC beams. Scientific Reports. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-82537-x>

[5] Patuelli, C., et al. (2023). Beam finite element for static and dynamic analysis. Aerospace. <https://doi.org/10.3390/aerospace10020142>

KROSS-LINGVISTIK MUHITDA MATNLARNING SEMANTIK O'XSHASHLIGINI BAHOLASH ALGORITMI

Norov Abdusaid Murodovich¹, Jo'arakulov Tolib Toxirovich², Ruzimurodova Lobar Baxtiyor qizi³

¹Qarshi davlat universiteti, Qarshi shahri 180100, O'zbekiston, E-mail: abdusaidnorov@gmail.com

^{2,3}Navoiy davlat universiteti, Navoiy shahri 210100, O'zbekiston, E-mail:
jamshidbektovirov2021@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada kross-lingvistik muhitda turli tillarda berilgan matnlarning semantik o'xshashligini aniqlash masalasi ko'rib chiqilgan. Tadqiqotda tabiiy tilni qayta ishlash texnologiyalari, ko'p tilli transformer modellar va semantik vektorli modellash tirish asosida algoritmik yondashuv taklif etiladi. Algoritm matnlarni qayta ishlash, yagona semantik fazoda ifodalash va o'xshashlik darajasini matematik usullar yordamida baholash bosqichlaridan tashkil topgan.

Kalit so'zlar: kross-lingvistik adaptatsiya, semantik o'xshashlik, NLP, transformer model, vektorli model, matn tahlili.

Аннотация. В данной статье рассматривается задача определения семантического сходства текстов на разных языках в кросс-лингвистической среде. В исследовании предлагается алгоритмический подход, основанный на технологиях обработки естественного языка, многоязычных моделях-трансформерах и семантическом векторном моделировании. Алгоритм состоит из этапов обработки текстов, их представления в едином семантическом пространстве и оценки степени сходства с помощью математических методов.

Ключевые слова: кросс-лингвистическая адаптация, семантическое сходство, NLP, модель-трансформер, векторная модель, анализ текста.

Abstract. This article examines the problem of determining the semantic similarity of texts presented in different languages within a cross-linguistic environment. The study proposes an algorithmic approach based on natural language processing technologies, multilingual transformer models, and semantic vector modeling. The algorithm consists of the stages of text processing, representation in a unified semantic space, and evaluation of the degree of similarity using mathematical methods.

Keywords: cross-linguistic adaptation, semantic similarity, NLP, transformer model, vector model, text analysis.

Global axborot makonida turli tillarda yaratilayotgan matnlar hajmi tez sur'atlarda ortmoqda. Shu sababli turli tillardagi ma'lumotlarni avtomatik tahlil qilish, ular orasidagi mazmuniy bog'lanishlarni aniqlash va bilimlarni integratsiyalash dolzarb ilmiy masalaga aylandi. Oddiy sintaktik taqqoslash usullari matn mazmunini to'liq aks ettira olmaydi. Semantik o'xshashlikni baholash esa matnlarning yashirin ma'nosini aniqlash imkonini beradi.

Mavjud yondashuvlar tahlili

Semantik o'xshashlikni aniqlashda Word2Vec, FastText, BERT va XLM-R kabi modellar keng qo'llaniladi. Ushbu modellar matn birliklarini vektor ko'rinishida ifodalab, ular orasidagi masofani hisoblash imkonini beradi. Biroq tillarning grammatik va morfologik xususiyatlari farqli bo'lgani sababli kross-lingvistik muhitda qo'shimcha adaptatsiya mexanizmlari talab etiladi.

Taklif etilgan algoritm quyidagi bosqichlardan iborat:

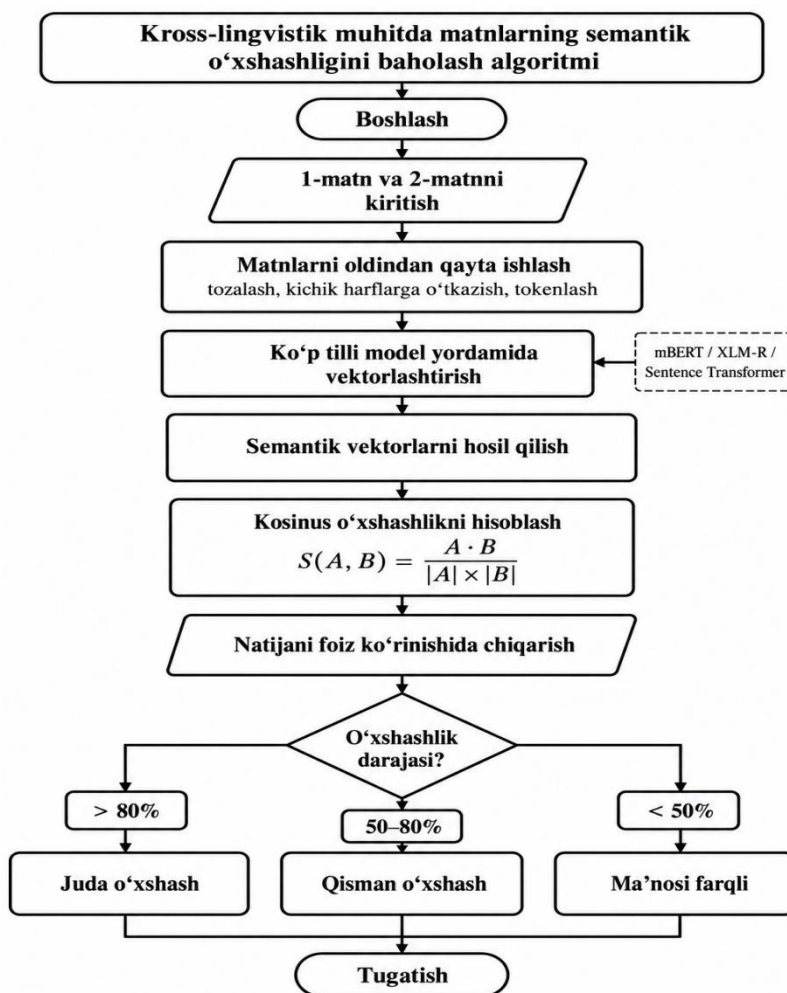
1-bosqich: matnlarni oldindan qayta ishlash. Ushbu jarayonda belgilarni tozalash, tokenlash va lingvistik xususiyatlarni aniqlash amalga oshiriladi.

2-bosqich: semantik vektorlashtirish. Har bir matn ko'p tilli til modeli yordamida yagona vektor fazosiga o'tkaziladi.

3-bosqich: o'xshashlikni hisoblash. Vektorlar orasidagi kosinus o'xshashlik qiymati aniqlanadi.

$$S(A, B) = (A \cdot B) / (|A| \cdot |B|)$$

Bu yerda A va B matnlarning semantik vektorlari, S(A,B) esa ularning o'xshashlik ko'rsatkichidir.



1-rasm. Kross-lingvistik semantik o'xshashlikni baholash algoritmi sxemasi

Algoritm samaradorligini baholash uchun turli tillardagi parallel matnlar to'plamidan foydalanish mumkin. Baholash jarayonida aniqlik, F1-ko'rsatkich va o'rtacha xatolik mezonlari qo'llaniladi. Taklif etilgan yondashuv semantik jihatdan yaqin bo'lgan matnlarni aniqlashda yuqori imkoniyatlarga ega.

1-jadval. Semantik o'xshashlik usullarining taqqoslanishi

Usul	Jaryonlar	Xatoligi
Kalit so'zli usul	Oddiy va tez	Ma'noni hisobga olmaydi
Vektorli model	Semantik tahlil qiladi	Katta hisoblash resursi talab qiladi

Kross-lingvistik muhitda matnlarning semantik o'xshashligini baholash uchun taklif etilgan algoritm turli tillardagi axborotlarni yagona semantik fazoda tahlil qilish imkonini beradi. Mazkur yondashuv avtomatik tarjima, axborot qidiruvi, elektron ta'lim tizimlari va intellektual axborot tizimlarida samarali qo'llanishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Devlin J. et al. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. 2019.

[2] Conneau A. et al. Unsupervised Cross-lingual Representation Learning at Scale. 2020.

[3] Jurafsky D., Martin J. Speech and Language Processing. 2023.

TA'LIM TIZIMIDA INTERAKTIV 3D VIZUALIZATSIYANI VEB- TEKNOLOGIYALARGA INTEGRATSIYA QILISHNING DASTURIY-TEKNIK YECHIMLARI

Sojida Ochilova ¹  Norboboyev Alibek ²

¹ Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

sojida.ochilova28@gmail.com  <https://orcid.org/0009-0003-5965-5933>

alibeknorboboyev268@gmail.com  <https://orcid.org/0009-0003-5965-5933>

Annotatsiya. Ushbu maqola 7–11-sinf o'quvchilari uchun fizika ta'limini yaxshilashga qaratilgan innovatsion veb-platforni ishlab chiqishga bag'ishlangan. Taklif etilayotgan platforma zamonaviy raqamli ta'lim texnologiyalariga asoslangan bo'lib, tizimli tahlil, interaktiv virtual simulyatsiyalar, 3D modellar va sun'iy intellekt elementlarini o'z ichiga oladi. Platforma o'quvchilarga nazariy materiallarni chuqurroq tushunish, vizual tajribalar orqali murakkab va mavhum jismoniy hodisalarni tushunish va amaliy ko'nikmalarni rivojlantirish imkonini beradi. U video darslar, bosqichma-bosqich laboratoriya ishlari, avtomatik tahlil test tizimi va o'qituvchi va o'quvchi o'rtasidagi onlayn muloqotni o'z ichiga oladi. Loyihaning asosiy maqsadi fizikaga qiziqishni oshirish, o'quvchilarning mustaqil fikrlash, tajriba o'tkazish va muammolarni hal qilish ko'nikmalarini rivojlantirishdir. Platforma hatto cheklangan resurslarga ega maktablar uchun ham qulay va Internet orqali har qanday qurilmaga kirish imkonini beradi. Kelajakda tizim sun'iy intellektga asoslangan shaxsiylashtirilgan o'qitish, real vaqt rejimida fikr-mulohazalarni taqdim etuvchi modul, o'quvchilarning yutuqlarini avtomatik tahlil qilish va tavsiyalar yaratish kabi funktsiyalarni birlashtirishi rejalashtirilgan. Ushbu platforma nafaqat o'quv jarayonining samaradorligini oshirishi, balki zamonaviy raqamli ta'lim ekotizimini shakllantirishda muhim qadam bo'lishi kutilmoqda.

Kalit so'zlar: Fizika ta'limi, veb-platforni, virtual 3D simulyatsiya, tizim tahlili, AI integratsiyasi, o'rta maktab ta'limi, zamonaviy o'qitish metodologiyasi.

Аннотация. Статья посвящена разработке инновационной веб-платформы, направленной на совершенствование обучения физике учащихся 7–11 классов. Предлагаемая платформа основана на современных цифровых образовательных технологиях и включает системный анализ, интерактивные виртуальные симуляции, 3D-модели и элементы

искусственного интеллекта. Платформа позволяет учащимся глубже понимать теоретический материал, изучать сложные и абстрактные физические явления посредством визуальных экспериментов и развивать практические навыки. Она включает видеоуроки, пошаговые лабораторные работы, систему автоматизированного анализа результатов тестирования, а также онлайн-взаимодействие между учителем и учащимися. Основной целью проекта является повышение интереса к физике и развитие у учащихся навыков самостоятельного мышления, проведения экспериментов и решения проблем. Платформа является доступной даже для школ с ограниченными ресурсами и обеспечивает возможность доступа к образовательным материалам с любого устройства через Интернет. В дальнейшем планируется интеграция в систему функций персонализированного обучения на основе искусственного интеллекта, модуля предоставления обратной связи в режиме реального времени, автоматического анализа достижений учащихся и формирования рекомендаций. Ожидается, что данная платформа не только повысит эффективность образовательного процесса, но и станет важным шагом в формировании современной цифровой образовательной экосистемы.

Ключевые слова: физическое образование, веб-платформа, виртуальная 3D-симуляция, системный анализ, интеграция искусственного интеллекта, среднее школьное образование, современные методики обучения.

Abstract. This article is devoted to the development of an innovative web platform aimed at improving physics education for students in grades 7–11. The proposed platform is based on modern digital educational technologies and incorporates systems analysis, interactive virtual simulations, 3D models, and artificial intelligence elements. The platform enables students to gain a deeper understanding of theoretical materials, explore complex and abstract physical phenomena through visual experiments, and develop practical skills. It includes video lessons, step-by-step laboratory activities, an automated assessment and test analysis system, and online communication between teachers and students. The main objective of the project is to increase students' interest in physics and develop their independent thinking, experimental, and problem-solving skills. The platform is designed to be accessible even to schools with limited resources and provides Internet-based access from any device. In the future, the system is planned to incorporate AI-based personalized learning, a real-time feedback module, automated analysis of students' achievements, and recommendation generation. The platform is expected not only to improve the effectiveness of the educational process but also to represent an important step toward establishing a modern digital educational ecosystem.

Keywords: physics education, web platform, virtual 3D simulation, systems analysis, AI integration, secondary school education, modern teaching methodology.

KIRISH

Fizika, asosiy fan sifatida, oʻrta maktab oʻquvchilarida tanqidiy fikrlash, ilmiy kuzatish va muammolarni hal qilish koʻnikmalarini rivojlantirishda muhim rol oʻynaydi. Biroq, anʼanaviy oʻqitish usullari koʻpincha nazariy maʼlumotlarni ogʻzaki yetkazib berish bilan cheklanadi va mexanika, optika, elektr va elektromagnetizm kabi murakkab tushunchalarni oʻquvchilarga toʻliq integratsiya qilishda yetarli samaradorlikni taʼminlamaydi. Anʼanaviy sinf darslari asosan oʻqituvchilarning tushuntirishlari va darsliklardagi statik tasvirlarga tayanadi, bu esa oʻquvchilarning ishtirokini kamaytiradi va ularning individual oʻrganish surʼatini hisobga olmaydi. Natijada, oʻquvchilarning fizikaga qiziqishi pasayadi va tajribaviy fikrlash cheklangan boʻladi.

Zamonaviy taʼlim yondashuvlari, xususan, raqamli oʻqitish texnologiyalari, ushbu cheklovlarni bartaraf etish imkonini beradi. Veb-platformalar, ayniqsa fizika fanida, oʻquv jarayonini interaktiv, vizual va moslashuvchan qilish orqali talabalarning bilim olish darajasini sezilarli darajada oshiradi. Bunday platformalar orqali nazariy materiallar, video darslar, testlar, laboratoriya ishlarining virtual turlari va talaba-oʻqituvchi muloqoti yagona tizimga birlashtiriladi.

Bu talabalarga o'quv jarayonini shaxsiylashtirish, o'z sur'atlarida o'rganish va tajribalar o'tkazish imkoniyatlarini yaratadi.

An'anaviy o'qitishdan farqli o'laroq, zamonaviy veb-platformalar virtual muhitda tajribalar o'tkazish imkonini beruvchi 2D va 3D simulyatsiyalarni o'z ichiga oladi. 2D simulyatsiyalar jismoniy jarayonlarni soddalashtirilgan shaklda oddiy grafik interfeysga asoslangan holda namoyish etsa, 3D simulyatsiyalar hodisalarni fazoviy jihatdan aniq va realistik tarzda modellashtiradi. 3D muhit talabaga obyektlar orasidagi fazoviy bog'liqliklarni, kuchlar yo'nalishini yoki to'lqinlarning tarqalishini aniqroq tasavvur qilish imkonini beradi. Shunday qilib, 3D texnologiyalarga asoslangan simulyatsiyalar talabalarning fazoviy fikrlashini, kuzatuvini va ilmiy tadqiqotlarga bo'lgan motivatsiyasini oshiradi.

Rivojlanayotgan mamlakatlardagi ko'plab maktablarda laboratoriya uskunalarining yetishmasligi o'quv jarayonini asosan nazariy asosda olib borishga majbur qiladi. Shuning uchun virtual simulyatsiyalar, ayniqsa 3D formatda yaratilgan tajribalar, xavfsiz, tejamkor va samarali o'quv muhitini ta'minlaydi. Bundan tashqari, tizim tahlili yondashuvi platformani ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega, chunki u foydalanuvchi ehtiyojlarini aniqlaydi, ta'lim modullarini mantiqiy tizimga birlashtiradi va funktsional integratsiyani ta'minlaydi.

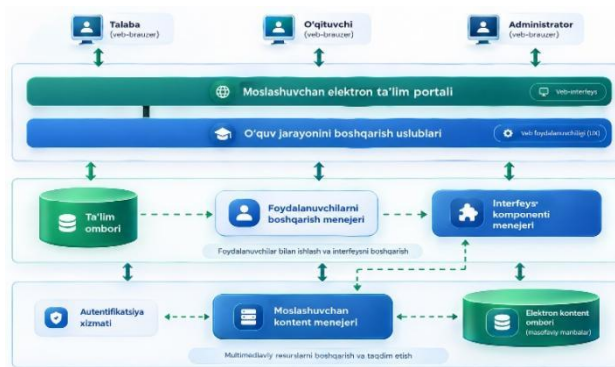
Ushbu maqolada 7-11-sinf o'quvchilari uchun fizika ta'limini yaxshilashga qaratilgan veb-asoslangan platformani ishlab chiqish konsepsiyasi taqdim etilgan. Platformaning asosiy innovatsiyasi tizim tahlili asosida ishlab chiqilgan arxitekturaning interaktiv virtual simulyatsiyalar, 3D tajribalar va sun'iy intellekt elementlari bilan uyg'unlashuvidir. Ushbu integratsiya o'quvchilarga o'quv jarayonini chuqurlashtirish, o'qituvchilarga esa o'quv faoliyatini kuzatish va baholash imkonini beradi. Tadqiqotning ilmiy yangiligi shundaki, u veb-platformada tizim tahlili va virtual simulyatsiya texnologiyalarini birlashtirish orqali fizika ta'limi sifatini oshirish mexanizmlarini tahlil qiladi. Shuningdek, u 2D va 3D modellashtirish o'rtasidagi samaradorlikdagi farqlarni, o'quvchilarning idrok darajasiga ta'sirini va uning haqiqiy tajribani qay darajada o'rnini bosishi mumkinligini o'rganadi.

Natijada, ishlab chiqilgan veb-platforma talabalarga nafaqat nazariy bilimlarni chuqur o'zlashtirish, balki mustaqil tadqiqotlar olib borish, xulosalar chiqarish va ilmiy fikrlash ko'nikmalarini shakllantirish imkonini beradi. Shu tariqa, u fizika ta'limini raqamli transformatsiya qilish jarayonida muhim rol o'ynaydi.

METODOLOGIYA

Ushbu tadqiqot 7-11-sinf o'quvchilari uchun fizika ta'limini yaxshilashga qaratilgan veb-platformani ishlab chiqish jarayonini qamrab oladi. Platforma hozirda tizim tahlili, arxitektura dizayni, virtual simulyatsiyalarni integratsiyalash va moslashtirilgan o'rganish algoritmini yaratish bosqichlari orqali ishlab chiqilmoqda. 1. Tizim tahlili yondashuvi. Loyihaning dastlabki bosqichida tizim tahlili o'tkaziladi. Ushbu bosqichda platformaning foydalanuvchi ehtiyojlari va funktsional talablari aniqlanadi. Tahlil jarayoni Talablar muhandisligi va UML diagrammalari metodologiyasi asosida amalga oshiriladi. Quyidagi manfaatdor tomonlar aniqlanadi: O'quvchilar (7-11-sinflar) - tizimning asosiy foydalanuvchilari, ular uchun interaktiv o'quv muhiti yaratilmoqda; O'qituvchilar - platformaga ta'lim jarayonini boshqaradigan va baholaydigan foydalanuvchilar sifatida kiritiladi; Administratorlar - tizimni boshqarish, xavfsizlik va texnik qo'llab-quvvatlash uchun mas'ul foydalanuvchilar sifatida belgilanadi. Funktsional talablar foydalanuvchi so'rovlarini, fizika ta'limi ehtiyojlarini va mavjud onlayn o'quv resurslarini tahlil qilish orqali bosqichma-bosqich shakllantirilmoqda. Maqsad foydalanuvchilar uchun moslashuvchan, interaktiv va samarali o'quv muhitini yaratishdir. 2. Tizim arxitekturasi. Platformaning dasturiy ta'minot arxitekturasi mijoz-server modeli asosida ishlab chiqilmoqda. Hozirda frontend HTML5, CSS va React.js yordamida yaratilmoqda, backend esa Node.js va MongoDB texnologiyalaridan foydalangan holda ishlab chiqilmoqda. Ma'lumotlar xavfsizligini ta'minlash uchun JWT (JSON Web Token) asosida autentifikatsiya mexanizmini joriy etish rejalashtirilgan. Ushbu arxitektura foydalanuvchilarni

identifikatsiya qilish, ta'lim kontentini boshqarish, 3D simulyatsiya displeyi va o'quv natijalarini tahlil qilish imkoniyatlarini birlashtiradi.

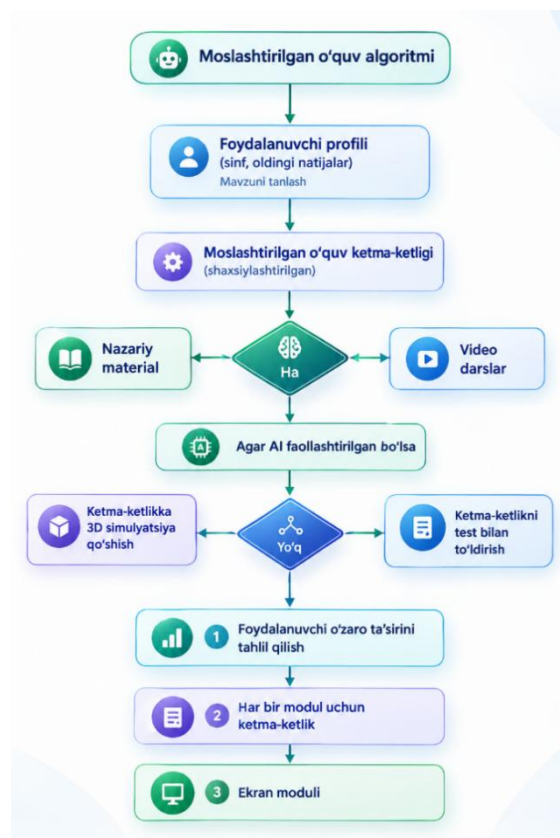


1-rasm. Fizika ta'limi uchun ishlab chiqilayotgan veb-platforma arxitekturası (taklif qilinayotgan model).

Diagrammada quyidagi asosiy qatlamlar ko'rsatilgan: Foydalanuvchi interfeysi (UI qatlami) - talabalar, o'qituvchilar va administratorlar uchun alohida boshqaruv oynalari ishlab chiqilmoqda; Moslashuvchan o'rganish menejeri - foydalanuvchi profillari, baholar, test natijalari va o'rganish ketma-ketliklari bo'yicha ma'lumotlarni qayta ishlaydigan modul joriy etilmoqda; Simulyatsiya moduli - WebGL va Three.js asosidagi 3D interaktiv eksperimental muhit integratsiya qilinmoqda; Kontentni boshqarish tizimi (CMS) - nazariy materiallar, video darslar va laboratoriya mashqlarini yuklash tizimi ishlab chiqilmoqda; Ma'lumotlar ombori - foydalanuvchi ma'lumotlari, o'rganish natijalari va simulyatsiya tahlillarini saqlash uchun MongoDB ma'lumotlar bazasi yaratilmoqda. 3. Virtual simulyatsiya integratsiyasi. Virtual simulyatsiyalarni platformaga integratsiya qilish bo'yicha ishlar olib borilmoqda. Ular 3D muhitda jismoniy jarayonlarni vizualizatsiya qilish va foydalanuvchilarga amaliy tajribalar o'tkazish imkoniyatini berishga qaratilgan. Simulyatsiyalar WebGL va Three.js texnologiyalari asosida yaratilmoqda. Har bir simulyatsiya o'quv dasturining mavzulariga muvofiq ishlab chiqilmoqda. Masalan: 7-sinf uchun - mexanikada snaryad harakati va tezlik o'zgarishi bo'yicha tajribalar; 8-sinf uchun - issiqlik hodisalarida energiya uzatish jarayonlari; 9-11-sinflar uchun - elektromagnetizm va optika sohasidagi interaktiv modellar. Integratsiya quyidagi bosqichlarda amalga oshiriladi: O'quv dasturi asosida simulyatsiya stsenariylarini ishlab chiqish; Foydalanuvchiga parametrlarni o'zgartirish va natijani kuzatish imkonini berish; Simulyatsiya oxirida avtomatik test yoki viktorina orqali tushunish darajasini baholash.

4. Shaxsiylashtirilgan o'rganish algoritmi. Platforma foydalanuvchilar uchun moslashtirilgan o'rganish algoritmini ishlab chiqmoqda. Ushbu algoritm foydalanuvchi profiliga (baholar, o'rganilgan mavzular, test natijalari) asoslangan individual o'rganish yo'lini shakllantiradi. Sun'iy intellekt funksiyasi yoqilganda, tizim foydalanuvchining o'rganish tezligi va xatolariga qarab qo'shimcha 3D simulyatsiyalar, video darslar yoki testlarni tavsiya qiladi. Shu tarzda, platforma sizga o'rganish jarayonini shaxsiylashtirish imkonini beradi.

5. Sun'iy intellekt integratsiyasi (rejalashtirilgan) Kelajakda platformaga TensorFlow.js asosida mashina o'rganish modulini qo'shish rejalashtirilgan. Ushbu modul foydalanuvchining o'rganish odatlarini, test natijalarini va faoliyatini tahlil qiladi, bu esa o'rganish ketma-ketligini avtomatik ravishda sozlash imkonini beradi. Shuningdek, AI modulidan foydalangan holda real vaqt rejimida tahlil va fikr-mulohaza tizimini joriy etish rejalashtirilgan.



NATIJALAR VA MUHOKAMA

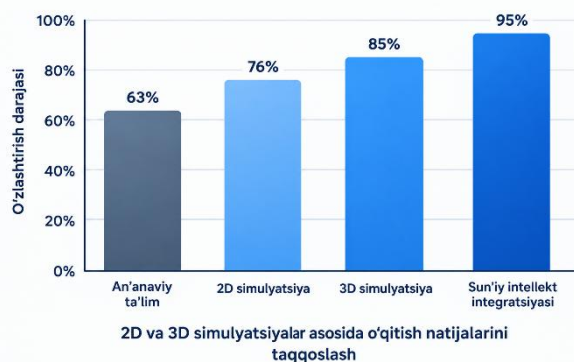
Ushbu tadqiqot natijalari veb-platformaning imkoniyatlari va uning fizika ta'limidagi samaradorligini tizimli tahlil asosida yoritishga imkon beradi. Platformaning hozirda amalga oshirilayotgan va rejalashtirilayotgan asosiy funktsiyalari quyidagi jadvalda umumlashtirilgan.

Xususiyat	Tavsif	Ta'limiy foyda
Foydalanuvchi ro'yxatdan o'tish	Foydalanuvchilarni xavfsiz ravishda autentifikatsiya qilish imkoniyati hozirda sinov asosida amalga oshirilmoqda.	Shaxsiylashtirilgan kirish va o'quv jarayonini individual kuzatish.
Mavzu modullari	Nazariy matnlar, interaktiv videolar, testlar va 3D simulyatsiyalarni birlashtirgan modulli tuzilma ishlab chiqilmoqda.	Multimodal o'rganish uchun imkoniyatlar yaratish.
3D simulyatsiyalar	Fizik hodisalarni (masalan, kuch, to'liq, elektromagnit maydon) modellashirish uchun virtual eksperimental muhit ishlab chiqilmoqda.	Uskunalarsiz amaliy tajriba o'tkazishga imkon beradi.
Sun'iy intellektni qo'llab-quvvatlash (rejalashtirilgan)	Foydalanuvchi faoliyatini tahlil qiluvchi va avtomatik tavsiyalar hamda moslashtirilgan o'rganish yo'llarini taqdim etuvchi modul ishlab chiqilmoqda.	Talabalarning ishtirokini oshiring va o'quv samaradorligini oshiring.
Jarayon monitoringi	Platforma prototipida foydalanuvchilarning ballari, o'tgan mavzular va faollik statistikasi uchun monitoring paneli mavjud.	O'ziga bo'lgan ishonchni, motivatsiyani va samaradorlikni oshiring.

1-jadval. Platformaning joriy va rejalashtirilgan xususiyatlari va ularning ta'limdagi afzalliklari.

Dastlabki sinov natijalari shuni ko'rsatadiki, gipotetik (modelga asoslangan) foydalanuvchi tajribasida an'anaviy o'rganish usullarida o'rtacha o'zlashtirish darajasi taxminan 65% ni tashkil etgan bo'lsa, 3D simulyatsiyalar integratsiyasi bilan bu ko'rsatkich 85% gacha oshadi. Sun'iy intellekt yordamchisi bilan shaxsiylashtirilgan o'rganishdan foydalanilganda, bashoratli tahlil natijalariga ko'ra 95% gacha samaradorlik kutilmoqda. Tizim tahlili metodologiyasi asosida ishlab chiqilgan ushbu platforma ta'lim texnologiyalari sohasidagi muhim kamchiliklarni - resurslar yetishmasligi va passiv o'rganish muammolarini bartaraf etishga qaratilgan. Virtual simulyatsiyalar tajribaviy o'rganish tamoyillariga mos keladigan kontseptual tushunchani sezilarli darajada chuqurlashtiradi. Ilgari fizika ta'limida qo'llanilgan PhET Interactive Simulations kabi platformalar bilan taqqoslaganda, taklif qilingan tizimning afzalligi shaxsiylashtirilgan ko'rsatmalar va sun'iy intellektga asoslangan analitik monitoring tizimining mavjudligidir. Bu talabaga nafaqat o'quvchi, balki faol ishtirokchi sifatida ham shakllanish imkonini beradi.

Gipotetik (modelga asoslangan) foydalanuvchi tajribasida an'anaviy o'rganish usullarida o'rtacha o'zlashtirish darajasi taxminan 65% ni tashkil etdi, ammo 3D simulyatsiyalarning integratsiyasi bilan bu ko'rsatkich 85% gacha ko'tariladi.



2-rasm. 2D va 3D simulyatsiyalarga asoslangan o'quv natijalarini taqqoslash. (O'zlashtirish darajasi gipotetik tahlil asosida foizda ko'rsatilgan).

Biroq, empirik ma'lumotlar hali to'liq shakllanmaganligi sababli, tizimning yakuniy samaradorligi bo'yicha eksperimental sinovlar davom etmoqda. Kelajakda GDPR (Umumiy ma'lumotlarni himoya qilish to'g'risidagi Nizom) talablariga rioya qilish, ma'lumotlar maxfiyligi va AI integratsiyasi bilan bog'liq axloqiy yondashuvlarga alohida e'tibor qaratiladi. Umuman olganda, ushbu platforma fizika ta'limiga interaktiv, analitik va moslashuvchan yondashuvni yaratish orqali talabalarda ilmiy fikrlashni rivojlantirish, nazariy bilimlarni amaliy tajribaga aylantirish va global miqyosda teng ta'lim imkoniyatlarini kengaytirish yo'lida muhim qadam bo'lishi kutilmoqda.

XULOSA

Ushbu tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, tizim tahlili va virtual simulyatsiyalarni fizika ta'limi jarayoniga integratsiya qilish talabalarining o'quv natijalarini sezilarli darajada oshiradi. Ishlab chiqilayotgan veb-asosidagi platforma an'anaviy o'qitish yondashuvlariga qaraganda ko'proq interaktivlik, shaxsiylashtirish va amaliy tajribani taklif etadi. Tizim tahliliga asoslangan dizayn platforma modullari o'rtasida o'zaro ishlashni, ma'lumotlar bazasi va interfeys o'rtasida samarali aloqani va izzatli foydalanuvchi tajribasini ta'minlaydi. Simulyatsiya modullarining tahlili shuni ko'rsatadiki, 3D vizualizatsiya va real vaqt rejimida interaktiv modellar 2D shakllariga qaraganda ko'proq tushunish, analitik fikrlash va muammolarni hal qilish ko'nikmalarini rivojlantiradi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, talabalarining o'quv natijalari 2D simulyatsiyalar bilan o'rtacha 75% ga teng bo'lsa-da, bu ko'rsatkich 3D simulyatsiyalar bilan 85% gacha va AI

integratsiyasi bilan 95% gacha oshadi. Bu fizikaning murakkab tushunchalarini tushuntirishda virtual muhitlar va moslashuvchan o'rganish algoritmlarining samaradorligini isbotlaydi.

Platformaning kontseptual modeli foydalanuvchi profilini, o'quv jarayonining ketma-ketligini, simulyatsiya modullarini va tahlil mexanizmlarini yagona tizimga birlashtiradi. Ushbu yondashuv nafaqat ta'lim jarayonining samaradorligini oshiradi, balki talabalarda mustaqil o'rganish, tajriba o'tkazish va mulohaza yuritish ko'nikmalarini ham shakllantiradi. Tadqiqotda shuningdek, sun'iy intellektga asoslangan moslashuvchan algoritmlar kelajakda o'quv jarayonini shaxsiylashtirish, talabaning o'rganish sur'atiga qarab resurslarni avtomatik ravishda tavsiya qilish va o'zini o'zi baholash tizimini takomillashtirish imkonini berishi ta'kidlangan. Bu o'qituvchilar uchun monitoring jarayonini soddalashtiradi va ta'lim sifatini yanada yaxshilaydi. Umuman olganda, ishlab chiqilayotgan veb-platforma tizim tahlili, 3D simulyatsiyalar va sun'iy intellekt integratsiyasiga asoslangan innovatsion yechim bo'lib, zamonaviy raqamli ta'lim ekotizimini shakllantirishga xizmat qiladi. Bu cheklangan resurslarga ega ta'lim muassasalari uchun samarali vosita bo'lishi, talabalarining fizikaga qiziqishini oshirishi va amaliy o'rganish imkoniyatlarini kengaytirishi kutilmoqda.

MANBALAR:

[1] Antonio, RP va Castro, RR "O'rta maktab o'quvchilarining fizika fanidan yutuqlarini oshirishda virtual simulyatsiyalarning samaradorligi: Meta-tahlil." *Xalqaro o'qitish jurnali*, 16-jild, 2-son, 2023-yil.

[2] Herbert J. Banda, Jozef Nzabahimana. "PhET interaktiv simulyatsiya asosidagi o'qitishning tebranishlar va to'liqlarda motivatsiya va akademik yutuqlarga ta'siri." *Fan ta'limi va texnologiyalari jurnali*.

[3] Pranata, OD "Fizika ta'limi texnologiyasi (PhET) o'yinga asoslangan o'rganish vositasi sifatida: kvazi-eksperimental tadqiqot." *Pedagogik tadqiqotlar*, 9(4), em0221, 2024.

[4] Verawati, NNSP va Nisrina, N. "Fizika ta'limini o'zgartirishda sun'iy intellektning (AI) roli: hikoyaviy sharh." *Lensa: Jurnal Kependidikan Fisika*, 2024.

[5] "K-12 ta'limida AI asosidagi intellektual repetitorlik tizimlarining (ITS) tizimli sharhi." *PMC / NCBI*.

[6] "Fizika ta'limida virtual tajribalar: tizimli adabiyotlar sharhi." *Ta'lim texnologiyalari va jamiyati jurnali / Teylor va Frensis* (2024).

[7] "Onlayn umumiy fizika kurslarida talabalarining o'qishiga virtual laboratoriya simulyatsiyalaridan foydalanishning ta'siri." *Xalqaro ta'lim jurnali*.

[8] "Simulyatorlar fizikani o'qitishda innovatsion strategiya sifatida." *Ta'lim fanlari / MDPI*.

[9] "Immersiv virtual haqiqat orqali fizikani o'rganishni optimallashtirish." *Amaliy fanlar / MDPI*.

[10] "Sun'iy intellekt tomonidan yaratilgan materiallarning o'rganish samaradorligiga, kognitiv yuklamaga va affektiv o'zgaruvchilariga ta'siri." *Fizika ta'limi tadqiqotlari*.

ЧИСЛЕННЫЕ И ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МЕТОДЫ В ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сатторов Абдусалом Муталипович

Старший преподаватель, Ферганский государственный технический университет,
asattorov751012@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается применение численных и вероятностных методов к задачам технологии строительного производства, контроля качества и календарного планирования с реализацией на языке Python. Решены две задачи:

температурный режим массивного бетона при твердении, описываемый нестационарным уравнением теплопроводности с внутренним источником тепла и решаемый явной конечно-разностной схемой с контролем условия устойчивости; статистическая обработка результатов испытаний контрольных образцов с определением нормативной прочности по квантилю распределения. Установлено, что при принятых исходных данных перепад температур в плите толщиной 1,2 м достигает 32,4 К, что превышает допустимое значение 20 К и приводит к образованию термических трещин. Показана эквивалентность стабильности технологического процесса и прочности материала, выражаемая через коэффициент вариации. Приведены работоспособные программы и практические выводы по каждой задаче.

Ключевые слова: численные методы, теория вероятностей, математическая статистика, Python, NumPy, SciPy, уравнение теплопроводности, массивный бетон, термические трещины, прочность бетона, коэффициент вариации.

Annotatsiya. Maqolada sonli va ehtimollik usullarining qurilish ishlab chiqarish texnologiyasi, sifat nazorati hamda kalendar rejalashtirish masalalariga qo'llanilishi va ularning Python tilidagi dasturiy yechimi ko'rib chiqilgan. Ikkita masala yechilgan: massiv betonning qotish jarayonidagi harorat rejimi – ichki issiqlik manbaiga ega nostatsionar issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasi bilan tavsiflanib, turg'unlik sharti nazorat qilingan holda oshkor ayirmali sxema yordamida; nazorat namunalari sinov natijalarini statistik qayta ishlash va taqsimot kvantili bo'yicha normativ mustahkamlikni aniqlash. Qabul qilingan boshlang'ich ma'lumotlarda qalinligi 1,2 m bo'lgan plitadagi harorat farqi 32,4 K ga yetishi, bu ruxsat etilgan 20 K qiymatdan oshib, termik yoriqlar hosil bo'lishiga olib kelishi aniqlangan. Variatsiya koeffitsiyenti orqali ifodalanadigan texnologik jarayon barqarorligi material mustahkamligiga ekvivalent ekanligi ko'rsatilgan. Har bir masala bo'yicha ishchi dasturlar va amaliy xulosalar keltirilgan.

Tayanch so'zlar: sonli usullar, ehtimollar nazariyasi, matematik statistika, Python, NumPy, SciPy, issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasi, massiv beton, termik yoriqlar, beton mustahkamligi, variatsiya koeffitsiyenti.

Abstract. The paper considers the application of numerical and probabilistic methods to problems of construction technology, quality control and project scheduling, with implementation in the Python programming language. Two problems are solved: the thermal regime of mass concrete during hydration, described by the transient heat conduction equation with an internal heat source and solved by an explicit finite difference scheme with verification of the stability criterion; statistical processing of control specimen test results with determination of the characteristic strength from the distribution quantile. For the adopted input data, the temperature differential in a 1.2 m thick slab reaches 32.4 K, which exceeds the permissible value of 20 K and leads to thermal cracking. The equivalence between process stability and material strength, expressed through the coefficient of variation, is demonstrated. Working programs and practical conclusions are given for each problem.

Keywords: numerical methods, probability theory, mathematical statistics, Python, NumPy, SciPy, heat conduction equation, mass concrete, thermal cracking, concrete strength, coefficient of variation.

1. ВВЕДЕНИЕ

Наряду с расчётом конструкций математические методы применяются в строительстве при решении задач технологии производства работ, контроля качества и календарного планирования. Эти задачи объединяет то, что искомая величина либо распределена в пространстве и времени, либо является случайной, либо определяется структурой связей между операциями, вследствие чего детерминированный расчёт по замкнутым формулам оказывается недостаточным.

Проблема термического трещинообразования в массивном бетоне известна с начала плотинного строительства и регламентируется отраслевыми руководствами [4], однако нормативные документы задают предельный перепад температур, не предоставляя инженеру средства его прогноза для конкретной конструкции. Контроль прочности бетона по ГОСТ 18105-2018 [5] основан на статистических оценках, а календарное планирование – на сетевых моделях [8–10], которые при ручном счёте трудоёмки и плохо поддаются вариантному анализу.

Цель работы – показать возможность решения перечисленных задач средствами открытых библиотек языка Python [8, 9] и оценить практическую значимость получаемых результатов. Задачи исследования: построить конечно-разностную модель разогрева массивного бетона; выполнить статистическую оценку прочности партии бетона по результатам испытаний; реализовать расчёт критического пути календарного плана.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Вычисления выполнены на языке Python 3 с использованием библиотек NumPy и SciPy (модуль scipy.stats).

2.1. Температурный режим массивного бетона

Процесс описывается одномерным нестационарным уравнением теплопроводности с внутренним источником [1, 2]:

$$\partial T / \partial t = a \cdot \partial^2 T / \partial x^2 + Q(t) / (c\rho), \quad a = \lambda / (c\rho), \quad (1)$$

где тепловыделение цемента аппроксимируется экспоненциальной зависимостью $Q(t) = Q_{\text{полн}} / \tau \cdot e^{t/\tau}$ [2, 3]. Уравнение решается явной конечно-разностной схемой при обязательном выполнении условия устойчивости $\Delta t \leq \Delta x^2 / (2a)$. Исходные данные: плита толщиной 1,2 м, $\lambda = 2,5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, $c = 1000 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$, $\rho = 2400 \text{ кг/м}^3$, расход цемента 350 кг/м^3 при удельном тепловыделении 350 кДж/кг , $\tau = 24 \text{ ч}$, температура смеси $20 \text{ }^\circ\text{C}$, температура среды $10 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta x = 0,02 \text{ м}$, $\Delta t = 100 \text{ с}$, длительность расчёта 7 суток.

```
import numpy as np
lam, c, rho = 2.5, 1000., 2400.; a = lam/(c*rho)
Lw, dx, dt = 1.2, 0.02, 100.; nx = int(round(Lw/dx)) + 1
assert dt <= dx**2/(2*a), "схема неустойчива"
T = np.full(nx, 20.0); Q_tot, tau = 350e3*350, 86400.
t, peak = 0.0, (0, 0, 0)
for _ in range(int(7*86400/dt)):
    qv = Q_tot/tau * np.exp(-t/tau)
    Tn = T.copy()
    T[1:-1] = (Tn[1:-1] + a*dt/dx**2*(Tn[2:] - 2*Tn[1:-1] + Tn[:-2])
              + qv*dt/(c*rho))
    T[0] = T[-1] = 10.0; t += dt
    if T[nx//2] - T[1] > peak[0]:
        peak = (T[nx//2] - T[1], T[nx//2], t/3600)
```

2.2. Статистическая оценка прочности бетона

Прочность бетона рассматривается как случайная величина; нормативное сопротивление определяется квантилью распределения с обеспеченностью 95 % [5, 7]:

$$R_n = R_{cp} \cdot (1 - 1,64 \cdot V), \quad V = s / R_{cp}. \quad (2)$$

Обработана выборка из 15 результатов испытаний контрольных образцов-кубов по ГОСТ 10180-2012 [6] с прочностью от 26,7 до 33,1 МПа.

```
import numpy as np
from scipy import stats
data = np.array([31.2, 28.4, 33.1, 29.8, 30.5, 27.9, 32.6, 30.1,
                29.3, 31.8, 26.7, 30.9, 32.2, 28.8, 31.5])
m, s = data.mean(), data.std(ddof=1)
V = s/m; Rn = m*(1 - 1.64*V)
print(m, s, V, Rn, stats.norm.cdf(25, m, s)*100)
```

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты решения трёх задач приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты решения задач

Задача	Метод	Результат
Разогрев бетона	Явная конечно-разностная схема	Перепад 32,4 К; T центра 44,7 °С; пик через 27,8 ч
Прочность бетона	Статистическая оценка (scipy.stats)	$R_{cp} = 30,32$ МПа; $s = 1,84$ МПа; $V = 0,061$; $R_n = 27,30$ МПа

В первой задаче максимальный перепад между центром и поверхностным слоем плиты составил 32,4 К и был достигнут через 27,8 ч после укладки. Во второй задаче вероятность получения значения прочности ниже 25 МПа составила 0,19 %, класс бетона В25 обеспечен.

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Полученный перепад 32,4 К превышает предельное значение 20 К, принятое для конструкций рассматриваемого типа [4], что означает высокую вероятность образования термических трещин при бетонировании плиты в указанном режиме. Модель позволяет за несколько минут оценить эффективность технологических мероприятий: снижения расхода цемента либо применения цементов с пониженным тепловыделением (уменьшение $Q_{полн}$), утепления опалубки (замена граничного условия первого рода на условие третьего рода), предварительного охлаждения смеси (изменение начального условия) и послойной укладки. Тем самым нормативное требование из формы контроля превращается в проектный параметр.

Результат второй задачи показывает, что при одном и том же среднем значении расчётный класс тем ниже, чем больше разброс: партия со средним 30 МПа и коэффициентом вариации $V = 0,15$ даёт нормативную прочность лишь 22,6 МПа и по классу В25 не проходит, хотя средний результат испытаний тот же. Стабильность технологического процесса математически эквивалентна прочности материала, чем объясняется нормирование коэффициента вариации в ГОСТ 18105-2018.

Ограничения предложенных моделей следующие. Тепловая модель одномерна, принимает граничные условия первого рода и не учитывает ползучесть бетона и изменение свойств при твердении, вследствие чего даёт оценку сверху для перепада температур.

Статистическая оценка предполагает нормальность распределения, что при выборке из 15 значений должно проверяться отдельно.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Задачи технологии и организации строительного производства, относящиеся к разным разделам прикладной математики, реализуются по единой схеме «модель – численный или статистический метод – стандартные библиотеки Python» при объёме программы порядка двадцати строк.

2. Для плиты толщиной 1,2 м при расходе цемента 350 кг/м³ расчётный перепад температур составляет 32,4 К, что превышает допустимое значение и требует применения технологических мероприятий по температурному контролю.

3. Нормативная прочность определяется не только средним значением, но и коэффициентом вариации; при $V = 0,15$ партия со средней прочностью 30 МПа не обеспечивает класс В25.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- [1] Лыков А. В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967.
- [2] Запорожец И. Д., Окорочков С. Д., Парийский А. А. Тепловыделение бетона. – Л.; М.: Стройиздат, 1966.
- [3] Миронов С. А. Теория и методы зимнего бетонирования. – М.: Стройиздат, 1975.
- [4] ACI PRC-207.1-21. Mass Concrete – Guide. – Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2021.
- [5] ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. – М.: Стандартинформ, 2019.
- [6] ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Стандартинформ, 2013.
- [7] Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Юрайт, 2016.
- [8] Дикман Л. Г. Организация строительного производства. – М.: Изд-во АСВ, 2012.
- [9] Hagberg A. A., Schult D. A., Swart P. J. Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX // Proceedings of the 7th Python in Science Conference (SciPy 2008). – Pasadena, CA, 2008. – P. 11–15.
- [10] Harris C. R. [et al.]. Array programming with NumPy // Nature. – 2020. – Vol. 585. – P. 357–362.

TO‘RTINCHI TARTIBLI YUPQA PLYONKA MASALASINING AVTOMODEL YECHIMINI ANIQLASH

To‘rayev Jo‘rabek Nurbek o‘g‘li

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi davlat universiteti

e-mail: 0511jurabek@gmail.com

Nuraliyeva Maftuna

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti talabasi

e-mail: NMaftuna@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu ishda bir o'lvovli yupqa plyonka modeli uchun avtomodel yechim qurish masalasi ko'rib chiqiladi. Tenglamaga avtomodel almashtirish kiritilib, vaqt va fazo bo'yicha darajalar tenglashtirilishi orqali o'lvov ko'rsatkichlari aniqlanadi. Massaning saqlanish sharti asosida $\alpha = \beta$ va $\alpha = \beta = 1/(n+4)$ natijalar olinadi. Natijada boshlang'ich masala bitta avtomodel oddiy differensial tenglamaga keltiriladi. Erkin chegara yaqinidagi Koshi sharti hisobga olinib, yechim uchun sinov funksiyasi tanlanadi va uning ko'rsatkichlari aniqlanadi. Hisoblashlar natijasida $\gamma_1 = 4/3$, $\gamma_2 = 3/n$ hamda real yechim mavjud bo'lishi uchun $3/2 < n < 3$ sharti hosil qilinadi. Bu natijalar avtomodel yechimning tuzilishi va mavjudlik sohasini tahlil qilish uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: yupqa plyonka, avtomodel yechim, o'z-o'ziga o'xshashlik, massaning saqlanishi, Koshi sharti, erkin chegara, asimptotik tahlil, noxiziqli differensial tenglama.

Аннотация. В работе рассматривается задача построения автомодельного решения для одномерной модели тонкой плёнки. В уравнение вводится автомодельная замена, после чего показатели подобия определяются путём приравнивания степеней при переменных времени и пространства. На основе условия сохранения массы получены соответствующие результаты. В результате исходная задача сводится к одному автомодельному обыкновенному дифференциальному уравнению. С учётом условия Коши вблизи свободной границы выбирается пробная функция для решения и определяются её показатели. В результате вычислений получены соответствующие соотношения, а также условие, необходимое для существования действительного решения. Полученные результаты служат основой для анализа структуры автомодельного решения и области его существования.

Ключевые слова: тонкая плёнка, автомодельное решение, самоподобие, сохранение массы, условие Коши, свободная граница, асимптотический анализ, нелинейное дифференциальное уравнение.

Abstract. This paper considers the problem of constructing a self-similar solution for a one-dimensional thin-film model. A self-similar transformation is introduced into the governing equation, and the similarity exponents are determined by equating the powers of the time and spatial variables. Based on the mass conservation condition, the corresponding results are obtained. As a result, the original problem is reduced to a single self-similar ordinary differential equation. Taking into account the Cauchy condition near the free boundary, a trial function is selected for the solution and its exponents are determined. The calculations yield the corresponding relations, as well as a condition required for the existence of a real solution. These results provide a basis for analyzing the structure of the self-similar solution and its domain of existence.

Keywords: thin film, self-similar solution, self-similarity, mass conservation, Cauchy condition, free boundary, asymptotic analysis, nonlinear differential equation.

KIRISH

Yupqa plyonka tipidagi noxiziqli modellar erkin chegarali jarayonlarni matematik ifodalashda qo'llanadi. Bunday masalalarda yechimning vaqt bo'yicha o'zgarishi bilan birga plyonkaning fazoviy profili ham o'zgaradi. Matematik hisoblashlar asosida masalani avtomodel ko'rinishga keltirish orqali mustaqil o'zgaruvchilar sonini kamaytirish va masalani avtomodel oddiy differensial tenglamaga olib kelish maqsad qilinadi. Manbada keltirilgan 1 o'lvovli holat uchun boshlang'ich model

$$u_t = -\left(|u|^n u_{xx}\right)_x$$

ko'rinishda olinadi. Keyingi hisoblashlar ushbu model uchun avtomodel almashtirishni aniqlashga qaratilgan.

Avtomodel yechim quyidagi ko‘rinishda izlanadi:

$$u(x, t) = t^{-\alpha} f(\xi), \quad \xi = \frac{x}{t^\beta}.$$

Bu almashtirishni tenglamaga qo‘yib, vaqt va fazo bo‘yicha hosilalar uchun umumiy ko‘paytuvchilar ajratiladi. Darajalarni tenglashtirish natijasida

$$1 = n\alpha + 4\beta$$

bog‘lanish hosil bo‘ladi. Massaning saqlanish sharti qabul qilinganda $\alpha = \beta$ kelib chiqadi. Shuning uchun

$$\alpha = \beta = 1/(n+4)$$

va avtomodel almashtirish

$$u(x, t) = t^{\frac{-1}{n+4}} f\left(\frac{x}{t^{\frac{-1}{n+4}}}\right)$$

ko‘rinishni oladi. Natijada boshlang‘ich tenglama quyidagi avtomodel tenglamaga keltiriladi:

$$\left(|f| \mathcal{G}_{xxx} \mathfrak{H} \right) = \frac{1}{n+4} (f + \xi f).$$

Shu tariqa x, t bo‘yicha berilgan masala bitta o‘zgaruvchili ξ bo‘yicha avtomodel tenglamaga reduksiya qilinadi.

Avtomodel tenglama yechimi erkin chegara yaqinidagi xatti-harakatni hisobga olgan holda

$$f(\xi) = (a - b \xi^{\gamma_1})^{\gamma_2}$$

ko‘rinishda izlanadi. Birinchi, ikkinchi va uchinchi hosilalar hisoblanib, uchinchi hosilaning yetakchi hadi avtomodel tenglamaga qo‘yiladi. Darajalarni tenglashtirishdan avvalo

$$\gamma_2(n-1) + \gamma_2 - 3 = 0$$

va bundan

$$\gamma_2 = 3/n$$

olinadi. Qolgan hadlar bo‘yicha darajalarni tenglashtirish esa

$$3\gamma_1 - 3 = 1, \quad \gamma_1 = 4/3$$

natijani beradi. Demak, tanlangan avtomodel funksiya

$$f(\xi) = a - b \xi^{\frac{4}{3} \frac{3}{n}}$$

ko‘rinishga keladi.

Koeffitsientlarni aniqlash uchun yuqoridagi funksiya va uning uchinchi hosilasi avtomodel tenglamaga qo‘yiladi. Natijada b uchun

$$b_i = \frac{9ni}{64(n+4)(n-3)(3-2n)}$$

ifoda olinadi va, mos ravishda,

$$b = \frac{9ni}{64(n+4)(n-3)(3-2n)}^{\frac{1}{3}}$$

ko'rinishda yoziladi. Haqiqiy yechim mavjud bo'lishi uchun kub ildiz ostidagi ifoda musbat bo'lishi kerak. $n > 0$ va $n + 4 > 0$ shartlari ostida bu talab

$$(n-3)(2n-3) < 0$$

tengsizlikka keladi. Kritik nuqtalar $n = \frac{3}{2}$ va $n = 3$ bo'lib, natijada avtomodel yechimning

real mavjudlik sohasi $\frac{3}{2} < n < 3$ ko'rinishda aniqlanadi.

XULOSA

Bir o'lchovli yupqa plyonka modeli uchun avtomodel almashtirish yordamida masala oddiy differensial tenglamaga keltirildi. Massaning saqlanish sharti asosida $\alpha = \beta = 1/(n+4)$ aniqlandi. Erkin chegara yaqinidagi asimptotik tuzilmani ifodalovchi sinov funksiya uchun $\gamma_1 = 4/3$ va $\gamma_2 = 3/n$ qiymatlar olindi. Shuningdek, koeffitsient b ning ifodasi va avtomodel yechimning haqiqiy sonlardagi mavjudlik sohasi $\frac{3}{2} < n < 3$ ko'rinishda topildi. Olingan natijalar keyingi bosqichda avtomodel tenglamaning analitik xususiyatlarini chuqurroq o'rganish va sonli hisoblashlar bilan taqqoslash uchun asos bo'la oladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] J.R. King, Two generalizations of the thin film equation, Math. Comput. Modelling, 34 (2001), 737-756.

[2] V.A. Galaktionov, Very singular solutions for thin film equations with absorption, Studies Appl. Math., 2009, to appear (arXiv:0109.3982).

[3] King, J. R. (1996). Self-similar behavior for critical-exponent thin-film equations. *European Journal of Applied Mathematics*, 7(1), 1-28.

[4] Galaktionov, V. A., & Slevinsky, R. M. (2008). On self-similar spectra for thin-film equations. *Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications*, 68(8), 2210-2228.

NA⁺ VA BA⁺ IONLARI BILAN IMPLANTATSIYA QILINGAN SI(111) DA PLAZMON TEBRANISHLARINING O'ZGARISHI VA ULARNING NAZARIY TALQINI

**Xujaniyozov Jumanazar Boboqulovich, Abduvayitov Akbarjon Abdumajidovich, Qodirova
Inobat Quدراتovna, Tursunmetova Zuxra Abdurashitovna**

Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston

e-mail: KhujaniyozovJB@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu ishda Si(111) monokristall sirtining Na⁺ va Ba⁺ ionlari bilan yuqori dozali implantatsiyasi natijasida uning elektron va kristall strukturasi yuzaga keladigan o'zgarishlar hamda plazmon energiyasining kamayishi tadqiq qilingan. Elektron spektroskopiyasi va

sekin elektronlar difraksiyasi natijalari ion implantatsiyasi dozasi ortishi bilan kremniyning sirtga yaqin qatlamida kuchli strukturaviy tartibsizlanish va amorflanish jarayoni yuz berishini ko'rsatadi. Yuqori dozali implantatsiya natijasida sirtga yaqin qatlamda NaSi va BaSi silitsid birikmalari shakllanadi. Xarakteristik energiya yo'qotgan elektronlar spektroskopiyasi natijalari toza Si(111) ga nisbatan implantatsiyalangan kremniyda sirt va hajmiy plazmonlarga mos keluvchi energiya maksimumlarining kichik energiyalar tomon siljishini ko'rsatadi. Kuzatilgan effektini tushuntirish uchun ion-implantatsiyalangan qatlam va sof kremniy hajmidan tashkil topgan ikki suyuqlikli elektron gaz modeli qo'llanilgan. Nazariy hisoblashlar plazmon energiyasining kamayishi, avvalo, kristall strukturaning kuchli tartibsizlanishi natijasida valent elektronlar plazmon tebranishlarining so'nishi va qo'shimcha ravishda implantatsiyalangan ionlarning negiz elektronlari qutblanishi bilan bog'liqligi ko'rsatib berilgan. Hisoblash natijalari tajriba ma'lumotlari bilan qoniqarli darajada mos kelishi ko'rsatilgan.

Kalit so'zlar: yuqori vakuum sharoiti, elektron gaz, elektronlar difraksiyasi, ion implantatsiya, plazmon, sirtiy plazmon, hajmiy plazmon, dielektrik singdiruvchanlik, spektroskopiya.

Аннотация. Высокодозовая имплантация ионов Na^+ и Ba^+ в монокристаллическую поверхность Si(111) приводит к изменениям её электронной и кристаллической структуры, а также к снижению энергии плазмонов. Результаты электронной спектроскопии и дифракции медленных электронов показывают, что с увеличением дозы ионной имплантации в приповерхностной области кремния происходят сильное структурное разупорядочение и аморфизация. В результате высокодозовой имплантации в приповерхностном слое формируются силицидные соединения NaSi и BaSi. Результаты спектроскопии характеристических потерь энергии электронов показывают, что по сравнению с чистым Si(111) в имплантированном кремнии максимумы энергии, соответствующие поверхностным и объёмным плазмонам, смещаются в область меньших энергий. Для объяснения наблюдаемого эффекта использована двухжидкостная модель электронного газа, состоящая из ионно-имплантированного слоя и объёма чистого кремния. Теоретические расчеты показали, что снижение энергии плазмонов связано, прежде всего, с затуханием плазменных колебаний валентных электронов вследствие сильного структурного разупорядочения кристалла и, дополнительно, с поляризацией остовных электронов имплантированных ионов. Показано, что результаты расчетов удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.

Ключевые слова: условия высокого вакуума, электронный газ, дифракция электронов, ионная имплантация, плазмон, поверхностный плазмон, объёмный плазмон, диэлектрическая проницаемость, спектроскопия.

Abstract. High-dose implantation of Na^+ and Ba^+ ions into the Si(111) single-crystal surface leads to changes in its electronic and crystal structure, as well as to a decrease in plasmon energy. The results of electron spectroscopy and low-energy electron diffraction show that increasing the ion implantation dose induces strong structural disordering and amorphization in the near-surface region of silicon. High-dose implantation results in the formation of NaSi and BaSi silicide compounds in the near-surface layer. The results of electron energy-loss spectroscopy show that, compared with pristine Si(111), the energy maxima corresponding to surface and bulk plasmons in implanted silicon shift toward lower energies. To explain the observed effect, a two-fluid electron-gas model consisting of an ion-implanted layer and the bulk of pristine silicon was employed. The theoretical calculations show that the decrease in plasmon energy is primarily associated with the damping of valence-electron plasma oscillations caused by strong structural disordering of the crystal and, additionally, with the polarization of core electrons of the implanted ions. The calculation results were shown to be in satisfactory agreement with the experimental data.

Keywords: high-vacuum conditions, electron gas, electron diffraction, ion implantation, plasmon, surface plasmon, bulk plasmon, dielectric permittivity, spectroscopy.

KIRISH

Ion implantatsiyasi yarimo'tkazgichlarning sirtga yaqin qatlamlarining tarkibi, elektron tuzilishi va kristall strukturasi boshqarish imkonini beruvchi samarali usullardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, past energiyali va yuqori dozali ion implantatsiyasi natijasida yarimo'tkazgich materiallarning sirtga yaqin qatlamlarida sezilarli strukturaviy o'zgarishlar, amorflanish va yangi kimyoviy birikmalarning hosil bo'lishi kuzatiladi [1, 2].

Si(111) sirtiga Na^+ va Ba^+ ionlarini implantatsiya qilish jarayonida kristall strukturaning buzilishi bilan bir qatorda implantatsiya qilingan atomlar va kremniy atomlari o'rtasida kimyoviy birikmalar hosil bo'lishi kuzatiladi. Oje-elektron spektroskopiyasi natijalari yuqori dozalarda mos ravishda NaSi va BaSi silitsid birikmalarining shakllanishini ko'rsatadi [2, 3].

Mazkur ishning asosiy maqsadi Na^+ va Ba^+ ionlarining implantatsiya dozasi ortishi bilan Si(111) sirtining elektron holati va plazmon tebranishlarining qanday o'zgarishini aniqlash hamda kuzatilgan plazmon energiyasining kamayishini nazariy jihatdan tushuntirib berishdan iborat [2, 3].

TADQIQOT USULI VA NATIJALARI

Si(111) va Si(100) sirtlarining ion implantatsiya jarayonida kristall strukturasi o'zgarishi sekin elektronlar difraksiyasi (SED/DLEED) yordamida o'rganilgan. Tajribalar shuni ko'rsatadiki, ionlarning ma'lum kritik dozasi boshlab kremniy sirti to'liq amorfizatsiyaga uchraydi va difraksion tasvirda diffuzion fon kuzatiladi. Kritik amorfizatsiya dozasi ion energiyasi ortishi bilan kamayadi. Shuningdek, bir xil ion energiyasida Si(100) uchun amorfizatsiya dozasi Si(111) ga nisbatan yuqoriroq bo'ladi.

1-jadval.

Na^+ va Ba^+ ionlari bilan implantatsiya qilingandagi kritik amorfizatsiya dozalari

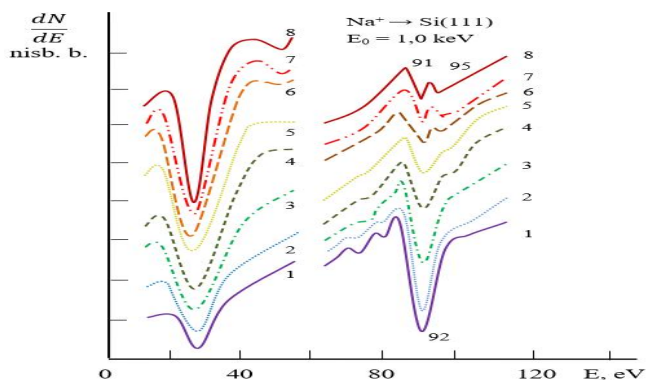
E_0 , keV	Na^+ , Si(111) / Si(100), $\times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$	Ba^+ , Si(111) / Si(100), $\times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$
0,5	7 / 9	4 / 5
1,0	5 / 7	1 / 3
2,0	3 / 5	0,7 / 1
3,0	1 / 3	0,6 / 0,9
4,0	0,8 / 1,2	0,3 / 0,6
5,0	0,3 / 0,6	0,08 / 0,1

1-jadvaldan ko'rinib turibdiki, implantatsiya qilinayotgan ion energiyasining 0,5 dan 5 keV gacha ortishi bilan Si(111) sirtining amorflanishi uchun zarur bo'lgan kritik doza Na^+ va Ba^+ ionlari uchun kamayadi. Masalan, Na^+ ionlari uchun Si(111) sirtida kritik doza 7×10^{15} dan $0,3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ gacha, Ba^+ ionlari uchun esa 4×10^{15} dan $0,8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ gacha kamayadi. Bu holat og'ir Ba^+ ionlarining kremniy atomlariga to'qnashuv vaqtida kattaroq energiya uzatishi bilan bog'liq bo'lgan kuchliroq nuqson hosil bo'lish jarayonini ko'rsatadi [3].

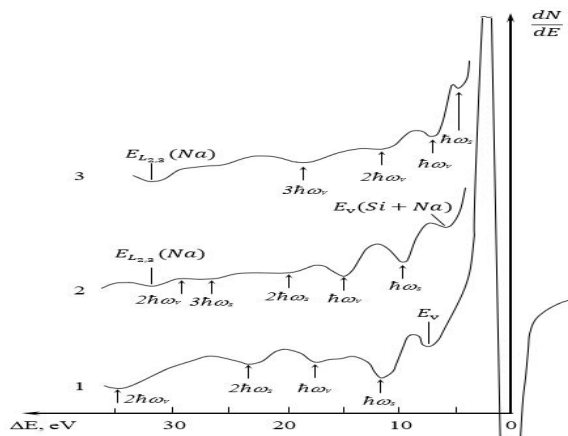
Yuqori dozali implantatsiya natijasida kremniyning sirtga yaqin qatlamida kimyoviy birikmalar ham shakllanadi. Ba^+ ionlarini implantatsiya qilishda Oje-spektridagi chiziqlarning singletdan dublet shakliga o'zgarishi BaSi silitsidining hosil bo'lishi bilan bog'liq bo'ladi. Na^+ ionlari implantatsiyasida esa katta dozalarda 91 va 95 eV sohalarida kuzatiladigan Oje-piklari NaSi hosil bo'lishiga tegishli deb qaraladi.

1-rasmdan ko‘rinib turibdi-ki, Na^+ ionlarining implantatsiya dozasi ortishi bilan kremniyning Oje-spektrida yangi chiziqlar paydo bo‘ladi. Manba ma’lumotlariga ko‘ra, katta dozalarda 91 va 95 eV energiyalarda kuzatiladigan ushbu Oje-piklari NaSi silitsididagi elektron o‘tishlar bilan bog‘langan. Na^+ implantatsiyasida dublet chiziqlarning hosil bo‘lishi Si ning sp^3 – elektronlari va metallning s – elektronlari o‘rtasidagi o‘zaro ta’siri bilan izohlanadi.

Shunday qilib, Na^+ va Ba^+ ionlarining yuqori dozali implantatsiyasi Si(111) sirtining kristall strukturasi sezilarli darajada buzadi va sirtga yaqin qatlamlarda mos ravishda NaSi va BaSi birikmalarining shakllanishiga olib keladi.



1-rasm. Toza Si(111) ning Oje-spektri (1-egri chiziq) va $E_0 = 1,0 \text{ keV}$ energiya bilan Na^+ ionlari implantatsiya qilingan Si ning Oje-spektrlari. Implantatsiya dozasi D, sm^{-2} :
 $1 \cdot 10^{14}$ (2); $6 \cdot 10^{14}$ (3); $1 \cdot 10^{15}$ (4); $8 \cdot 10^{15}$ (5); $1 \cdot 10^{16}$ (6);



2-rasm. Si(111) ga Na^+ ionlarini implantatsiya qilishda xarakteristik energiya yo‘qotgan elektronlar spektrlarining implantatsiya dozasi ortishi bilan o‘zgarishi.

Ion implantatsiyasidan so‘ng kremniyning elektron tuzilishidagi o‘zgarishlar xarakteristik energiya yo‘qotgan elektronlar spektroskopiyasi orqali o‘rganilgan. Na^+ va Ba^+ ionlari bilan amorfizatsiya darjasidan yuqori dozalarda implantatsiyalangan Si(111) uchun olingan spektrlarda sirtiy va hajmiy plazmonlarga mos keluvchi energiya maksimumlarining implantatsiya dozasi ortishi bilan kichik energiyalar tomon siljishi kuzatilgan. Ba^+ ionlari implantatsiyasi uchun manbada yuqori dozada olingan spektrda 6; 9,5; 14; 19 va 25,5 eV energiyalarda piklar kuzatilgani ko‘rsatilgan. 9,5 eV dagi pik sirt plazmonlarining, 14 eV dagi pik esa ion-implantatsiya qilingan kremniydagi hajmiy plazmonlarning uyg‘onishiga taalluqli ekanligi aniqlandi [3].

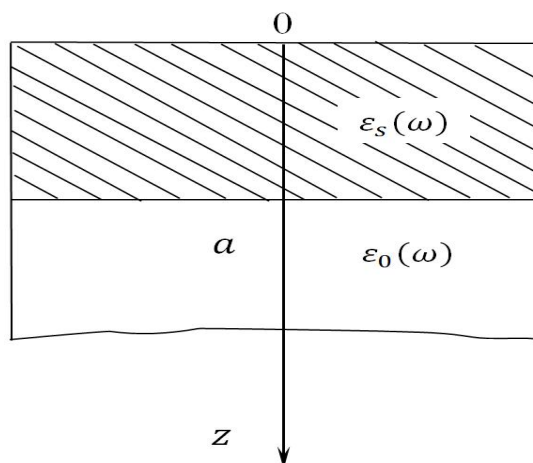
2-rasmdan ko‘rinadiki, implantatsiya dozasi ortishi bilan xarakteristik energiya yo‘qotgan elektronlar spektridagi plazmon maksimumlari kichik energiyalar tomon siljiydi. Ushbu siljish ayniqsa yuqori implantatsiya dozalarida yaqqol namoyon bo‘ladi. Kuzatilgan effekt ion-implantatsiya qilingan qatlamda kristall strukturaning kuchli buzilishi va valent elektronlarning plazma tebranishlari so‘nishining kuchayishi bilan bog‘liq. Toza Si uchun hajmiy plazmonlarning energiyasi tajribalarda 17,0 eV ga teng ekanligi aniqlandi. Na^+ ionlari uchun implantatsiya dozasi 10^{17} cm^{-2} bo‘lganda ushbu qiymat 14,0 eV gacha, Ba^+ ionlari bilan xuddi shu dozada implantatsiya qilinganda esa 13,8 eV gacha kamayadi.

Ushbu effektни izohlash uchun ion-implantatsiyalangan Si sirtining soddalashtirilgan ikki qatlamli modeli ishlab chiqildi. Unga ko‘ra, sirtga yaqin sohada qalinligi a bo‘lgan buzilgan qatlam mavjud bo‘lib, u buzilmagan toza Si hajmi bilan chegaradosh. Ushbu yondashuv ikki suyuqlikli elektron gaz modeli sifatida qaraladi va muhitning dielektrik singdiruvchanligi quyidagi ifoda orqali topilad:

$$\varepsilon_0(\omega) = 1 - \frac{\omega_{pv}^2}{(\omega - i\nu)^2} \quad (1)$$

bu yerda ω_{pv}^2 – toza Si dagi valent elektronlarning plazma chastotasi kvadrati; ν – tebranuvchi valent elektronlar sistemasidagi so‘nish kattaligi; ω – muhitning tashqi ta’sirga bo‘lgan javobi (javob reaksiyasi) tadqiq qilinayotgan xususiy chastota. Ion-implantatsiya qilingan qatlamning dielektrik singdiruvchanligi toza kremniynikidan farq qiladi. Bunda implantatsiyalangan ionlarning negiz elektronlari qutblanishi va valent elektronlar sistemasidagi so‘nish hisobga olinadi. Ushbu qutblanish kremniy matritsasidagi plazmon chastotasining implantatsiya dozasi ortishi bilan kamayishiga olib kelishi mumkinligi ko‘rsatib o‘tildi [3].

Bundan tashqari, ion implantatsiyasi natijasida kristall strukturaning kuchli buzilishi valent elektronlar plazmon tebranishlarining so‘nishini kuchaytiradi. Nazariy modelda buzilgan qatlamning plazmon tebranishlari uchun so‘nish kattaligi muhim parametr sifatida qaraladi. Strukturaviy buzilish kuchaygani sari spektr maksimumining kichik energiyalar tomon siljishi kuchayadi.



3-rasm. Ion-implantatsiya qilingan Si uchun ikki suyuqlikli elektron gaz modeli: a - buzilgan sirtga yaqin qatlam, qolgan qism – toza (sof) Si.

3-rasmda ko‘rsatilgan modelga muvofiq, ion implantatsiya qilish natijasida hosil bo‘lgan buzilgan qatlam va toza Si hajmining dielektrik singdiruvchanligi bir-biridan farq qiladi. Buzilgan qatlamda implantatsiya qilingan Na va Ba atomlari bilan bog‘liq birikmalar plazmon tebranishlariga o‘z hissasini qo‘shadi, kristall strukturaning buzilishi esa valent elektronlar sistemasida so‘nishning ortishiga olib keladi. Natijada kuzatiladigan xarakteristik energiya yo‘qotishlari maksimumi kichik energiyalar tomon siljiydi.

Sirt plazmonlari uchun ham shunga o‘xshash jarayon kuzatiladi. Bunda tushayotgan elektronlarning sirtga yaqin qatlam bilan o‘zaro ta’siri va implantatsiyalangan ionlarning chuqurlik bo‘yicha taqsimoti hisobga olinadi. Implantatsiya dozasi ortishi bilan sirt plazmonlarining energiyasi ham kichik energiyalar tomon siljiydi.

Na^+ va Ba^+ ionlari bilan 1 keV energiyada implantatsiya qilingan Si uchun hajmiy plazmon energiyasining tajribada va tavsiya qilingan ikki suyuqlikli elektron gaz modeli asosida hisoblangan qiymatlari quyidagi 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval.

Si dagi hajmiy plazmon energiyasining implantatsiya qilingan ionlar dozasi bog‘liqligi

Ion	D, cm^{-2}	$C(z_{max})$	$z_{max}, \text{\AA}$	$\epsilon_s(z_{max})$	$\hbar\omega_{rez}, \text{eV}$	
					tajribada	hisoblashda
	0	-	-	0	17.0	17.1

Na ⁺	10 ¹⁴	0.12	33	0.092	16.75	16.72
	10 ¹⁵	0.18	27	0.079	16.0	16.4
	10 ¹⁶	0.32	21	0.141	15.0	16.0
	10 ¹⁷	0.42	20	0.234	14.0	14.1
Ba ⁺	0	-	-	0	17.0	17.1
	10 ¹⁴	0.10	29	0.042	16.8	16.9
	10 ¹⁵	0.16	25	0.84	16.6	16.7
	10 ¹⁶	0.28	21	0.154	15.7	15.4
	10 ¹⁷	0.45	21	0.273	13.8	13.4

Tajriba va nazariy hisoblash natijalarining taqqoslanishi kuzatilayotgan effektning tavsiya qilingan model doirasida izohlash mumkin ekanligini ko'rsatadi. Ayniqsa, 10¹⁷ cm⁻² dozada Na⁺ uchun tajribada va hisoblangandagi qiymatlar mos ravishda 14,0 va 14,1 eV, Ba⁺ uchun esa 13,8 va 13,4 eV ni tashkil qiladi. Shu bilan birga, tajribada va hisoblangandagi qiymatlar orasidagi ayrim farqlar implantatsiya natijasida panjara doimiysining o'zgarishi bilan ham bog'liq bo'lishi mumkinligi qayd etib o'tishimiz kerak.

Demak, tajriba natijalari va ishlab chiqilgan nazariy modelning umumiy tendensiyasi bir-biriga mos keladi: implantatsiya qilingan ionlarning dozasi ortishi bilan Si(111) dagi plazmon energiyasi kamayadi. Ushbu kamayishda kristall strukturaning buzilishi natijasida valent elektronlar plazmon tebranishlarining so'nishi va implantatsiya qilingan ionlarning negiz elektronlari qutblanishi muhim rol o'ynaydi.

XULOSA

Na⁺ va Ba⁺ ionlarining past energiyali, yuqori dozali implantatsiyasi natijasida Si(111) sirtining kristall strukturasi va elektron tuzilishida sezilarli o'zgarishlar yuzaga kelishi aniqlandi.

- Ion implantatsiyasi dozasi kritik qiymatdan oshganda Si(111) sirtida to'liq amorflanish kuzatiladi. Kritik amorflanish dozasi ion energiyasi ortishi bilan kamayadi.
- Yuqori dozali implantatsiya natijasida Si(111) ning sirtga yaqin qatlamida NaSi va BaSi kimyoviy birikmalari hosil bo'lishi Oje-elektron spektroskopiyasi natijalari orqali qayd etildi.
- Xarakteristik energiya yo'qotgan elektronlar spektroskopiyasi natijalari Na⁺ va Ba⁺ ionlari implantatsiyasi dozasi ortishi bilan Si(111) ning sirtiy va hajmiy plazmonlari energiyasi kichik energiyalar tomon siljishini ko'rsatdi.
- Hajmiy plazmon energiyasi toza Si uchun 17,0 eV bo'lgan holda, 10¹⁷ cm⁻² dozada Na⁺ implantatsiyasidan so'ng 14,0 eV gacha, Ba⁺ implantatsiyasidan so'ng esa 13,8 eV gacha kamayishi aniqlandi.
- Kuzatilgan effektni tavsiflash uchun ion-implantatsiya qilingandan so'ng buzilgan qatlam va buzilmagan Si hajmidan iborat ikki suyuqlikli elektron gaz modeli qo'llanildi. Nazariy tahlil plazmon energiyasining kamayishini kristall strukturaning kuchli buzilishi natijasida valent elektronlar plazmon tebranishlarining so'nishi hamda implantatsiya qilingan ionlarning negiz elektronlarining qutblanishi bilan bog'lash imkonini beradi.

- Tajriba natijalari va ikki suyuqlikli elektron gaz modeli orqali hisoblangan natijalar umumiy tendensiya bo'yicha bir-biriga mos keladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Suzdalev I.P. Nanotechnology: Physical Chemistry of Nanoclusters, Nanostructures and Nanomaterials. - Moscow: Komkniga, 2006. - 592 p. [in Russian].

[2] Rysbaev A.S., Tashatov A.K., Dzhuraev Sh.X., Khuzhaniyozov Zh.B., Arzikulov G.A., Nasriddinov S.S. On new two-dimensional structures produced on the Si (111) and Si (100) surface upon molecular-beam epitaxy of cobalt and silicon / J. Surf. Investig. X-ray Synchrotron Neutron Tech. 2011, V. 5, p. 1193-1196.

[3] Rysbaev A.S., Khujaniyozov J.B., Normuradov M.T., Tashatov A.K., Igamov B.D., Abraeva S.T. Theoretical Explanation of the Effect of a Decrease in the Si(111) Plasmon Energy during the Implantation of Ions with a Large Dose / J. Surf. Investig. X-ray Synchrotron Neutron Tech. 2020, V. 14, №. 4, p. 816-822.

TA'LIMDA SUN'IY INTELEKTNI QO'LLASH BO'YICHA XORIJIY VA MILLIY TADQIQOTLAR TAHLILI

Eshnazarova Marg'ubaxon Yunusaliyevna

p.f.n., professor

Namangan davlat pedagogika instituti

kmargo22@list.ru

Annotatsiya. *Sun'iy intellekt(SI)ning ta'lim tizimiga kirib kiyelishi tasodifiy hodisa emas, balki uzoq davom etgan evolyutsion jarayonning natijasidir. Ushbu maqolada biz global miqyosdagi ilmiy qarashlarni va O'zbekistondagi mahalliy tajribani qiyosiy tahlil qilamiz*

Annotation. *The implementation of artificial intelligence (AI) in the education system is not a random event but the result of a long evolutionary process. In this article, we will conduct a comparative analysis of global scientific perspectives and local experience in Uzbekistan*

Kalit so'zlar: *sun'iy intellekt, moslashuvchan ta'lim, generativ SI, individuallashtirish, inklyuziv ta'lim, akademik halollik, algoritmik noxolislik*

Keywords: *artificial intelligence, adaptive learning, generative AI, personalization, inclusive education, academic integrity, algorithmic bias*

Hozirgi kunda sun'iy intellekt (SI) ta'lim sohasida inqilobiy o'zgarishlarga sabab bo'lmoqda, ta'lim sohasida ham keng qo'llanilib kelinmoqda. Oliy ta'limda SI elementlaridan foydalanish, o'quv jarayonini optimallashtirish, talabalarning bilim va ko'nikmalarini yaxshilash, shuningdek, o'qituvchilarga samarali darslar o'tkazish, ta'limni shaxsiylashtirilgan va interaktiv qilish imkoniyatini beradi.

Sun'iy intellekt – bu kompyuter tizimlarining inson fikrlash qobiliyatlarini taqlid qilishi, o'z-o'zini o'rganish, muammolarni hal qilish va qaror qabul qilish imkoniyatlarini o'z ichiga oladi. Sun'iy intellekt – bu mashinalar va dasturlarni inson fikrlash qobiliyatlari bilan ta'minlashga qaratilgan texnologiyalar to'plamidir.

G'arbiy Yevropa va AQSH olimlari O.Zawacki-Richter, V.I.Marin, D.Schiff, W.Holmes, M.Bialik, C.Fadel sun'iy intellektni ta'limga tatbiq etishning uchta asosiy bosqichini ajratib ko'rsatishgan[2,6,7,9]:

1-bosqich: Intellektual o'qitish tizimlari. 1970-1990 yillarda J. Andyerson (Carnegie Mellon Universiteti) kabi olimlar tomonidan ishlab chiqilgan. Ular sun'iy intellektni o'quvchining xatolarini tuzatuvchi va to'g'ri javobga yo'naltiruvchi "algoritm" sifatida ko'rishgan[1].

2-bosqich: Moslashuvchan ta'lim muhiti. 2000-yillardan boshlab D.Schiff (London universiteti professori) va uning hamkasblari SI ni faqat algoritm emas, balki o'quvchining emotsional holati va kognitiv yuklamasini o'lchaydigan "intellektual yordamchi" sifatida talqin qila boshladilar[7].

3-bosqich: Generativ SI davri (2022-yildan hozirgacha). Stiven Volfram va boshqalar SI ning til modellari orqali murakkab tushunchalarni soddalashtirish va "Socratic Method" (Savol-javob orqali o'rgatish) asosida bilim berish imkoniyatlarini tadqiq qilmoqdalar.

Xorijiy tadqiqotlarda eng ko'p urg'u beriladigan jihat — bu "Scaffolding" (ta'limiy ko'prik) nazariyasidir. SI talabaga tayyor javobni bermaydi, balki javobga borish yo'lini ko'rsatadi.

O'zbekistonlik olimlarning izlanishlari asosan ta'limni raqamlashtirish va SI texnologiyalarini milliy mentalitet hamda o'quv standartlariga moslashtirishga qaratilgan. O'zMU professori, f.m.f.d. M.M. Aripov rahbarligidagi tadqiqotlarda algoritmlashtirish va sun'iy intellektning matematik asoslari o'rganilayotgan bo'lsa, axborot texnologiyalarini pedagogik jarayonga psixologik jihatdan integratsiya qilish muammolarini ko'tarib chiqqan. S.S.Gulyamov oliy ta'limni raqamlashtirish bo'yicha o'z ilmiy qarashlarini[5], Z.Sh. Xasanov esa ta'limda sun'iy intellektning xavf-xatarlari va joriy etish istiqbollarining kompleks tahlillarini o'rganmoqda[8], shuningdek, Toshkent axborot texnologiyalari universiteti SI ning o'zbek tilidagi nutqini qayta ishlash (NLP) hamda uni maktab darsliklariga virtual assistent sifatida kiritish ustida ishlashmoqda.

Tahlillar shuni ko'rsatdiki, xorijiy tadqiqotlar ko'proq texnologik va kognitiv jihatlarga yo'naltirilgan bo'lsa, mahalliy tadqiqotlar ko'proq didaktik ta'minot va metodik resurslarni yaratishga e'tibor qaratmoqda.

Ishtiyoq va qiziqish bilan ta'lim olayotgan o'quvchilar katta hajmdagi bilimlarni o'zlashtirib, ushbu bilimlar ularning xotirasida uzoq vaqt saqlanadi. XX asr oxiri va XXI asr boshida Angliya va AQShda olib borilgan tadqiqotlar ta'lim olish jarayonidan zavqlanmaslik o'quvchilar salohiyatini ro'yobga chiqarishga to'sqinlik qiluvchi asosiy sabablardan biri ekanligini isbotladi[10]. Garchi qat'iyatlilik va umidsizlik hamda muvaffaqiyatsizliklarni yengish qobiliyati ham muvaffaqiyatli o'qishning kafolatiga aylanishi mumkin bo'lsa-da, tadqiqotlar ishonchli ravishda namoyish etdiki, ayniqsa ta'lim oluvchilar qiziquvchan va motivatsiyasi bo'lganda yaxshiroq o'rganishini Stiven Daggen o'z tadqiqotida tahlil qilib bergan[10].

SI texnologiyalarining didaktik imkoniyatlari va afzalliklari ham quyidagilardir:

Individuallashtirish: SI har bir talabaning "bilim xaritasi"ni chizib beradi. Agar talaba mavzuni sust o'zlashtirsa, tizim unga mos videoroliklar va soddalashtirilgan testlarni taqdim etadi[3].

O'qituvchining ishlarini kamaytirish: Statistik ma'lumotlarga ko'ra, o'qituvchi ish vaqtining 30-40 foizini tekshirish va hisobotlarga sarflaydi. SI o'qituvchi vaqtini 5 foizgacha qisqartiradi[11].

Inklyuziv ta'lim: Ko'zi ojiz yoki eshitishda nuqsoni bor talabalar uchun SI matnni nutqqa yoki nutqni matnga zudlik bilan aylantirib berish orqali teng imkoniyatlar yaratadi.

SI dan foydalanishning kamchiliklari va muammolariga ham to'xtalib o'tsak. SI ning pedagogik xavflari quyidagilardan iborat:

Akademik halollikning buzilishi: Talabalarning mustaqil fikrlashi o'rniga SI ga tayanib qolishi.

Algoritmik noxolislik: Agar SI o'rgatilgan ma'lumotlar bazasida biror millat yoki qarashga nisbatan salbiy fikr bo'lsa, u talabaga ham noto'g'ri tarbiya berishi mumkin[4].

Kognitiv dangasalik: Inson miyasi axborotni qiyinchilik bilan topsa, yaxshi eslab qoladi. SI esa hamma narsani tayyor bergani uchun xotira va tahliliy qobiliyat susayishi mumkin.

Aytish mumkinki, SI — bu shunchaki vosita emas, balki ta'limning yangi ekotizimidir. Xorijiy va milliy tajribalarning taxlili bizga "Inson-mashina" hamkorligidagi mukammal pedagogik modelni yaratish imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

[1] J. Andyerson (2023). Revolutionizing education with AI: ChatGPT // Contemporary Educational Technology.

[2] Chan, C.K.Y., Tsi, L.H.Y. (2023). The AI revolution in education: Will AI replace or assist teachers?

[3] Eshnazarova, M. (2019). Some requirements and principles of mobile learning. *Scientific Bulletin of Namangan State University*, 1(2), 266-270.

[4] Eshnazarova, M., Nurmatov, B. (2019). The current state and content of the course Methods of calculations. *International Journal of Research Culture Sociyeti*, 3(3), 79-83.

[5] Gulyamov, S.S., Shermuxamedov, A.T., Ochilov, A.O. (2024). Oliy ta'limni raqamlashtirishda sun'iy intellekt o'rni//.

[6] Holmes, W., Bialik M., Fadel C. (2019). Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning. – Boston: Center for Curriculum Redesign.

[7] Schiff, D. (2022). Education for AI, not AI for education // International Journal of Artificial Intelligence in Education.

[8] Xasanov Z.Sh. (2025). Ta'limda sun'iy intellekt: qarama-qarshiliklar, xavf-xatarlar va joriy etish istiqbollarining kompleks tahlili// Advances in Science and Education. –

[9] Zawacki-Richter, O., Marin, V.I., Bond, M., F. Gouverneur (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education // International Journal of Educational Technology in Higher Education.

[10] Стивен, Даггэн (2020). Искусственный интеллект в образовании: Изменение темпов обучения. Аналитическая записка ИИТО ЮНЕСКО. — Москва : Институт ЮНЕСКО по информационным технологиям в образовании.

[11] Эшназарова, М. Ю. (2013). Применение электронных учебников в учебном процессе. *Молодой ученый*, (9), 433-434.

MUAMMOLI VAZIYATLAR ORQALI O'QUVCHILARDA MATEMATIK

TAFAKKURNI RIVOJLANTIRISH METODIKASI

Fayzullayeva E'zoza O'tkir qizi

Shahrisabz davlat pedagogika instituti talabasi, Shahrisabz

Annotatsiya. Ushbu maqolada muammoli ta'lim nazariyasi asosida o'quvchilarda matematik tafakkurni rivojlantirish metodikasi ko'rib chiqilgan. Adabiyotlar tahlili, shuningdek adabiyotlarni taqqoslash va tizimlashtirish metodlari qo'llanilgan. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, muammoli vaziyatlarni to'g'ri loyihalash va darsda sistemali qo'llash o'quvchilarda tahliliy fikrlash, ijodiy munosabat va mustaqil xulosa chiqarish ko'nikmalarini sezilarli darajada oshiradi. Maqola oxirida amaliy tavsiyalar va xulosalar keltirilgan.

Kalit so'zlar: matematik tafakkur, muammoli ta'lim, muammoli vaziyat, kognitiv faollik.

Abstract. This article examines the methodology for developing students' mathematical thinking based on the theory of problem-based learning. The methods of literature analysis, as well as the comparison and systematization of the literature, were employed. The research findings demonstrate that the proper design of problem situations and their systematic application in the classroom significantly enhance students' analytical thinking, creative engagement, and ability to

draw independent conclusions. The article concludes with practical recommendations and conclusions.

Keywords: *mathematical thinking, problem-based learning, problem situation, cognitive activity.*

Аннотация. В данной статье рассматривается методика развития математического мышления учащихся на основе теории проблемного обучения. Были использованы методы анализа литературы, а также сравнения и систематизации научно-методических источников. Результаты исследования показывают, что правильное проектирование проблемных ситуаций и их систематическое применение на уроках значительно повышают уровень аналитического мышления учащихся, их творческого отношения к учебной деятельности и навыков самостоятельного формулирования выводов. В заключительной части статьи представлены практические рекомендации и выводы.

Ключевые слова: математическое мышление, проблемное обучение, проблемная ситуация, познавательная активность.

KIRISH.

Zamonaviy ta'lim tizimida o'quvchidan nafaqat tayyor bilimlarni o'zlashtirish, balki ularni mustaqil ravishda qo'llash, yangi vaziyatlarda tahlil qilish va ijodiy yechimlar topish talab etiladi. Bu holat matematika fanini o'qitishda an'anaviy — tushuntirish-namoyish etish uslubidan voz kechib, faollashtiruvchi metodlarga o'tishning zarurligini ko'rsatadi.

Muammoli ta'lim (problem-based learning — PBL) shunday yondashuvki, bunda o'quvchi bilimni tayyor holda qabul qilmaydi, balki muammo hal qilish jarayonida o'zi kashf etadi. Ushbu yondashuv matematik tafakkurni rivojlantirishning eng samarali yo'llaridan biri sifatida tan olingan [Makhmutov, 1975: 48].

O'zbekiston ta'lim tizimida ham so'nggi yillarda o'quvchi faolligini oshirishga qaratilgan metodlar joriy etilmoqda. Xususan, O'zbekiston Respublikasining "Ta'lim to'g'risida"gi qonunining yangi tahriri (2020) va umumiy o'rta ta'lim davlat ta'lim standartlari o'quvchilarda mustaqil fikrlash va muammolarni hal qilish kompetensiyasini shakllantirishni ustuvor vazifa sifatida belgilagan.

Shu bois ushbu maqolada muammoli vaziyatlarning matematik tafakkurni rivojlantirishdagi o'rni nazariy jihatdan tahlil qilinadi, mavjud metodologik yondashuvlar tizimlashtirilib, amaliy tavsiyalar ishlab chiqiladi.

MATERIALLAR VA USULLAR.

Muammoli ta'lim nazariyasining asosini amerikalik faylasuf va pedagog John Dewey (1859–1952) yaratgan. U o'quvchi o'z tajribasi orqali o'rganishi kerak, degan g'oyani ilgari surgan va "fikrlash muammodan boshlanadi" tamoyilini asoslab bergan [Dewey, 1910: 123]. Uning izidan borib, Jorj Polya "Qanday qilib hal qilish kerak?" asarida matematik masalalarni yechishning heuristik strategiyalarini batafsil bayon etgan va muammoni tushunish, reja tuzish, rejani bajarish, orqaga qarab tekshirish bosqichlarini ajratgan.

Sovet pedagogika ilmida muammoli ta'lim nazariyasini Matvey Makhmutov va Isaak Lerner rivojlantirdi. Makhmutov muammoli darsni tashkil etishning to'liq kontseptsiyasini ishlab chiqdi va o'quv muammosining asosiy belgilarini: yangilik, ziddiyat va o'quvchiga nisbatan bilishga qiziqish uyg'otish — sifatida ko'rsatdi. Lerner esa muammoli ta'limni didaktik tizim sifatida tavsiflab, uning beshta asosiy usulini — tushuntiruvchi-ko'rsatuvchi, reproduktiv, muammoli bayon, qisman izlanish (heuristik) va tadqiqot usullarini — tasniflab berdi.

Zamonaviy xorijiy tadqiqotlarda muammoli ta'lim yangi qirralar bilan boyitilgan. Kilpatrick va boshqalar "Adding It Up" asarida matematikani o'qitishda muammolarni hal qilish kompetensiyasini shakllantirishning besh tarkibiy qismini — konseptual tushunish, protsedural ravonlik, strategik kompetentlik, adaptiv fikrlash va maqsadga intilish — ajratib ko'rsatdi. NCTM

(National Council of Teachers of Mathematics) standartlari (2000) esa muammolarni hal qilishni matematika ta'limining markaziga qo'ydi.

O'zbek olimlaridan N.A.Muslimov va M.O.Yo'ldoshev o'qituvchilarni kasbiy tayyorlashda muammoli metodlardan foydalanish samaradorligini o'rganishgan. B.L. Qodirov esa o'rta maktabda matematika o'qitishda interfaol metodlar, jumladan muammoli yondashuv va loyiha metodini qo'llashning amaliy modellarini ishlab chiqqan.

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, muammoli ta'limning samaradorligi quyidagi omillarga bog'liq. Muammoning o'quvchi yosh va bilim darajasiga muvofiqligi; o'qituvchining yo'naltirib boruvchi roli; darsda xavfsiz intellektual muhitning yaratilishi.

Ushbu tadqiqotda ikkita asosiy metod qo'llanildi. *1. Adabiyotlarni taqqoslash metodi.* Bu metod doirasida muammoli ta'lim va matematik tafakkur mavzusida chop etilgan 5 ta mahalliy va xorijiy manbalar —ilmiy maqolalar va ta'lim standartlari hujjatlari — o'rganildi. Manbalar quyidagi mezonlar asosida taqqoslandi- nazariy asos (psixologik yoki didaktik), qo'llanilish darajasi (boshlang'ich, o'rta, yuqori sinf), o'lchovlanadigan natija (test ball, o'zlashtirish darajasi, kognitiv ko'rsatkich). Taqqoslash natijalari quyidagi 1-jadvalda aks ettirilgan.

1-jadval. Muammoli ta'lim bo'yicha asosiy manbalarning taqqoslanishi

Muallif / Manba	Yil	Asosiy g'oya	Qo'llanilish darajasi
J. Dewey	1910	Fikrlash muammodan boshlanadi	Umumiy pedagogika
G. Polya	1957	Heuristik strategiyalar	Matematika (o'rta, oliy)
I. Lerner	1974	Muammoli ta'lim usullari tasnifi	Umumiy didaktika
M. Makhmutov	1975	Muammoli dars kontseptsiyasi	Maktab ta'limi
NCTM	2000	Muammolarni hal qilish — markazda	Matematika ta'limi
Kilpatrick va b.	2001	Matematikaviy kompetensiyaning 5 tarkibi	Boshlang'ich—o'rta
B.L. Qodirov	2015	O'zbekiston maktablarida interfaol metodlar	O'rta maktab

2. Tizimlashtirish metodi. Adabiyotlar tahlili asosida yig'ilgan ma'lumotlar tizimlashtirilib, muammoli vaziyatlarning turlari va matematik tafakkurga ta'sir mexanizmlari aniqlanadi. Tizimlashtirish uch bosqichda amalga oshirildi. Birinchi bosqichda manbalardagi tavsif va ta'riflar umumlashtirildi; Ikkinchi bosqichda muammoli vaziyatlarning tasnifi ishlab chiqildi; Uchinchi bosqichda matematik tafakkurning komponentlari bilan munosabat o'rnatildi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA.

Adabiyotlar tahlili asosida matematik tafakkurning quyidagi asosiy komponentlari aniqlandi. Tahlil qilish va sintez qilish (murakkab masalani qismlarga bo'lish va ularni birlashtirish); umumlashtirish (xususiyan umumiyga ko'tarilish); abstraksiyalash (muhim xususiyatlarni ajratib

olish); o'tkazish (bir vaziyatdagi usulni yangi vaziyatga qo'llash); hujjatlash va asoslash (xulosalarni dalillar bilan isbotlash). Ushbu komponentlar muammoli vaziyatlar orqali maqsadli ravishda rivojlantirilishi mumkin.

Makhmutov va Lerner asarlarini tahlil qilish asosida matematika darslariga mos muammoli vaziyatlarning to'rt turi ajratildi. Bu tasnif 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval. Matematik darslar uchun muammoli vaziyatlar tasnifi

Turi	Tavsifi	Matematik tafakkur komponenti	Misol
Ziddiyatli vaziyat	Mavjud bilim yangi fakti tushuntirib bera olmaydi	Tahlil, sintez	Nima uchun 0 ga bo'lish mumkin emas?
Noma'lum usul vaziyati	Maqsad ma'lum, lekin yechish yo'li topilmagan	Heuristik izlash, o'tkazish	Yangi shakl yuzasini topish
Ziddiyatli ma'lumot vaziyati	Ikki to'g'ri ko'ringan fikr bir-biriga zid keladi	Umumlashtirish, asoslash	Paradoksal misollar (Zenon paradokslari)
Muqobil yechim vaziyati	Bir masalaning bir necha yechim yo'li mavjud	Ijodiy tafakkur, taqqoslash	Uchburchak yuzi — uch xil usul

Adabiyotlar tahlili va pedagogik nazariya asosida muammoli vaziyatni darsga loyihalashning quyidagi besh bosqichli modeli taklif etiladi:

1. Mavzu bo'yicha asosiy ziddiyat yoki noma'lumlikni aniqlash;
2. O'quvchi bilim darajasiga mos savol yoki vaziyatni shakllantirish;
3. Dastlabki farazlarni ifodalash uchun imkon berish (individual yoki guruhda);
4. Izlanish jarayonida yo'naltiruvchi savollar berish (to'g'ridan-to'g'ri javob emas);
5. Yechim va xulosa ustida muhokama — nima o'rganildi, qayerda qo'llaniladi.

Quyidagi 3-jadvalda muammoli ta'lim va an'anaviy o'qitish yondashuvlarining matematik tafakkur komponentlariga ta'siri adabiyotlar asosida taqqoslanadi.

3-jadval. Muammoli va an'anaviy yondashuvlarning taqqoslanishi

Tafakkur komponenti	An'anaviy yondashuv	Muammoli yondashuv
Tahlil qilish	Past (tayyor usul beriladi)	Yuqori (o'quvchi o'zi ajratadi)
Umumlashtirish	O'rtacha (o'qituvchi	Yuqori (o'quvchi xulosani

	umumlaydi)	chiqaradi)
O'tkazish	Past (faqat o'xshash masalalar)	Yuqori (yangi kontekstda qo'llash)
Ijodiy tafakkur	Past (yagona algoritmi)	Yuqori (muqobil yechimlar izlanadi)
Asoslash ko'nikmasi	Past (javob beriladi)	Yuqori (isbotlash talab etiladi)

Jadval ma'lumotlari shuni ko'rsatadiki, muammoli yondashuv matematik tafakkurning barcha asosiy komponentlarini an'anaviy yondashuvga nisbatan ancha samarali rivojlantiradi. Bu natija xorijiy va mahalliy adabiyotlardagi xulosalar bilan ham mos keladi.

XULOSA.

Ushbu maqolada muammoli vaziyatlar orqali o'quvchilarda matematik tafakkurni rivojlantirish metodikasi nazariy jihatdan ko'rib chiqildi. Adabiyotlarni taqqoslash va tizimlashtirish metodlari qo'llanilgan holda bir qancha asosiy xulosalarga kelindi. Muammoli ta'lim matematik tafakkurning barcha asosiy komponentlarini — tahlil, sintez, umumlashtirish, o'tkazish va asoslashni — samarali rivojlantiradi. Muammoli vaziyatlarning to'rt turi — ziddiyatli, noma'lum usul, ziddiyatli ma'lumot va muqobil yechim — darsda har biri o'ziga xos kognitiv vazifani bajaradi. Samarali muammoli dars uchun o'qituvchi yo'naltiruvchi (scaffolding) rolini o'ynashi, to'g'ridan-to'g'ri javob bermasdan, o'quvchini izlanishga undashi zarur. O'zbekiston maktablarida muammoli metodlarni tizimli qo'llash davlat ta'lim standartlaridagi kompetensiya talablari bilan to'liq mos keladi.

Tadqiqot natijalari asosida quyidagi amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi:

1. Matematika o'qituvchilari har bir mavzu bo'yicha kamida bitta muammoli vaziyat loyihalashi va uni dars rejasiga kiritishi tavsiya etiladi.
2. Muammoli vaziyatlar o'quvchilarning bilim darajasiga mos bo'lishi lozim: juda oson vaziyatlar tafakkurni rivojlantirmaydi, juda qiyin vaziyatlar esa hafsalani pir qiladi.
3. Pedagog oliy ta'lim muassasalarida matematika o'qitish metodikasi kursiga muammoli darsni loyihalash amaliyotini kiritish maqsadga muvofiq.
4. Kelajakdagi empirik tadqiqotlarda muammoli metodning turli sinf darajalarida (5–9-sinflar) matematik tafakkurga ta'sirini eksperimental tekshirish tavsiya etiladi.
5. Muammoli vaziyatlarni qo'llashda raqamli vositalar (GeoGebra, Desmos) dan foydalanish vizualizatsiyani kuchaytiradi va o'quvchi faolligini oshiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Dewey, J. (1910). How We Think. D.C. Heath & Co., Boston.
- [2] Lerner, I.Ya. (1974). Problemnoe obucheniye. Moskva: Znaniye. [Rus tilida]
- [3] Makhmutov, M.I. (1975). Problemnoe obucheniye: osnovnye voprosy teorii. Moskva: Pedagogika.
- [4] National Council of Teachers of Mathematics (NCTM). (2000). Principles and Standards for School Mathematics. Reston, VA: NCTM.

[5] Polya, G. (1957). How to Solve It: A New Aspect of Mathematical Method (2nd ed.). Princeton University Press.

[6] Qodirov, B.L. (2015). O'rta maktabda matematika o'qitishda interfaol metodlardan foydalanish. Toshkent: TDPU nashriyoti.

YARIMO'TKAZGICHLI MODDALARDA A^+ MARKAZLARDA KVANT EFFEKTLARINING HOSIL BO'LISHI

Inoyatov Shukurillo Turg'unboyevich¹, Yusupov Dilmurod Abdurashidovich², Foziljonov Bexruz Sanjar o'g'li³

^{1,2,3}Namangan davlat pedagogika instituti

shinoyatov77@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada yarimo'tkazgichli nanostrukturalarda, xususan Be bilan legirlangan GaAs/AlGaAs kvant o'ralarida musbat zaryadlangan akseptor — A^+ markazlarda kvant effektlarining shakllanish mexanizmlari tahlil qilinadi. A^+ markaz neytral akseptorning qo'shimcha kovakni elektrostatik bog'lashi natijasida yuzaga keladigan ikki-kovakli lokal kompleks sifatida qaraladi. Kvant o'rasidagi o'lchamli kvantlanish, kovak-kovak almashinish o'zaro ta'siri, Zeeman ajralishi, elektrostatik potensial fluktuatsiyalari va deformatsiya ta'sirining energetik sathlar hamda fotoluminessensiyaga ta'siri yoritiladi. Asosiy e'tibor ko'p formulali formalizmga emas, balki kuzatiladigan kvant hodisalarning fizik mazmuniga qaratilgan. Adabiyotlarda qayd etilgan magnito-optik va piezospektroskopik natijalar asosida A^+ markazlarning spin tuzilishi, lokalizatsiyasi va optik o'tishlari muhokama qilinadi.

Kalit so'zlar: A^+ markaz, yarimo'tkazgich, GaAs/AlGaAs, kvant o'ra, akseptor, kovak, fotoluminessensiya, Zeeman effekti, almashinish o'zaro ta'siri, lokalizatsiya.

Abstract. This article analyzes the mechanisms underlying the formation of quantum effects in positively charged acceptor A^+ centers in semiconductor nanostructures, particularly in Be-doped GaAs/AlGaAs quantum wells. The A^+ center is considered as a localized two-hole complex formed through the electrostatic binding of an additional hole to a neutral acceptor. The effects of quantum confinement in the quantum well, hole-hole exchange interaction, Zeeman splitting, electrostatic potential fluctuations, and strain on the energy levels and photoluminescence are discussed. Particular attention is paid not to an extensive mathematical formalism, but to the physical nature of the observed quantum phenomena. Based on magneto-optical and piezospectroscopic results reported in the literature, the spin structure, localization, and optical transitions of A^+ centers are analyzed.

Keywords: A^+ center, semiconductor, GaAs/AlGaAs, quantum well, acceptor, hole, photoluminescence, Zeeman effect, exchange interaction, localization.

Аннотация. В статье анализируются механизмы формирования квантовых эффектов в положительно заряженных акцепторных центрах A^+ в полупроводниковых наноструктурах, в частности в квантовых ямах GaAs/AlGaAs, легированных Be. Центр A^+ рассматривается как локальный двухдырочный комплекс, возникающий в результате электростатического связывания дополнительной дырки нейтральным акцептором. Рассматривается влияние размерного квантования в квантовой яме, дырочно-дырочного обменного взаимодействия, зеемановского расщепления, флуктуаций электростатического потенциала и деформационного воздействия на энергетические уровни и фотолюминесценцию. Основное внимание уделяется не сложному многоформульному формализму, а физическому содержанию наблюдаемых квантовых явлений. На основе магнитно-оптических и пьезоспектроскопических результатов, представленных в литературе, обсуждаются спиновая структура, локализация и оптические переходы центров A^+ .

Ключевые слова: центр A^+ , полупроводник, $GaAs/AlGaAs$, квантовая яма, акцептор, дырка, фотолюминесценция, эффект Зеемана, обменное взаимодействие, локализация.

KIRISH

Yarimoʻtkazgichlarda aralashma va nuqson markazlari elektron hamda kovaklarning lokal holatlarini hosil qilib, materialning elektr, optik va spin xossalarini sezilarli oʻzgartiradi. A^+ markazlar shu nuqtai nazardan alohida qiziqish uygʻotadi. Kubik yarimoʻtkazgichdagi neytral akseptor qoʻshimcha kovakni bogʻlaganda ikki zarrachali musbat zaryadlangan kompleks paydo boʻladi. Bunday kompleks vodorodning manfiy ioniga qattiq jismdagi oʻxshash tizim sifatida qaraladi. $GaAs/AlGaAs$ kvant oʻralarida esa oʻlchamli kvantlanish va valensiya zonasining murakkab tuzilishi A^+ markazning energetik spektrini hajmiy kristalldagidan farqli qiladi [1–4].

A^+ markazlarni oʻrganishda fotoluminessensiya (PL) ayniqsa samarali. Ikki tomonlama selektiv p-legirlash orqali kvant oʻrasida termodinamik muvozanatdagi A^+ holatlar hosil qilish mumkin. Fotoqoʻzgʻatilgan elektronlarning ushbu markazlarga rekombinatsiyasi spektral chiziqlar beradi; ularning magnit maydon, harorat, qoʻzgʻatish quvvati va bir oʻqli deformatsiyaga bogʻliqligi markazning nozik energetik tuzilishini tiklash imkonini beradi [1,2].

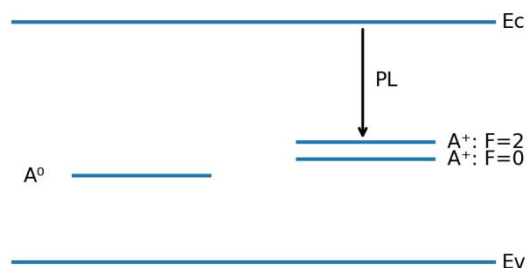
A^+ MARKAZNING FIZIK MODEL

A^+ markazda ikki lokal kovakning orbital va spin holatlari oʻzaro bogʻlangan. Alohida lokal kovakning toʻliq burchak momenti $J=3/2$ bilan tavsiflanadi. Ikki kovak holatlari almashinish oʻzaro taʼsiri sababli umumiy moment boʻyicha guruhlanadi. Petrov va hammualliflar modelida ikki kovak uchun $F=0$ va $F=2$ holatlar muhim boʻlib, kvant oʻra potentsiali $F=2$ multipletining proyeksiyalari boʻyicha qoʻshimcha ajralishni yuzaga keltiradi [1,4]. Shunday qilib, A^+ markaz oddiy bitta akseptor sathi emas, balki bir-biriga yaqin joylashgan kvant holatlar tizimidir.

$$\hat{H}\psi = E\psi$$

Bu yerda $\hat{H}$ — effektiv Hamiltonian boʻlib, unda kvant oʻra potentsiali, Kulon bogʻlanishi, kovaklar almashinish oʻzaro taʼsiri hamda tashqi maydonlar hissasi jamlanadi. Maqolada Shredinger tenglamasining toʻliq koʻp-zarrali yechimi keltirilmaydi; asosiy maqsad tajribada koʻrinadigan effektlarni ushbu energetik model bilan bogʻlashdir.

$GaAs/AlGaAs$ kvant oʻrasida A^+ markazning soddalashtirilgan energetik modeli



1-rasm. A^+ markazning soddalashtirilgan energetik sxemasi.

KVANT EFFEKTLARINING HOSIL BOʻLISH MEXANIZMLARI

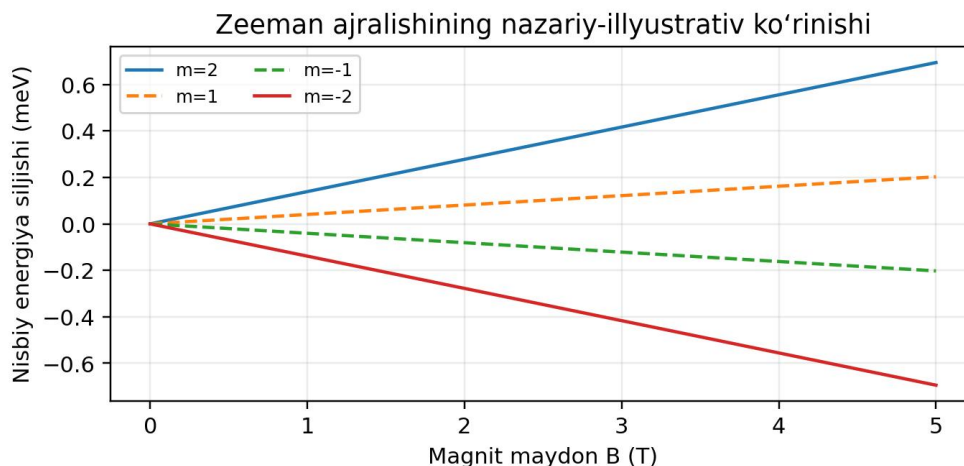
Birinchi asosiy effekt — lokalizatsiya va oʻlchamli kvantlanishdir. Kvant oʻra z yoʻnalishida kovak harakatini cheklaydi, shu sababli ogʻir va yengil kovak komponentlarining nisbiy hissasi oʻzgaradi. Bu A^+ markazning bogʻlanish energiyasi va optik tanlanish qoidalariga taʼsir koʻrsatadi. Oʻra eni kamaygan sari toʻlqin funksiyasining fazoviy taqsimoti oʻzgaradi va markazning ikki oʻlchamli xususiyati kuchayadi.

Ikkinchi effekt — kovak–kovak almashinish oʻzaro taʼsiri. Aynan shu oʻzaro taʼsir ikki kovakli kompleksning spin nozik tuzilishini belgilaydi. Tajriba va nazariy tahlil A^+ markazlarning PL spektrida bir nechta holatlarning namoyon boʻlishini, ularning qutblanish xususiyatlari esa spin tuzilishga sezgir ekanini koʻrsatgan [3,4].

Uchinchi effekt — tashqi magnit maydonda Zeeman ajralishi. Soddalashtirilgan holda energiya siljishi quyidagi ifoda bilan baholanadi:

$$\Delta E_Z = g^* \mu_B B$$

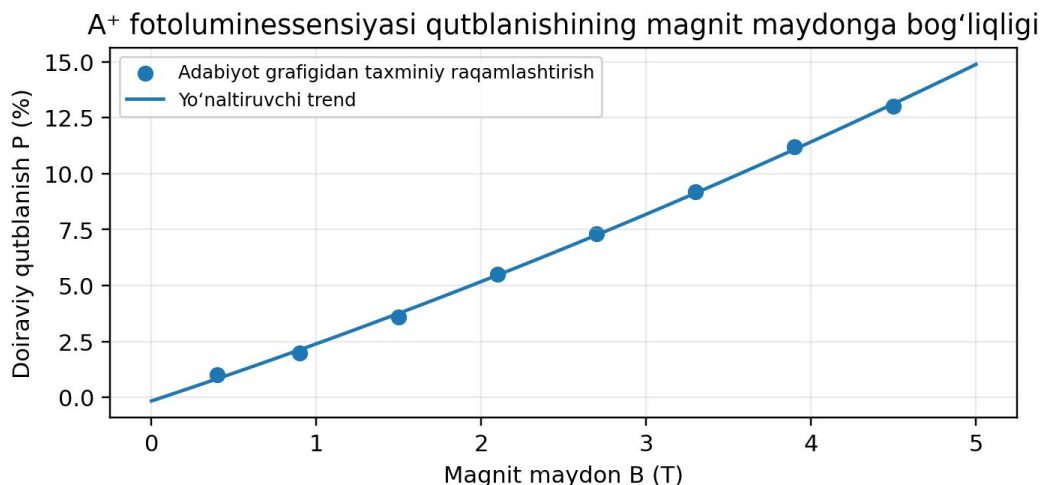
Bu yerda g^* — effektiv g-faktor, μ_B — Bor magnetoni, B — magnit induksiya. Magnit maydon kvant holatlarining degeneratsiyasini kamaytiradi va σ^+ hamda σ^- qutblangan PL komponentlari intensivliklarida farq hosil qiladi. A^+ markaz PL doiraviy qutblanishining magnit maydonda kuzatilishi uning spin tuzilishini tekshirishning bevosita optik usulidir [3].



2-rasm. Zeeman ajralishining nazariy-illyustrativ modeli. Qiymatlar tajriba natijasi sifatida talqin qilinmasligi kerak.

A^+ markazlar mavjud GaAs/AlGaAs kvant o'ralarida PL spektrining shakli harorat va optik qo'zg'atish darajasiga sezgir. Potensial fluktuatsiyalari zaryadning fazoviy qayta taqsimlanishiga olib keladi va erkin kovaklar paydo bo'lishiga sharoit yaratadi. Natijada lokal holatlar zichligi va rekombinatsiya kanallari o'zgaradi [2]. 2009-yilgi optik tadqiqotlarda Kulon o'zaro ta'siri valensiya zonasidagi holatlar zichligini o'zgartirib, Kulon bo'shlig'i paydo bo'lishi bilan bog'langan; Monte-Karlo hisoblari haroratga bog'liq PL bilan moslik ko'rsatgan [4].

Bir o'qli bosim ham A^+ markaz holatlarini boshqaruvchi muhim omildir. Be bilan legirlangan GaAs/AlGaAs kvant o'ralarida chiziqli qutblangan PL ning bosimga bog'liqligi o'rganilgan. Deformatsiya og'ir va yengil kovak komponentlarini aralashtirib, qutblanish darajasini va spektr maksimumining energiyasini o'zgartiradi. Tajribada bosim ortishi bilan PL maksimumining qisqa to'lqin tomonga siljishi kuzatilgan va bu nazariy model bilan izohlangan [1].



3-rasm. A^+ markaz PL doiraviy qutblanishining magnit maydonga bog'liqligi. Nuqtalar [5] dagi chop etilgan grafikdan taxminiy raqamlashtirilgan; aniq xom tajriba ma'lumotlari emas.

Asosiy kvant hodisalarining taqqoslanishi

Kvant hodisa	Fizik sabab	Kuzatiladigan belgi	Diagnostika
Lokalizatsiya	Akseptor Kulon potentsiali	Diskret lokal holatlar	PL spektri
O'lchamli kvantlanish	Kvant o'ra chegaralari	Sathlarning ajralishi	O'ra eni bo'yicha PL
Almashinish ajralishi	Ikki kovak o'zaro ta'siri	Nozik spin tuzilish	Qutblangan PL
Zeeman effekti	Magnit maydon	σ^+/σ^- komponentlar farqi	Magneto-PL
Deformatsion ajralish	Bir o'qli bosim	PL siljishi va qutblanish	Piezospektroskopiya
Kulon fluktuatsiyasi	Zaryadlangan markazlar	DOS va PL shakli o'zgarishi	T-ga bog'liq PL

1-jadval. A^+ markazlarda kuzatiladigan asosiy kvant effektlar.

NATIJAR VA MUHOKAMA

Tahlil shuni ko'rsatadiki, A^+ markazlarda kuzatiladigan kvant effektlar bitta mexanizm bilan cheklanmaydi. Ularning spektri uchta asosiy energiya masshtabining raqobati bilan belgilanadi: lokal Kulon bog'lanishi, ikki kovak almashinish energiyasi va kvant o'raning o'lchamli ajralishi. Tashqi magnit maydon hamda deformatsiya esa ushbu ichki tuzilishni tajribada ajratib ko'rish imkonini beruvchi boshqariladigan perturbatsiyalar vazifasini bajaradi.

Amaliy jihatdan A^+ markazlarning qutblangan PL xususiyatlari lokal spin holatlarni optik aniqlash, aralashma holatlarining energiyasini baholash va kvant o'ra dizaynining ta'sirini tekshirish uchun foydalidir. Shu bilan birga, A^+ markaz tushunchasini kremniydagi klassik vacancy-oxygen A-markaz bilan aynanlashtirish to'g'ri emas: mazkur maqoladagi A^+ — qo'shimcha kovak bog'lagan musbat akseptor kompleksi, ya'ni boshqa fizik obyekt.

Keyingi tadqiqotlar uchun istiqbolli yo'nalish sifatida o'ra eni, legirlash profili va tashqi deformatsiyani birgalikda o'zgartirib, A^+ markazning spin va optik holatlarini boshqarish mumkin. Bunda k-p yoki Luttinger Hamiltoniani asosidagi hisoblarni magneto-PL ma'lumotlari bilan birgalikda moslashtirish markazning effektiv g-faktori, almashinish parametri va og'ir/yengil kovak aralashuvini aniqroq ajratishga imkon beradi.

XULOSA

Yarimo'tkazgichli GaAs/AlGaAs kvant o'ralaridagi A^+ markazlar ikki kovakli lokal kvant kompleks bo'lib, ularning xossalari o'lchamli kvantlanish, almashinish o'zaro ta'siri, Kulon korrelyatsiyasi va tashqi maydonlar bilan belgilanadi. Magnit maydon Zeeman ajralishi va PL doiraviy qutblanishini, bir o'qli deformatsiya esa energetik sathlar va chiziqli qutblanishni o'zgartiradi. Harorat va potensial fluktuatsiyalari lokal holatlar bandining to'lishi hamda rekombinatsiya jarayonlariga ta'sir qiladi. Shu sababli A^+ markazlar yarimo'tkazgich nanostrukturalarida ko'p-zarrali kvant holatlari, spin hodisalari va lokalizatsiyani o'rganish uchun qulay model tizim hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Rodina A.V., Efros A.L. A^+ -center and exciton bound to neutral acceptor in diamond-like semiconductors. *Solid State Communications*, 1993, Vol. 85, No. 1, pp. 23–28.

[2] Ivanov Yu.L., Petrov P.V., Tonkikh A.A., Cirlin G.E., et al. Dependence of the binding energy of A^+ centers on quantum-well width in GaAs/AlGaAs structures. *Semiconductors*, 2003, Vol. 37, No. 9, pp. 1090–1092.

[3] Petrov P.V., Ivanov Yu.L., Smirnov D.S., Sedov V.E., Averkiev N.S. Optical study of the 2D A^+ center system. *Journal of Applied Physics*, 2011.

[4] Petrov P.V., Ivanov Yu.L., Mikhrin V.S., Zhukov A.E., et al. Effect of potential fluctuations on the energy structure of GaAs/AlGaAs quantum wells with A^+ centers. *Semiconductors*, 2008, Vol. 42, No. 10, pp. 1200–1203.

[5] Ivanov Yu.L., Petrov P.V., Romanov K.S., Tonkikh A.A., et al. Spin structure of A^+ centers in GaAs/AlGaAs quantum wells. *AIP Conference Proceedings*, 2007, Vol. 893, pp. 247–248. DOI:

[6] Averkiev N.S., Ivanov Yu.L., Cirlin G.E., Sedov V.E., Petrov P.V., Kokurin I.A. Fine structure of levels and piezospectroscopy of A^+ centers in GaAs/AlGaAs quantum wells. *Physics of the Solid State*, 2018, Vol. 60, No. 2, pp. 339–346.

[7] Sunder B. Binding energy of a confined hydrogenic impurity in a semiconductor quantum well. *Physical Review B*, 1992, Vol. 45, No. 15, pp. 8562–8566.

[8] Hofmann D.M., Omling P., Grimmeiss H.G., Meyer B.K., Benz K.W., Sinerius D. Identification of the chlorine A center in CdTe. *Physical Review B*, 1992, Vol. 45, No. 11, pp. 6247–6250.

UO‘K: 519.17:519.85

FAN VA TEXNOLOGIYANING DOLZARB MASALALARIDA DISKRET MATEMATIKA VA OPTIMIZATSIYA USULLARINING O‘RNI HAMDA AMALIY TATBIQI

Maxmudova Nasibaxon Abdujabborovna

Farg‘ona davlat texnika universiteti

e-mail: makhmudovanasiba1974@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada zamonaviy axborot texnologiyalari, logistika va tarmoq xavfsizligida diskret matematika va optimallashtirish usullarining amaliy ahamiyati yoritilgan. Graf nazariyasi, chiziqli dasturlash va ehtimollar nazariyasi tushunchalarining real masalalarni hal etishdagi o‘rni ilmiy jihatdan asoslangan. Transport va kommunikatsiya tarmoqlarida eng maqbul yo‘nalishni topish masalasi grafik modellashtirish va Deykstra algoritmi yordamida tahlil qilingan.

Kalit so‘zlar: diskret matematika, graf nazariyasi, chiziqli dasturlash, Deykstra algoritmi, optimallashtirish, tarmoq modellari, ehtimollar nazariyasi.

Аннотация. В данной статье освещена практическая значимость дискретной математики и методов оптимизации в современных информационных технологиях, логистике и сетевой безопасности. Научно обоснована роль теории графов, линейного программирования и теории вероятностей в решении реальных задач. Задача нахождения оптимального маршрута в транспортных и коммуникационных сетях проанализирована с помощью графового моделирования и алгоритма Дейкстры.

Ключевые слова: дискретная математика, теория графов, линейное программирование, алгоритм Дейкстры, оптимизация, сетевые модели, теория вероятностей.

Abstract. This article highlights the practical importance of discrete mathematics and optimization methods in modern information technology, logistics, and network security. The role

of graph theory, linear programming, and probability theory in solving real-world problems is scientifically substantiated. The problem of finding the optimal route in transport and communication networks is analyzed using graph modeling and Dijkstra's algorithm.

Key words: discrete mathematics, graph theory, linear programming, Dijkstra's algorithm, optimization, network models, probability theory.

1. Kirish. Zamonaviy raqamli iqtisodiyot, Google Maps kabi navigatsiya tizimlari, internet provayderlar va sun'iy intellekt tarmoqlarining ishlash mexanizmi bevosita Diskret matematika va Graf nazariyasi tushunchalariga tayanadi. Klassik oliy matematikaning uzluksiz funksiyalardan tashkil topgan bo'limlaridan farqli o'laroq, diskret matematika uzlikli ob'ektlar, alohida tugunlar va ular orasidagi bog'liqliklar bilan ishlaydi.

Bugungi kunda transport logistikasi va axborot uzatish tarmoqlarida xarajatlarni kamaytirish, vaqtni tejash hamda resurslarni to'g'ri taqsimlash eng dolzarb masalalardan biridir. Ushbu maqolada matematikaning graf nazariyasi hamda chiziqli optimallashtirish bo'limlari amaliy masalalarga qanday tatbiq etilishi ko'rib chiqiladi.

2. Diskret model qurish bo'sqichlari. Real ob'ektni diskret matematik model ko'rinishiga keltirish quyidagi tartibda amalga oshiriladi:

1. Ob'ektlarni aniqlash (Tugunlar): Shaharlar, serverlar yoki foydalanuvchilar V to'plam sifatida olinadi.
2. Aloqalarni o'rnatish (Qovurg'alar): Ob'ektlar orasidagi yo'llar, aloqa liniyalari E to'plam shaklida belgilanadi.
3. Vazn/Xarajat kiritish: Har bir aloqaga masofa, vaqt yoki narx qiymati (w) biriktiriladi.
4. Algoritmik yechim: Qidiruv va optimallashtirish algoritmlari qo'llaniladi.

3. Amaliy masalaning ilmiy asoslangan matematik modeli

Masala qo'yilishi: N ta tugundan iborat yo'naltirilgan va vaznli $G=(V,E)$ graf berilgan. Bu yerda $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ — uchlar to'plami, $E \subseteq V \times V$ — qovurg'alar to'plami. Har bir $(v_i, v_j) \in E$ qovurg'aga $w(v_i, v_j) \geq 0$ manfiy bo'lmagan vazn (masofa yoki vaqt) biriktirilgan. Boshlang'ich $s \in V$ uchdan barcha boshqa uchlargacha bo'lgan eng qisqa masofani topish talab etiladi.

Deykstra algoritmining matematik ifodasi:

Har bir $v \in V$ uch uchun vaqtinchalik belgi $d(v)$ kiritiladi. Boshlang'ich shartlar:

$$d(s)=0, \quad d(v)=\infty \quad (\forall v \in V \setminus \{s\})$$

Invariant saqlangan holda, ishlov berilmagan uchlar to'plami S uchun quyidagi rekurrent munosabat bajariladi:

$$u = \operatorname{argmin}_{v \in S} d(v)$$

Tanlangan u uchi uchun barcha unga qo'shni $v \in S$ uchlarning masofalari qayta hisoblanadi (Relaksatsiya operatsiyasi):

$$d(v) := \min(d(v), d(u) + w(u, v))$$

Ushbu jarayon $S=\emptyset$ bo'lgunga qadar davom etadi va yakuniy eng qisqa yo'l uzunligi quyidagicha aniqlanadi:

$$L(s, v_t) = \sum_{(u, v) \in P^*} w(u, v)$$

Bu yerda P^* — s uchdan v_i uchgacha bo'lgan optimal yo'ldir.

4. Chiziqli optimallashtirish va ehtimollar nazariyasi tatbiqi

Resurslarni optimal taqsimlashda chiziqli dasturlashning umumiy ko'rinishi quyidagicha maqsad funksiyasini maksimumlashtirish yoki minimumlashtirishga keltiriladi:

$$Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max \quad (\text{yoki min})$$

Quyidagi chiziqli chegaraviy shartlar ostida:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (i=1,2,\dots,m), \quad x_j \geq 0$$

Bu model zavodlarda mahsulot ishlab chiqarish rejasini tuzishda va moliya bozorlarida xatarlarni kamaytirishda (ehtimollar nazariyasidagi dispersiya σ^2 va kutilayotgan qiymat $E[X]$ orqali) keng qo'llaniladi.

5. Xulosa. Oliy matematikaning Diskret matematika va Graf nazariyasi bo'limlari zamonaviy axborot-kommunikatsiya va logistika tizimlarining tamal toshidir. Murakkab tizimlarni graf ko'rinishida modellashtirish va optimallashtirish algoritmlarini qo'llash orqali amaliyotda sarf-xarajatlarni keskin kamaytirish va tizim samaradorligini oshirish mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR (REFERENCES):

- [1] Cormen T. H., Leiserson C. E., Rivest R. L., Stein C. *Introduction to Algorithms*. — 3rd Edition, MIT Press, 2009.
- [2] Bondy J. A., Murty U. S. R. *Graph Theory*. — Springer, 2008.
- [3] Gaziyeu A., Isroilov I. *Diskret matematika va mathematical mantiq elementlari*. — Toshkent: "O'zbekiston", 2015.
- [4] Hillier F. S., Lieberman G. J. *Introduction to Operations Research*. — 10th Edition, McGraw-Hill, 2015.

THE APPLICATION OF DIFFERENTIAL EQUATIONS IN MATHEMATICAL MODELING OF REAL-WORLD PROCESSES

Qosimova Maxbuba Yakubjanovna

Fergana State Technic University

Abstract. *Differential equations are one of the fundamental areas of modern mathematics and an important mathematical tool for describing processes that change over time. They are widely used in physics, engineering, economics, biology, environmental science, and other disciplines. The main purpose of this study is to examine the role of differential equations in mathematical modeling and demonstrate their practical significance. The paper discusses ordinary and partial differential equations, their basic applications, and their ability to describe dynamic systems. Particular attention is given to the relationship between mathematical theory and real-world processes. The analysis demonstrates that differential equations provide an effective framework for understanding changes, predicting system behavior, and developing mathematical solutions to practical problems.*

Keywords: *differential equations, mathematics, mathematical modeling, dynamic systems, ordinary differential equations, partial differential equations, mathematical analysis.*

Аннотация. Дифференциальные уравнения являются одним из фундаментальных разделов современной математики и важным математическим инструментом для описания процессов, изменяющихся во времени. Они широко применяются в физике, инженерии, экономике, биологии, экологии и других областях. Цель данной работы заключается в изучении роли дифференциальных уравнений в математическом моделировании и раскрытии их практического значения. В статье рассматриваются обыкновенные и дифференциальные уравнения в частных производных, их основные области применения и возможности описания динамических систем. Особое внимание уделяется взаимосвязи математической теории с реальными процессами. Анализ показывает, что дифференциальные уравнения являются эффективным инструментом для изучения изменений, прогнозирования поведения систем и решения практических задач.

Ключевые слова: дифференциальные уравнения, математика, математическое моделирование, динамические системы, обыкновенные дифференциальные уравнения, уравнения в частных производных, математический анализ.

Annotatsiya. Differensial tenglamalar zamonaviy matematikaning fundamental bo'limlaridan biri bo'lib, vaqt davomida o'zgarib boradigan jarayonlarni ifodalashda muhim matematik vosita hisoblanadi. Ular fizika, muhandislik, iqtisodiyot, biologiya, ekologiya va boshqa ko'plab sohalarda keng qo'llaniladi. Ushbu maqolaning asosiy maqsadi differensial tenglamalarning matematik modellashdagi o'rnini o'rganish va ularning amaliy ahamiyatini yoritishdan iborat. Maqolada oddiy differensial tenglamalar hamda xususiy hosilali differensial tenglamalar, ularning asosiy qo'llanilish sohalari va dinamik tizimlarni ifodalash imkoniyatlari ko'rib chiqiladi. Matematik nazariya bilan real jarayonlar o'rtasidagi bog'liqlikka alohida e'tibor qaratiladi. Tadqiqot natijalari differensial tenglamalar o'zgarishlarni o'rganish, tizimlarning xatti-harakatini bashorat qilish va amaliy masalalarga matematik yechim topishda samarali vosita ekanligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: differensial tenglamalar, matematika, matematik modellash, dinamik tizimlar, oddiy differensial tenglamalar, xususiy hosilali differensial tenglamalar, matematik analiz.

INTRODUCTION

Mathematics is one of the most important tools for understanding quantitative relationships and describing processes occurring in the real world. Among the numerous branches of mathematics, differential equations occupy a special position because they provide a way to describe how one or more quantities change in relation to other variables.

Many natural and social processes are dynamic. The temperature of an object changes with time, the population of a species increases or decreases, the position of a moving object depends on time, and economic indicators change under different conditions. Such processes can often be represented using differential equations.

The development of differential equations has therefore played an important role in the development of modern mathematics and applied sciences. Their theoretical methods provide a mathematical foundation for modeling, analysis, and prediction.

MAIN PART

A differential equation is an equation that contains an unknown function and one or more of its derivatives. Depending on the number of independent variables and the form of the derivatives, differential equations can be divided into different categories.

One of the basic categories is the ordinary differential equation (ODE). An ordinary differential equation involves derivatives of a function with respect to one independent variable. A simple first-order equation can be written as:

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y)$$

where y is an unknown function and x is an independent variable.

Such equations are frequently used to describe processes that depend on a single variable, particularly time. For example, population growth can be represented by the differential equation:

$$\frac{dP}{dt} = rP$$

where P represents population, t represents time, and r is the growth rate.

The solution of this equation is:

$$P(t) = P_0 e^{rt}$$

where P_0 is the initial population. This simple model demonstrates how mathematical equations can be used to represent and analyze a real-world process.

Differential equations are also important in physics. Newton's laws of motion can be formulated using differential equations. If the position of an object is represented by $x(t)$, its velocity and acceleration can be expressed as derivatives:

$$v(t) = \frac{dx}{dt}$$
$$a(t) = \frac{d^2x}{dt^2}$$

Therefore, the motion of an object can be studied mathematically through differential equations.

Another major category is partial differential equations (PDEs). These equations contain partial derivatives of functions involving several independent variables. They are particularly important for describing spatial and temporal processes.

For example, the heat equation can be expressed in a simplified form as:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

where u represents temperature, t is time, x is spatial position, and α is a diffusion coefficient.

This equation demonstrates how mathematics can be used to study the distribution of temperature over space and time.

Differential equations also have significant applications in economics. Economic models can describe the dynamics of prices, investments, production, and other variables. By establishing mathematical relationships between these variables, researchers can investigate how a system changes when certain parameters are modified.

In biology, differential equations can be used to model population dynamics, the spread of diseases, and interactions between species. In environmental science, they can help describe changes in ecosystems and the movement of pollutants.

One of the major advantages of differential equation models is their ability to provide predictions. Once an appropriate mathematical model has been developed and initial conditions have been determined, mathematical methods or computer simulations can be used to estimate the future behavior of a system.

However, mathematical models are simplified representations of reality. A model may not include every factor influencing a real process. Therefore, the assumptions used in constructing the model must be carefully considered, and theoretical results should be compared with experimental or observational data.

CONCLUSION

Differential equations represent an essential part of modern mathematics and provide powerful methods for analyzing dynamic processes. Their applications extend far beyond theoretical mathematics and include physics, engineering, economics, biology, environmental science, and many other disciplines.

The study of differential equations helps researchers understand how systems change and how different variables influence one another. Mathematical models based on differential equations can also be used for prediction, simulation, and optimization.

Consequently, the continued development of analytical and numerical methods for solving differential equations is important for both mathematical research and practical applications. Combining classical mathematical theory with modern computational technologies creates new opportunities for studying increasingly complex systems.

REFERENCES:

- [1] Boyce, W. E., & DiPrima, R. C. *Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems*. Wiley.
- [2] Zill, D. G. *A First Course in Differential Equations with Modeling Applications*. Cengage Learning.
- [3] Strauss, W. A. *Partial Differential Equations: An Introduction*. Wiley.
- [4] Edwards, C. H., & Penney, D. E. *Differential Equations and Boundary Value Problems: Computing and Modeling*. Pearson.
- [5] Kreyszig, E. *Advanced Engineering Mathematics*. Wiley.

MUHANDISLIK TALABALARGA FUNDAMENTAL FANLARNI O'QITISHDA DASTURLASH TILI ORQALI BILIMINI TAKOMILLASHTIRISH

Ruzimurodov Ixtiyor Nishonovich¹, Sattorov Mamadiyor Egamberdiyevich², Muqumova Muxlisa Muxiddin qizi³

¹Qarshi davlat texnika universiteti "Oliy matematika" kafedrası dotsenti.
ixtiyor31031976@gmail.com Tel: (91)263-80-77

²Qarshi davlat texnika universiteti "Oliy matematika" kafedrası katta o'qituvchisi.

³Qarshi davlat texnika universiteti talabasi

Annotatsiya. Ushbu maqolada muhandislik ta'limi yo'nalishi talabalarining fundamental bilimlarini rivojlantirishga mo'ljallangan dasturiy ta'minotni ishlab chiqish, undan foydalanish usullari hamda dasturiy ta'minotni klassifikatsiyalarga ajratish bosqichlari yoritilgan. Shuningdek, mazkur dasturiy vositalarning talabalarining fundamental bilimlarini oshirishdagi ahamiyati ko'rsatib berilgan.

Kalit so'zlar: Muhandislik ta'limi, fundamental bilimlar, dasturiy ta'minot, Python dasturlash tili, dasturiy vositalar, ta'lim texnologiyalari, dasturlash, axborot texnologiyalari, talabalar bilimini rivojlantirish, raqamli ta'lim, dasturiy vositalarni tasniflash.

Kirish. Bugungi kunda fan va texnikaning jadal rivojlanishi ta'lim jarayoniga zamonaviy axborot texnologiyalari hamda dasturiy vositalarni keng joriy etishni talab etmoqda. Ayniqsa, muhandislik ta'limida talabalarining fundamental bilimlarini shakllantirish va rivojlantirishda dasturiy ta'minotlardan samarali foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi. Dasturiy vositalarning xilma-xilligi va ularning turli fan hamda amaliy masalalarni yechishda keng qo'llanilishi ta'lim jarayonining mazmuni va metodlarini takomillashtirish uchun yangi imkoniyatlar yaratmoqda.

Pedagoglardan fundamental fanlarni o'qitishda zamonaviy dasturiy ta'minotlardan foydalanish imkoniyatlarini chuqur o'rganish, ularni ta'lim jarayoniga maqsadli va samarali tatbiq etish usullarini egallash talab etiladi.

Python dasturlash tilidan foydalanish orqali matematik, fizik va muhandislik masalalarini modellashtirish, hisoblash hamda olingan natijalarni vizual ko'rinishda ifodalash imkoniyati talabalarning nazariy bilimlarini amaliy ko'nikmalar bilan mustahkamlashga xizmat qiladi.

- **Mavzuga oid adabiyotlar tahlili (Literature review).** Texnika oliy ta'lim muassasalarida talabalarning fundamental tayyorgarligini rivojlantirishda zamonaviy dasturiy vositalardan foydalanish muhim pedagogik imkoniyatlarni yaratadi. Fundamental fanlarni o'qitish jarayonida qo'llaniladigan dasturiy vositalarni ularning funksional imkoniyatlari, qo'llanish sohasi va ta'limiy vazifalaridan kelib chiqib, shartli ravishda uchta asosiy guruhga ajratish mumkin:

1. **Pedagogik dasturiy vositalar;**
2. **Amaliy dasturiy paketlar;**
3. **Dasturlash tillari.**

Pedagogik dasturiy vositalar ta'lim jarayonida nazariy bilimlarni amaliy faoliyat bilan bog'lashga xizmat qiladi. Ular yordamida fizik va texnik jarayonlarning virtual modellari yaratiladi, simulyatsiyalar amalga oshiriladi hamda virtual laboratoriya mashg'ulotlarini tashkil etish imkoniyati yaratiladi. Bunday vositalarga virtual laboratoriyalar, simulyatorlar, elektron darsliklar, elektron o'quv qo'llanmalar va ta'limiy veb-resurslarni kiritish mumkin [1,2].

Amaliy dasturiy paketlar matematik va muhandislik masalalarini yechishda, turli hodisa va jarayonlarni matematik modellashtirishda, hisoblash ishlarini avtomatlashtirishda hamda yaratilgan modellarni tadqiq etishda qo'llaniladi. Ular murakkab hisoblashlarni qisqa vaqt ichida bajarish, natijalarni tahlil qilish va grafik ko'rinishda ifodalash imkonini beradi.

Dasturlash tillari esa talabalarning algoritmik va mantiqiy fikrlashini rivojlantirish, matematik hamda muhandislik masalalarini dasturiy yechimga aylantirish uchun keng imkoniyat yaratadi. Python dasturlash tili sodda sintaksisi, hisoblash imkoniyatlari va turli kutubxonalardan foydalanish qulayligi bilan fundamental fanlarni o'qitishda samarali vosita sifatida qo'llanishi mumkin.

Python yordamida matematik hisoblashlarni bajarish, funksiyalar grafiklarini qurish, fizik jarayonlarni modellashtirish va olingan natijalarni vizual tahlil qilish imkoniyatlari mavjud[2].

Dasturiy vositalarning mazkur uchta guruhini ta'lim jarayonida maqsadli qo'llash talabalarning nazariy bilimlarini mustahkamlash, amaliy ko'nikmalarini rivojlantirish hamda fundamental tayyorgarligini oshirishga xizmat qiladi.

- **Tadqiqot metodologiyasi (Research Methodology).** Mazkur tadqiqotda muhandislik yo'nalishlarida tahsil olayotgan talabalarga fundamental fanlarni, matematika fanini o'qitish jarayonida dasturlash texnologiyalaridan foydalanishning didaktik imkoniyatlari o'rganildi. Tadqiqotning metodologik asosini ta'lim jarayonini raqamlashtirish, talabalarning amaliy kompetensiyalarini rivojlantirish, nazariy bilimlarni amaliy masalalar bilan bog'lash hamda algoritmik va mantiqiy fikrlashni shakllantirish tamoyillari tashkil etadi.

Ta'lim jarayonida foydalaniladigan dasturiy ta'minotlarni didaktik jihatdan ularning maqsadi, bajaradigan funksiyasi, ta'lim jarayonidagi o'rni va talabaning mustaqil faoliyatini qo'llab-quvvatlash darajasi asosida dasturiy vositalarni fan mazmuni va o'quv maqsadlariga muvofiq tanlash imkonini beradi.

Shuningdek, tadqiqotda kuzatish, pedagogik tajriba-sinov, taqqoslash, tahlil, umumlashtirish va matematik-statistik usullardan foydalanish nazarda tutiladi. Dasturlash vositalari asosida tashkil etilgan mashg'ulotlarda talabalarning masalani yechish tezligi, algoritm tuzish qobiliyati, dastur kodini ishlab chiqish ko'nikmasi va olingan natijalarni tahlil qilish darajasi o'rganiladi.

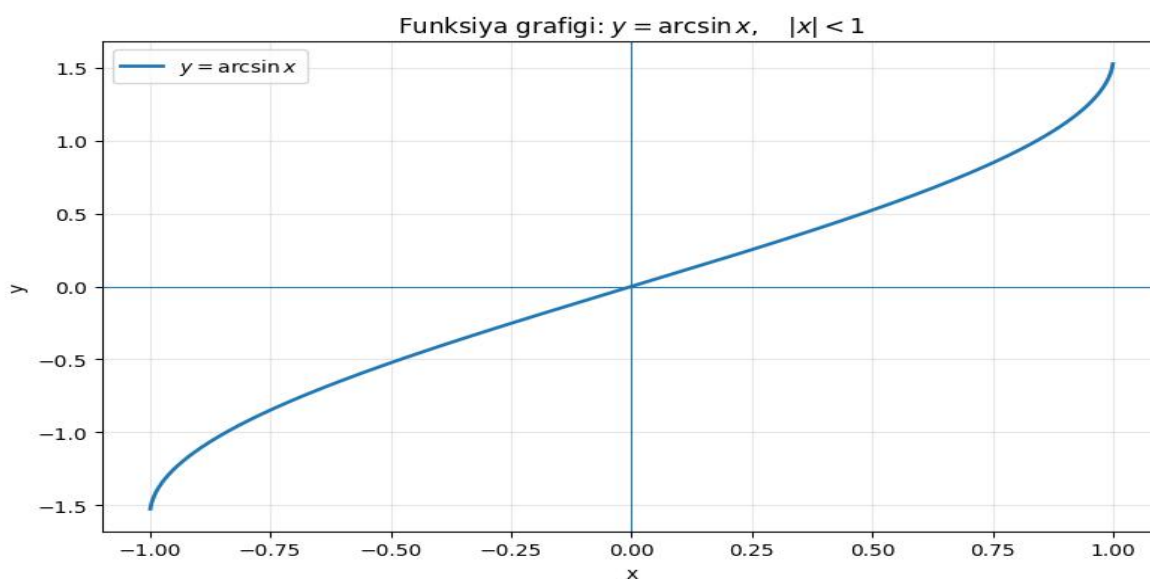
Shu asosda dasturlash tilidan fundamental fanlarni o'qitishda foydalanish faqat hisoblash vositasi sifatida emas, balki talabaning nazariy bilimlarini amaliy faoliyat bilan integratsiyalash, algoritmik tafakkurini rivojlantirish va muhandislik masalalarini mustaqil hal qilish kompetensiyalarini shakllantirish vositasi sifatida qaraladi.

- Tahlil va natijalar (Analysis and results). Talabalarni kasbiy tayyorlashda fanlararo integratsiyalash orqali bilim va ko'nikmasini oshirgan holda masalani yechimini topamiz va dastur kodini grafigini hosil qilamiz.

Misol. $y = \arcsin x$ $|x| < 1$ $x = \sin y$, $x_y = \cos y$

$$y'_x = \frac{1}{\cos y} = \frac{1}{\sqrt{1 - \sin^2 y}} = \frac{1}{\sqrt{1 - x^2}} \quad y'_x = \frac{1}{\sqrt{1 - x^2}}$$

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
# x ning qiymatlari: |x| < 1
x = np.linspace(-0.999, 0.999, 1000)
# y = arcsin(x)
y = np.arcsin(x)
# Grafikni chizish
plt.figure(figsize=(8, 5))
plt.plot(x, y, label='y = arcsin(x)', linewidth=2)
plt.xlabel('x')
plt.ylabel('y')
plt.title(r'$y=\arcsin x, \text{quad } |x|<1$')
plt.grid(True)
plt.axhline(0, linewidth=0.8)
plt.axvline(0, linewidth=0.8)
plt.legend()
plt.show()
```



Ta'lim jarayonida bo'lajak dasturchi talabalarni fundamental bilimlarini rivojlantirishga qaratilgan dasturiy ta'minotlar ustuvorligini ta'minlash orqali kasbiy kompetentligini shakllantirishning axboriy-didaktik ta'minoti tizimli, metodologik, kompetentli, aksiologik yondashuvlar asosida rivojlantirish ;

Talabalarni loyihalash, konstruktorlik, yaratuvchanlik, kabi bo'lajak dasturchi mutaxassisligiga xos sifatlarini va kasbiy kompetentligini shakllanganlik darajalarini baholash mezonlarini (reproduktiv, izlanishli, kreativ) pedagogik dasturiy mahsulot vositasida statistik tahlilni vizuallashtirish imkoniyatidan foydalanib optimallashtirish zarur ahamiyatga ega.

- Xulosa va takliflar (Conclusion/Recommendations). Xulosa urnida texnika oliy ta'lim muassasalar talabalari bilan hamkor tashkilotlararo integratsiya talabalardan kutiladigan natija fundamental bilimlari rivojlangan kompetentli mutaxassis hamda bugungi kunda talabalar zamonaviy axborot kommunikatsiya vositalaridan foydalanish ko'nikmasiga ega bo'lishi bilan birga bir qator dasturiy ta'minotlarni amaliyotda qo'llay olishi zarur buning uchu texnika oliy ta'lim muassasalarida fundamental fanlarni mutaxassislik fanlari bilan integratsialshgan holda mavzularni dasturiy ta'minotlar bilan tizimli ravshda bog'lab mutaxassisligiga xos sifatlar rivojlanishiga yordam beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Хуторской, А.В. Технология проектирования ключевых и предметных компетенций [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «Эйдос». – 2005. – Режим доступа: <http://www.eidos.ru/journal/2005/1212.htm>. – (Дата обращения: 31.01.2019).

[2] Есин, Р.В. Формирование математической компетентности бакалавра направления подготовки “Информатика и вычислительная техника” в электронной среде. Дисс. кан. пед. наук. – Красноярск, 2019. - 232 с.

[3] Banker Hans. Practical Use of MathCAD; Solving mathematical problems with a computer algebra system. Translated by Anthony Rudd.-springer 1999-505p.

[4] Ё. Соатов. Высшая математика. Ташкент “Ўқитувчи”, 1995й

[5] Ruzimurodov I.N. “Elektron ta'lim muhitida dasturchilarni kasbiy kompetentligini rivojlantirish metodikasini takomillashtirish” PhD dissertatsiya. Tosh.-2022. 208 b

MUHANDISLIK TALABALARGA MATEMATIKA FANINI DASTURLASH TILI ASOSIDA O'QITISH METODIKASINI TAKOMILLASHTIRISH

Ruzimurodov Ixtiyor Nishonovich¹, Hayitov Bahodir Yusupovich², Ruzimurodov Og'abek Ixtiyor o'g'li³

^{1,2}Qarshi davlat texnika universiteti “Oliy matematika” kafedrası dotsenti.

ixtiyor31031976@gmail.com Tel: (91)263-80-77

³Qarshi davlat texnika universiteti talabasi

Annotatsiya. Maqolada muhandislik ta'limi talabalarining fundamental bilimlarini rivojlantirishda dasturlash tili va dasturiy ta'minotlardan foydalanish imkoniyatlari yoritilgan. Dasturiy vositalarni ta'lim jarayonida qo'llash, ularni klassifikatsiyalash va talabalarining nazariy bilimlarini amaliy ko'nikmalar bilan bog'lash usullari ko'rib chiqilgan. Dasturiy vositalardan foydalanishning ta'lim samaradorligini oshirishdagi ahamiyati asoslangan.

Kalit so'zlar: Muhandislik ta'limi, fundamental bilim, dasturlash tili, dasturiy ta'minot, ta'lim samaradorligi, amaliy ko'nikma.

Kirish. Raqamli texnologiyalarning turli sohalarga, muhandislik va texnik yo'nalishlarga keng kirib borishi natijasida zamonaviy mutaxassislardan nazariy bilimlarga, amaliy masalalarni raqamli vositalar yordamida tahlil qilish, modellashtirish va yechimlarini ishlab chiqish kompetensiyalariga ega bo'lish talab etilmoqda. Muhandislik ta'limida fundamental fanlarni

o'qitish jarayonini zamonaviy dasturiy vositalar bilan integratsiyalash muhim pedagogik va metodik vazifalardan biri hisoblanadi.

Muhandislik ta'limining fundamental asosini matematika, fizika, informatika va boshqa tabiiy-ilmiy fanlar tashkil etadi. Mazkur fanlarni o'zlashtirish jarayonida talabalar ko'plab matematik hisoblashlar, fizik jarayonlarni ifodalovchi modellar, funksiyalar, tenglamalar va amaliy masalalar bilan ishlaydilar. An'anaviy ta'lim jarayonida bunday masalalarning yechimi ko'pincha analitik va qo'lda hisoblash usullariga asoslanadi. Biroq murakkab hisoblashlarni bajarish, turli parametrlarning natijaga ta'sirini aniqlash va olingan natijalarni grafik jihatdan tahlil qilishda zamonaviy dasturiy vositalardan foydalanish ta'lim samaradorligini oshirish uchun qo'shimcha imkoniyatlar yaratadi.

Dasturlash tillarining ta'lim jarayoniga joriy etilishi fundamental fanlarni o'qitishda nazariya va amaliyot o'rtasidagi bog'liqlikni kuchaytirishga xizmat qiladi. Python dasturlash tili yordamida matematik formulalarni algoritmgaga aylantirish, hisoblash jarayonlarini avtomatlashtirish, matematik va fizik modellarni yaratish, tajriba natijalarini qayta ishlash hamda ularni grafik ko'rinishda ifodalash mumkin. Bunday yondashuv talabaning tayyor formulani qo'llash bilan cheklanib qolmasdan, masalaning mohiyatini anglash, uni bosqichma-bosqich algoritmlashtirish va olingan natijani tahlil qilish ko'nikmalarini rivojlantiradi.

Python dasturlash tilining ta'lim jarayonidagi imkoniyatlari muhim ahamiyatga ega. Dasturlash asosida ta'lim berish talabalarida algoritmik fikrlash, mantiqiy mushohada yuritish, muammoni tarkibiy qismlarga ajratish, yechimning ketma-ketligini belgilash va natijalarni tanqidiy tahlil qilish kabi kompetensiyalarni shakllantirishga yordam beradi. Bu kompetensiyalar zamonaviy muhandislik faoliyatida muhim o'rin tutib, kelgusida texnik masalalarni mustaqil hal qilish va raqamli texnologiyalardan samarali foydalanish uchun zarur bo'lgan ko'nikmalarni shakllantiradi.

Muhandislik talabalariga fundamental fanlarni o'qitishda dasturlash tillaridan foydalanishning didaktik va metodik imkoniyatlarini o'rganish, dasturiy vositalarni o'quv jarayoniga maqsadli integratsiya qilish usullarini ishlab chiqish hamda ularning talabalarning bilim va amaliy ko'nikmalarini rivojlantirishdagi samaradorligini aniqlash dolzarb ilmiy-metodik masalalardan biri hisoblanadi. Yondashuv fundamental bilimlarni chuqurlashtirish bilan bir qatorda, talabalarni zamonaviy raqamli muhitda mustaqil ishlash, matematik va muhandislik masalalarini dasturiy vositalar yordamida yechish hamda olingan natijalarni tahlil qilishga tayyorlashga xizmat qiladi.

- **Mavzuga oid adabiyotlar tahlili (Literature review).** Fundamental fanlarni o'qitishga kompyuter texnologiyalari va dasturiy vositalardan foydalanishning didaktik imkoniyatlari keng yoritilgan. Matematik modellashtirish, sonli hisoblash, grafik tasvirlash va interaktiv muhitlardan foydalanish talabalar tomonidan murakkab tushunchalarni o'zlashtirish jarayonini yengillashtirishi mumkinligini, matematik masalalarni grafik va dinamik ko'rinishda ifodalash abstrakt tushunchalarni aniqroq tasavvur qilish imkonini beradi.

- **Tadqiqot metodologiyasi (Research Methodology).** Muhandislik ta'limi yo'nalishlarida matematika fanini o'qitish samaradorligini oshirishda dasturlash tillari va zamonaviy dasturiy vositalardan foydalanish imkoniyatlari o'rganildi. Tadqiqot jarayonida nazariy tahlil, pedagogik kuzatuv, taqqoslash, umumlashtirish hamda amaliy tajriba-sinov usullaridan foydalanildi.

Muhandislik talabalarining fundamental bilimlarini rivojlantirishga oid ilmiy-metodik adabiyotlar, zamonaviy ta'lim texnologiyalari va dasturlash asosida matematik masalalarni yechishga oid mavjud yondashuvlar tahlil qilindi. Ushbu tahlil asosida matematika fanini o'qitishda dasturlash tilidan foydalanishning didaktik imkoniyatlari aniqlandi.

Dasturlash tili asosida matematik masalalarni yechish metodikasi ishlab chiqildi. Bunda masalaning matematik modeli tuziladi, yechim algoritmi ishlab chiqiladi, algoritm dasturlash tilida amalga oshiriladi va olingan natija matematik jihatdan tahlil qilinadi. Mazkur ketma-ketlik

talabalarda algoritmik fikrlash, mantiqiy mushohada yuritish, muammoni bosqichma-bosqich hal qilish va dasturlash ko'nikmalarini shakllantirishga xizmat qiladi[1,2].

Matematik funksiyaning qiymatlarini hisoblash, hosilani aniqlash yoki funksiyaning grafigini qurish kabi topshiriqlar dasturlash tili yordamida bajarilishi mumkin. Bunda talaba nafaqat tayyor formuladan foydalanadi, balki masalani algoritmlashtirish, dastur kodini tuzish va hisoblash natijalarini grafik yoki jadval ko'rinishida ifodalash imkoniyatiga ega bo'ladi.

-Tahlil va natijalar (Analysis and results). Muhandislik ta'limi yo'nalishi talabalariga fundamental fanlarni o'qitishda dasturlash tilidan foydalanishning ta'limiy imkoniyatlari tahlil qilindi. Tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, matematik bilimlarni dasturlash bilan integratsiyalash talabalarining nazariy bilimlarini amaliy topshiriqlar orqali mustahkamlashga yordam beradi. Matematik masalalarni algoritmlashtirish va dastur ko'rinishida ifodalash talabalarda mantiqiy hamda algoritmik fikrlashni rivojlantiradi[2].

Dasturlash tilidan foydalanish jarayonida matematik masalani yechish bir necha ketma-ket bosqichda tashkil etildi: masalaning shartini tahlil qilish, matematik modelni tuzish, yechim algoritmini ishlab chiqish, dastur kodini yozish, natijani olish va uni matematik jihatdan izohlash. Ushbu yondashuv talabaning faqat tayyor formuladan foydalanishiga emas, balki masalani mustaqil tahlil qilish va yechimning algoritmini ishlab chiqishiga imkon yaratadi.

1-misol. Funksiya hosilasini hisoblaymiz va dastur kodi, grafigini qilib bering

$$y = (2^x + 3x^2) / \ln x.$$

$$y' = \frac{(2^x + 3x^2) \ln x - (2^x + 3x^2)(\ln x)}{(\ln x)^2} = \frac{(2^x \ln 2 + 6x) \ln x - (2^x + 3x^2)(1/x)}{\ln^2 x}.$$

```
import tkinter as tk
import numpy as np
import sympy as sp
from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
from matplotlib.figure import Figure
x = sp.symbols("x")
y_expr = (2**x + 3 * x**2) / sp.ln(x)
yp_expr = sp.simplify(sp.diff(y_expr, x))
y_f = sp.lambdify(x, y_expr, "numpy")
yp_f = sp.lambdify(x, yp_expr, "numpy")
natija_matn = (
    "y' = (2\u02e3\u00b7ln2 + 6x)\u00b7lnx - (2\u02e3+3x\u00b2)/x\u2074"
    "-----\u2074"
    "ln\u00b2x")
def hisobla():
    natija.config(text=natija_matn)
    ax.clear()
    for a, b in [(0.05, 0.97), (1.03, 8)]:
        xs = np.linspace(a, b, 200)
        ax.plot(xs, y_f(xs), "g", label="y(x) if a == 0.05 else "")
```

```

    ax.plot(xs, yp_f(xs), "orange", ls="--", label="y'(x)" if a == 0.05 else "")
    ax.vline(1, color="r", ls=":", label="x=1")
    ax.set_ylim(-20, 60)
    ax.legend()
    ax.grid(True)
    canvas.draw()
root = tk.Tk()
root.title("Hosila kalkulyatori")
tk.Label(root, text="y = (2^x + 3x^2)/ln x", font=("Georgia", 14)).pack(pady=8)
tk.Button(root, text="Yechish", command=hisobla, bg="green", fg="white").pack(pady=5)
natija = tk.Label(root, text="Natija shu yerda chiqadi", font=("Consolas", 10))
natija.pack(pady=5)
fig = Figure(figsize=(5, 3.5))
ax = fig.add_subplot(111)
canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=root)
canvas.get_tk_widget().pack(fill="both", expand=True)
root.mainloop()

```



Funksiyaning hosilasini topishda matematik bilim bilan bir qatorda dasturlash bo'yicha amaliy ko'nikma ham shakllanadi.

-Xulosa va takliflar(Conclusion/Recommendations). Muhandislik talabalariga fundamental fanlarni o'qitishda dasturlash tilidan foydalanish ta'lim samaradorligini oshirish, nazariy bilimlarni amaliy ko'nikmalar bilan bog'lash hamda talabalarning algoritmik va mantiqiy fikrlashini rivojlantirishga xizmat qiladi. Dasturlash asosida matematik masalalarni modellashtirish va yechish talabalarni mustaqil ishlashga hamda zamonaviy muhandislik masalalarini hal qilishga tayyorlaydi.

Fundamental fanlar mashg'ulotlarida dasturlash vositalaridan tizimli foydalanish, amaliy va modellashtirishga yo'naltirilgan topshiriqlarni ko'paytirish hamda matematik bilimlarni dasturlash bilan integratsiyalashgan metodikalarni ishlab chiqish tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Хуторской, А.В. Технология проектирования ключевых и предметных компетенций [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «Эйдос». – 2005. – Режим доступа: <http://www.eidos.ru/journal/2005/1212.htm>. – (Дата обращения: 31.01.2019).

[2] Есин, Р.В. Формирование математической компетентности бакалавра направления подготовки “Информатика и вычислительная техника” в электронной среде. . Дисс. кан. пед. наук. – Красноярск, 2019. - 232 с.

[3] Banker Hans. Practical Use of MathCAD; Solving mathematical problems with a computer algebra system. Translated by Anthony Rudd.-springer 1999-505p.

[4] Ё. Соатов. Высшая математика. Ташкент “Ўқитувчи”, 1995й

[5] Ruzimurodov I.N, “Elektron ta’lim muhitida dasturchilarni kasbiy kompetentligini rivojlantirish metodikasini takomillashtirish” PhD dissertatsiya. Tosh.-2022. 208 b

MUHANDISLIK MASALALARI ASOSIDA TEXNIK SEZGI VA FIZIK TAFAKKURNI RIVOJLANTIRISH

Sanaqulov Furqat Raxim o‘g‘li

Qarshi davlat texnika universiteti, assistant.

Annotatsiya. Ushbu maqolada oliy texnik ta’lim muassasalarida fizika va muhandislik amaliyoti o‘rtasidagi uzviylikni ta’minlash uchun innovatsion metodologiya taklif etilgan. Muhandislik muammolarini yechish jarayonida talabalarning texnik sezgisi (intuitiv fikrlashi) hamda fundamental fizik qonunlarni chuqur tushunish darajasini rivojlantirish bosqichlari tahlil qilingan. Tadqiqot doirasida real amaliy masalalarni fizik va matematik modellash, chegaraviy holatlarni tahlil qilish hamda tizimli tahlil algoritmlari o‘rganilgan. Ishlab chiqilgan 4 bosqichli model talabalarning mustaqil ijodiy va loyihalash qobiliyatlarini oshirishga, fundamental bilimlarni real texnik ob‘yektlar bilan muvofiqlashtirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: muhandislik ta’limi, texnik sezgi, fizik qonuniyatlar, modellash, chegaraviy holatlar, agrofizika, ag‘darilish burchagi, pedagogik innovatsiya.

Аннотация. В данной статье рассматривается инновационная методология обеспечения взаимосвязи между физикой и инженерной практикой в высших технических учебных заведениях. Анализируются этапы развития технической интуиции (интуитивного мышления) и уровня понимания фундаментальных физических законов у студентов в процессе решения инженерных задач. В рамках исследования изучены физическое и математическое моделирование реальных практических задач, анализ предельных случаев и алгоритмы системного анализа. Разработанная 4-ступенчатая модель служит повышению самостоятельных творческих и проектных способностей студентов, согласованию фундаментальных знаний с реальными техническими объектами.

Ключевые слова: инженерное образование, техническая интуиция, физические закономерности, моделирование, предельные случаи, агрофизика, угол опрокидывания, педагогическая инновация.

Abstract. This article proposes an innovative methodology to ensure continuity between physics education and engineering practice in higher technical educational institutions. The stages of developing students' technical intuition (intuitive thinking) and deep understanding of fundamental physical laws in the process of solving engineering problems are analyzed. Within the framework of the research, physical and mathematical modeling of real practical problems, analytical investigation of limiting cases, and system analysis algorithms are studied. The

developed 4-step model serves to enhance students' independent creative and design abilities, coordinating fundamental knowledge with real technical systems.

Keywords: *engineering education, technical intuition, physical laws, modeling, limiting cases, agrophysics, rollover angle, pedagogical innovation.*

Kirish. Zamonaviy ishlab chiqarish sanoatida va uning turli tarmoqlarida raqamli texnologiyalar, robototexnika tizimlari hamda yuqori unumli muhandislik qurilmalari qo'llanilishi ko'lami misli ko'rilmagan darajada kengayib bormoqda. Bunday sharoitda, oliy texnik ta'lim muassasalarida fundamental fanlar, xususan, fizika kursini o'qitish metodologiyasini tubdan qayta ko'rib chiqish va uni muhandislik kasbiy faoliyati bilan chuqur integratsiya qilish taqozo etiladi. Amaliy muhandislik tajribasi shuni ko'rsatadiki, oliy ta'lim tizimida ko'plab talabalar fizik formulalarni matematik jihatdan mukammal hisoblay olsalar-da, ularning zamiridagi real jismoniy ma'noni va amaliy texnik jarayonlar bilan bog'liqlik zanjirini yetarlicha his qilmaydilar. Oqibatda, ishlab chiqarish yoki loyihalash sharoitida texnikaning barqarorligi, konstruksiya elementlariga tushadigan statik va dinamik og'irlik bosimi yoki energiya sarfini optimal hisoblashda qo'pol texnik xatoliklarga yo'l qo'yiladi. Ushbu dolzarb muammoning yechimi sifatida, bo'lajak muhandislarda texnik sezgini — ya'ni muayyan texnik va texnologik muhitda murakkab mexanik, gidravlik yoki elektrik tizimlar o'zini qanday tutishini oldindan, murakkab va uzoq hisoblarsiz ham professional va to'g'ri baholay olish qobiliyatini tizimli shakllantirish lozim.

Asosiy qism. Texnik sezgi va fizik qonunlarni fundamental tushunishni shakllantirish metodologiyasi quyidagi ustuvor didaktik tamoyillarga tayanadi:

1. Tizimli va tarkibiy modellashtirish: Talabaga real murakkab texnik ob'yektni o'rganishda uning ikkinchi darajali omillarini chetga surib, uni asosiy lashtirilgan fizik model va matematik tizim ko'rinishida ko'ra olishni o'rgatish.

2. Chegaraviy holatlar va asimptotik tahlil tamoyili: Masalani tahlil qilishda parametrlarni kritik qiymatlargacha (nol yoki cheksizlikka) o'zgartirish orqali tizimning reaksiyasini baholash va texnik sezgini charxlash.

3. Fundamental analogiyalar usuli: Mexanik, gidravlik, termodinamik va elektrik jarayonlarni o'xshash matematik qonuniyatlar (masalan, saqlanish qonunlari va potentsiallar farqi) orqali tizimli bog'lash va talabada universal muhandislik tafakkurini uyg'otish.

Ishlab chiqilgan innovatsion metodologiyaga muvofiq, fizikadan amaliy mashg'ulotlar an'anaviy quruq yodlash shaklidan voz kechib, 4 bosqichli muhandislik-fizik algoritmi asosida tashkil etilishi taklif etiladi:

- 1-bosqich: Muammoni fizik va geometrik modellashtirish;
- 2-bosqich: Sifat tahlili va intuitiv bashoratlash (Kachestvenniy analiz);
- 3-bosqich: Analitik-matematik yechim va tenglamalar tizimi;
- 4-bosqich: Muhandislik verifikatsiyasi va xavfsizlik tahlili.

Ushbu metodologiyani amaliyotga tatbiq etish uchun talabalarga mobil energetik vositalar dinamikasi bo'limida quyidagi muhandislik keysi beriladi: "Tog'oldi yoki murakkab relyefli hududlarda qiyalik burchagi α bo'lgan maydonda ko'ndalang harakatlanayotgan mobil texnikaning (traktorning) ag'darilish xavfsizligi shartini aniqlang va unga qo'shimcha osma qurilmalarning ta'sirini fizik asoslang."

Masalaning fizik modelida traktor absolyut qattiq jism sifatida qaraladi. Traktorning og'irlik markazi balandligi h , g'ildiraklar orasidagi masofa (koleya кенглиги) B bo'lsin. Traktor qiyalikda harakatlanganda, unga ta'sir etuvchi ag'daruvchi moment ($M_{ag'd}$) va tiklovchi moment (M_{tik}) o'zaro muvozanatda bo'lishi shart. Fizikaning statika qonunlariga ko'ra, traktor ag'darilmasligi uchun quyidagi shart bajarilishi lozim:

$$M_{tik} > M_{ag'd} \Rightarrow G * (B / 2) * \cos(\alpha) > G * h * \sin(\alpha)$$

Bu yerda G – traktorning umumiy og‘irlik kuchi. Ushbu tengsizlikdan traktorning ko‘ndalang ag‘darilmasdan xavfsiz harakatlanishi mumkin bo‘lgan maksimal chegaraviy qiyalik burchagi ($\alpha_{\max}$) analitik usulda topiladi:

$$\tan(\alpha_{\max}) \leq B / (2h)$$

Ushbu formulani asimptotik va amaliy tahlil qilish jarayonida talabalarda texnik sezgi quyidagicha charxlanadi: talaba formula orqali ag‘darilish burchagi traktorning sof vazniga (G) bog‘liq emasligini, balki faqat uning geometrik o‘lchamlari (B va h) ga bog‘liq hisoblanishini ko‘radi. Chegaraviy holat tahlil qilinganda, agar texnika orqasiga o‘ta og‘ir osma agregat o‘rnatilsa, umumiy og‘irlik markazi yuqoriga suriladi (ya’ni h balandlik ortadi). Matematik jihatdan h ning maxrajda ortishi $\tan(\alpha_{\max})$ qiymatini, demakki ruxsat etilgan xavfsiz qiyalik burchagini keskin kamaytiradi. Bundan talaba amaliyotda og‘ir mashinalar bilan ishlaganda qiyalik burchagini har doim kichikroq va xavfsizroq tanlash kerakligini, real jarayonlarni va tizim xususiyatini muhandislik darajasida intuitiv tarzda (texnik sezgi orqali) va chuqur anglay boshlaydi. Bu tushuncha ularning xavfsizlik madaniyatini ham yuksaltiradi.

Xulosa qilib aytadigan bo‘lsak muhandislik masalalarini fizik qonuniyatlar va matematik modellar (masalan, qiyalikdagi muvozanat sharti) bilan integrasiya qilib o‘qitish metodologiyasi talabalarda texnikaning ortiqcha yuklanish yoki ag‘darilish xavflarini hisob-kitobdan oldinroq, texnik intuisiya va kuchli texnik sezgi darajasida sezish hamda oldini olish mahoratini rivojlantiradi. Bunday yondashuv muhandislik sohalari uchun faqat shablonlar bilan ishlamaydigan, balki kreativ fikrlaydigan, innovasion g‘oyalarni ilgari suradigan va mustaqil konstruktorlik ishlarini bajara oladigan yuqori malakali mutaxassislarni tayyorlashda yuqori didaktik samara beradi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI:

[1] Pokasov V.F. Upravlenie kachestvom obrazovaniya sovremennoy shkolы (metodicheskie materialы) // avtor-sostav. – Stavropol. 2012. – 145 s.

[2] Aladev V.Z., Xaritonov V.N. Programmirovaniye: Maple ili Mathematica. – Tallinn , 2011. -415 s.

[3] Gomulina N.N. Primeneniye novыx informatsionnyx i telekommunikatsionnyx texnologiy v shkolnom fizicheskom i astronomicheskom obrazovaniii: Diss. kand. ped. nauk: 13.00.02. – M.: MGPU, 2003.-332 s. RGB OD, 61:03-13/1698-6.

[4] Xamidov V.S. Ta’lim tizimida keskin burilishga sabab bo‘lgan 4 dastur haqida. «Infocom.uz», - Toshkent. 2010, №1, -54-57 b.

[5] F.R. Sanaqulov Methodology Of Using Modern Forms Of Organizing Independent Learning In Physics For Students Of The Irrigation Field <https://doi.org/10.55640/eijp-05-11-12>

ZARARLI MODDALARNING ATMOSFERADA TARQALISHINI KUZATISH VA BASHORATLASH UCHUN TIZIMLI KONSTRUKTIV USLUBIYATGA ASOSLANGAN HOLDA MATEMATIK MODELLAR ISHLAB CHIQISH

¹Muradov Farrux Abdukaxarovich, ²Raxmanov Azim Alisherovich,

³Shonazarov Uchqun Nurbek o‘g‘li, ⁴Nuriddinova Sarvinoz Murodillo qizi

¹Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti, Samarqand, O‘zbekiston,
farrux1981@umail.uz

²Raqamli texnologiyalar vazirligi Samarqand viloyati hududiy shu'basi, Samarqand, O‘zbekiston

³Qarshi davlat universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

⁴Samarqand viloyati, Samarqand tumani 4-maktab, Samarqand, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada atmosferada zararli moddalarning tarqalishini kuzatish va bashoratlash uchun tizimli konstruktiv yondashuvga asoslangan matematik model ishlab chiqilgan. Model xususiy hosilali differensial tenglamalar, boshlang'ich va chegaraviy shartlar, diffuziya, turbulentlik, yutilish koeffitsiyentlari hamda nukleatsiya operatorini o'z ichiga oladi. Oshkormas chekli ayirmali sxema asosida sonli algoritmi va dasturiy vosita yaratilib, hisoblash tajribalari orqali cho'kish va konsentratsiya dinamikasi tahlil qilindi. Natijalar past zichlikdagi ifloslantiruvchilar atmosfera oqimlari ta'sirida muallaq tarqalishini, yuqori zichlikdagi oksidlar esa gravitatsion cho'kish tufayli mahalliy konsentratsiyani oshirishini ko'rsatib, ekologik monitoring va xavfni baholashda qo'llanadi.

Kalit so'zlar: matematik model, atmosfera, zararli moddalar, xususiy hosilali tenglamalar, chekli ayirmali sxema, diffuziya, turbulentlik, gravitatsion cho'kish, nukleatsiya, ekologik monitoring.

Аннотация. В данной статье разработана математическая модель, основанная на системно-конструктивном подходе, для мониторинга и прогнозирования распространения вредных веществ в атмосфере. Модель включает дифференциальные уравнения в частных производных, начальные и граничные условия, коэффициенты диффузии, турбулентности и поглощения, а также оператор нуклеации. На основе неявной конечно-разностной схемы созданы численный алгоритм и программное средство, а с помощью вычислительных экспериментов проанализирована динамика осаждения и концентрации. Результаты показывают, что загрязнители малой плотности распространяются во взвешенном состоянии под действием атмосферных потоков, а оксиды высокой плотности вследствие гравитационного осаждения повышают локальную концентрацию, что применимо в экологическом мониторинге и оценке рисков.

Ключевые слова: математическая модель, атмосфера, вредные вещества, уравнения в частных производных, конечно-разностная схема, диффузия, турбулентность, гравитационное осаждение, нуклеация, экологический мониторинг.

Abstract. This article presents a mathematical model, based on a systemic constructive approach, developed for monitoring and forecasting the dispersion of harmful substances in the atmosphere. The model includes partial differential equations, initial and boundary conditions, diffusion, turbulence and absorption coefficients, as well as a nucleation operator. Based on an implicit finite-difference scheme, a numerical algorithm and a software tool were created, and the dynamics of sedimentation and concentration were analyzed through computational experiments. The results show that low-density pollutants disperse in suspension under the influence of atmospheric flows, whereas high-density oxides increase local concentration due to gravitational settling, which is applicable to environmental monitoring and risk assessment.

Keywords: mathematical model, atmosphere, harmful substances, partial differential equations, finite-difference scheme, diffusion, turbulence, gravitational settling, nucleation, environmental monitoring

KIRISH

Tabiatda sodir bo'ladigan obyekt, jarayon va hodisalarni bilishning asosiy vosita va usullaridan biri matematik modellashdir. Matematik modellash fan, texnika va ta'limning turli sohalarida muhim rol o'ynaydi. Jumladan, nostatsionar massa va issiqlik almashinish jarayonlari bilan bog'liq murakkab sistemalarni tahlil qilish va yechishda, qattiq jism, suyuqlik va gaz mexanikasida keng qo'llaniladi. Bundan tashqari, mintaqalar va atmosfera havzalarining holatini kuzatishda ko'plab meteorologik parametrlar muhim rol o'ynaydi. Ushbu parametrlarni matematik modellarga integratsiya qilish atrof-muhit va atmosfera dinamikasini yanada to'liqroq baholash va bashorat qilish imkonini beradi.

Matematik modelni ishlab chiqishda tadqiqot obyektining asosiy xususiyatlarini tushunish va to'g'ri hisobga olish turli matematik ifodalar orqali adekvat tavsif berish imkonini beradi.

O'rganilayotgan obyektga ta'sir etuvchi asosiy omillar va parametrlarni to'g'ri aniqlash, ularning invariant yoki turg'un sohalarini aniqlash muhim ahamiyatga ega. Buning uchun sonli algoritmlar va ularga mos dasturiy ta'minotlar yordamida hisoblash tajribalarini o'tkazish muhim rol o'ynaydi. Bunday kompyuterli modellashtirish model parametrlarini tahlil qilish, tekshirish va takomillashtirish imkonini beradi, bu esa ishlab chiqilgan matematik modelning ishonchliligi va adekvatligini ta'minlaydi.

[1] maqolada mualliflar hudud orografiyasi, meteorologik va iqlimiy omillarni hisobga olgan holda atmosferada zararli moddalarning tarqalish jarayonini har tomonlama tadqiq etishgan. Qo'yilgan masalani sonli integrallash uchun mualliflar tizimning fizik xususiyatlariga moslashtirilgan chekli ayirmalar usullari va sohalarini yoyish usullaridan foydalanganlar.

Dinamik va kinematik yopishqoqlik gazlar va suyuqliklarning harakatiga qarshilik ko'rsatadigan molekulyar o'zaro ta'sirlar natijasida yuzaga keladigan ishqalanishni tavsiflovchi muhim fizik xususiyatlardir [2]. Ushbu xususiyatlar odatda bo'yoqlar, moylash materiallari va kosmetika kabi mahsulotlarning sifatini baholashda qo'llaniladi [3]. Yopishqoqlikni aniqlashning bir necha usullari mavjud. Hind tadqiqotchisi Rao [4] o'zining ilmiy tadqiqotida viskozimetr yordamida bir qancha suyuqliklarning yopishqoqligini o'lchab, tahlil qilgan. Boshqa bir tadqiqotda [5] Kim va boshqa mualliflar tomonidan ishlab chiqilgan ikki kapillyarli viskozimetr (SDCV) yordamida suyuqliklarning yopishqoqligini o'rganib, tahlil qilishgan.

[6] tadqiqotda Heuser G va hammualliflar suyuqliklar sifatini yaxshilash maqsadida Kuet tipidagi viskozimetr yordamida olingan qiymatlar asosida oqim parametrlarini tahlil qilishgan.

[7] tadqiqotda Munstedt va uning hammualliflari taklif etilgan eksperimental tizim yordamida tashqi bosim ostida materialning deformatsiyalanishi va oqish xususiyatini o'rgandilar. Bundan tashqari, uzoq muddatli (o'ttiz yillik) kuchlanish ta'sirida turg'un deformatsiya sharoitida yopishqoqlik o'lchandi.

MATERIALLAR VA USULLAR

Atmosferada zararli moddalarning tarqalish jarayonini tavsiflovchi matematik modelni quyidagicha ifodalab olamiz:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial t} + u \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial x} + v \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial y} + w \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial z} + \kappa_1 \theta_{1,m} \theta_{2,l} + (\sigma + \alpha) \theta_{1,m} = \\ \delta Q_1 - P_{nuc1} + \mu \frac{\partial^2 \theta_{1,m}}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 \theta_{1,m}}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial z} \kappa \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial z} ; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial t} + u \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial x} + v \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial y} + (w - w_g) \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial z} - \kappa_1 \theta_{1,m} \theta_{2,l} + (\sigma + \alpha) \theta_{2,l} = \\ \delta Q_2 + P_{nuc1} + \mu \frac{\partial^2 \theta_{2,l}}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 \theta_{2,l}}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial z} \kappa \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial z} ; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho \Pi}{\partial t} = \beta \Pi (\rho \Pi) c \theta(x, y, z, t) = \sum_{m=1}^{N_g} \theta_{1,m}(x, y, z, t) + \sum_{l=1}^{N_a} \theta_{2,l}(x, y, z, t); \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho \Pi}{\partial t} = \beta \Pi (\rho \Pi) c \frac{dw_g}{dt} = \frac{mg - 6\pi\eta r w_g - 0,5c\rho_z s w_g^2}{m}. \quad (4)$$

(1) va (2) xususiy hosilali tenglamalardan olingan shamol tezligining u, v va w tashkil etuvchilari quyidagi ifodalar yordamida baholanadi.

$$\partial \rho \Pi \partial t = \beta \Pi (\rho \Pi) c u = |U| \frac{z^n}{z_1^n} \cos \alpha, \quad v = |U| \frac{z^n}{z_1^n} \sin \alpha, \quad w = |U| \frac{z^n}{z_1^n}, \quad (5)$$

bunda: $|U|$ $z=1$ m balandlikdagi shamol tezligining kattaligi; β – shamol yo‘nalishi burchagi; n – qiymati 0,1 dan 0,4 gacha bo‘lgan oraliqda o‘zgaradigan empirik koeffitsiyent.

Bundan tashqari, atmosfera gaz aralashmasida ifloslantiruvchi moddalar va zichligi havo massasidan katta bo‘lgan zararli moddalarning manba quvvatlari o‘rtasida quyidagi bog‘lanishlar mavjud:

$$\partial \rho \Pi \partial t = \beta \Pi (\rho \Pi) c Q(x, y, z, t) = \sum_{m=1}^{N_g} Q_{1,m}(x, y, z, t) + \sum_{l=1}^{N_a} Q_{2,l}(x, y, z, t). \quad (6)$$

(1) ko‘rinishdagi xususiy hosilali differensial tenglamalar tizimi uchun boshlang‘ich va chegaraviy shartlar quyidagicha aniqlanadi:

$$\partial \rho \Pi \partial t = \beta \Pi (\rho \Pi) c \theta_{1,m} \Big|_{t=0} = \theta_{1,m}^0; \quad (7)$$

$$\partial \rho \Pi \partial t = \beta \Pi (\rho \Pi) c - \mu \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial x} \Big|_{x=0} = \xi(\theta_E - \theta_{1,m}); \quad \mu \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial x} \Big|_{x=L_x} = \xi(\theta_E - \theta_{1,m}); \quad (8)$$

$$\partial \rho \Pi \partial t = \beta \Pi (\rho \Pi) c - \mu \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial y} \Big|_{y=0} = \xi(\theta_E - \theta_{1,m}); \quad \mu \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial y} \Big|_{y=L_y} = \xi(\theta_E - \theta_{1,m}); \quad (9)$$

$$\partial \rho \Pi \partial t = \beta \Pi (\rho \Pi) c - \kappa \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial z} \Big|_{z=0} = (\beta \theta_{1,m} - f_0); \quad \kappa \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial z} \Big|_{z=H_z} = \xi(\theta_E - \theta_{1,m}). \quad (10)$$

(2) ko‘rinishdagi xususiy hosilali differensial tenglamalar tizimi uchun boshlang‘ich va chegaraviy shartlar quyidagicha aniqlanadi:

$$\partial \rho \Pi \partial t = \beta \Pi (\rho \Pi) c \theta_{2,l} \Big|_{t=0} = \theta_{2,l}^0; \quad w_g \Big|_{t=0} = w_g^0; \quad (11)$$

$$\partial \rho \Pi \partial t = \beta \Pi (\rho \Pi) c - \mu \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial x} \Big|_{x=0} = \xi(\theta_E - \theta_{2,l}); \quad \mu \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial x} \Big|_{x=L_x} = \xi(\theta_E - \theta_{2,l}); \quad (12)$$

$$\partial \rho \Pi \partial t = \beta \Pi (\rho \Pi) c - \mu \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial y} \Big|_{y=0} = \xi(\theta_E - \theta_{2,l}); \quad \mu \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial y} \Big|_{y=L_y} = \xi(\theta_E - \theta_{2,l}); \quad (13)$$

$$\partial \rho \Pi \partial t = \beta \Pi (\rho \Pi) c - \kappa \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial z} \Big|_{z=0} = (\beta \theta_{2,l} - f_0); \quad \kappa \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial z} \Big|_{z=H_z} = \xi(\theta_E - \theta_{2,l}). \quad (14)$$

bunda: $\theta_{1,m}(x, y, z, t)$, $m = \overline{1, N_g}$ – atmosfera gaz aralashmasidagi ifloslantiruvchi moddalar konsentratsiyasini bildiradi; N_g – atmosfera gaz aralashmasidagi ifloslantiruvchilar soni; $\theta_{2,l}(x, y, z, t)$, $l = \overline{1, N_a}$ – massasi havo massasidan katta bo‘lgan zararli moddalar atmosfera konsentratsiyasini ifodalaydi; N_a – havodan og‘ir zararli moddalar soni; $\theta_{1,m}^0(x, y, z)$ – gaz aralashmasidagi ifloslantiruvchi moddalarning boshlang‘ich atmosfera konsentratsiyasi; $\theta_{2,l}^0(x, y, z)$ – havodan og‘ir zararli moddalarning boshlang‘ich atmosfera konsentratsiyasi; σ – zararli moddalarning atmosfera yutilish koeffitsiyenti; μ, κ – mos ravishda diffuziya va

turbulentlik koeffitsiyentlari; $Q_1(x, y, z, t)$, $Q_2(x, y, z, t)$ – atmosfera gaz aralashmasidagi ifloslantiruvchi moddalar va havodan og‘ir zararli moddalarning manba intensivliklariga mos keladi; $Q(x, y, z, t)$ – umumiy manba intensivligi; P_{nuc} – nukleatsiya (yadro hosil bo‘lish) operatori; $c = 0.5$ – o‘lchovsiz parametr; ρ – zarracha zichligi; r_z – zarracha radiusi; s – zarrachaning ko‘ndalang kesim yuzasi; m – zarracha massasi; η – zarrachaning dinamik yopishqoqlik koeffitsiyenti.

Masalaning xususiy hosilali differensial tenglamalar tizimi orqali ifodalanishini inobatga olsak, uning analitik yechimini olish ancha murakkabdir. Shu sababli, masalani yechishda fazoviy o‘zgaruvchilar bo‘yicha approksimatsiya tartibini oshirish, hisoblash algoritmining turg‘unligi va yaqinlashuvchanligini ta‘minlash maqsadida oshkormas ko‘rinishdagi chekli ayirmali sxemani qo‘llagan holda sonli yechish usulini qo‘llaymiz.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Mazkur tadqiqotda atmosfera gaz aralashmalarida ifloslantiruvchi moddalarning tarqalishini o‘rganish va bashoratlash maqsadida tizimli va konstruktiv yondashuv asosida matematik modellar ishlab chiqildi. Ayniqsa, zichligi havodan yuqori bo‘lgan moddalarga alohida e‘tibor qaratildi, chunki ular ko‘chish va cho‘kish jarayonlariga sezilarli ta‘sir ko‘rsatadi. Atmosfera aralashmasida ko‘rib chiqilgan ifloslantiruvchilarga alyuminiy oksidi, magniy oksidi, oltingugurt trioksidi, kaliy oksidi, natriy oksidi va yonishdagi yo‘qotishlar kiradi. Shuningdek yuqorida ta‘kidlab o‘tilganidek, ishlab chiqilgan sonli algoritmlar asosida dasturiy vosita ishlab chiqildi. Ishlab chiqilgan dasturiy vosita asosida hisob-tajribalar o‘tkazildi.

Ishlab chiqilgan dasturiy vositani atmosferaning ekologik holatini monitoring qilish va bashoratlash masalalarini hal qilishda amaliy qo‘llash real meteorologik parametrlar va joy relyefining xususiyatlarini hisobga olgan holda atmosferaning chegara qatlamidagi ifloslanish konsentratsiyasini aniqlash bo‘yicha hisob-kitoblarni avtomatlashtirish; atrof-muhitga zararli chiqindilar tarqalishining ko‘lami va geografiyasini vizualizatsiya qilish, yo‘l qo‘yiladigan chegaraviy sanitariya me‘yorlarini hisobga olgan holda atrofdagi hududlarning ekologik holatiga mumkin bo‘lgan salbiy ta‘sirlarni vizual baholash, shuningdek, tabiatni muhofaza qilish tadbirlarini o‘tkazish bo‘yicha qarorlar qabul qilishni qo‘llab-quvvatlash imkonini beradi.

Ushbu dasturda ishlab chiqilgan va amalga oshirilgan modellarni tahlil qilish uchun zararli moddalarning shamol tezligi bilan atmosferada tarqalish jarayonini sinov ma‘lumotlari asosida bir qator hisoblash tajribalari o‘tkazildi. Dastlab Samarqand viloyati, Samarqand shahri, Farhod qo‘rg‘onida 3 km x 3 km hududda har xil ishlab chiqarish obyektlaridan atrof-muhitda tarqalish jarayonini asosida hisob-tajribalar o‘tkazildi.

XULOSA

Hisoblash va eksperimental tahlillar shuni ko‘rsatdiki, ushbu moddalarning cho‘kish tezligi juda kichik bo‘lib, ularning atmosferada tarqalishi asosan gravitatsion cho‘kish ta‘siridan deyarli mustaqildir. Aksincha, zichligi havodan katta bo‘lgan moddalardan kalsiy oksidi, kremniy dioksidi va temir(III) oksidi sezilarli darajada cho‘kish xususiyatini namoyon etadi. Bu holat ularning fazoviy taqsimotiga jiddiy ta‘sir ko‘rsatib, zarracha zichligining ko‘chish va cho‘kish jarayonlarini belgilovchi muhim omil ekanligini ko‘rsatadi. Natijalar shuni tasdiqlaydiki, past zichlikdagi ifloslantiruvchilar asosan atmosfera oqimlari ta‘sirida muallaq holda tarqaladi, yuqori zichlikdagi komponentlar esa tezroq cho‘kib, mahalliy konsentratsiyaning ortishiga va ayrim hududlarda cho‘kish darajasining oshishiga olib keladi. Ushbu natijalar ifloslantiruvchi moddalarning ko‘chish mexanizmlarini chuqurroq tushunishga xizmat qilib, ekologik monitoring va xavf baholash uchun bashoratlash modellarini takomillashtirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Ravshanov, N., & Sharipov, D. (2016). Advanced mathematical model of transfer and diffusion process of harmful substances in the atmospheric boundary layer. Journal of Advance Research in Computer Science & Engineering ISSN, 2456, 3552.

- [2] Schwartz, S. E. (1988). Mass-transport limitation to the rate of in-cloud oxidation of SO₂: re-examination in the light of new data. *Atmospheric Environment* (1967), 22(11), 2491-2499.
- [3] Bondur, V. G., Zima, A. L., & Feoktistova, N. V. (2024). Long-term satellite monitoring of various types of wildfires and wildfire-induced emissions of climate-active gases and aerosols in Russia and in its large regions. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 60(12), 1494-1506.
- [4] Ping, X., Chang, Y., Liu, M., Hu, Y., Huang, W., Shi, S., ... & Li, D. (2022). Carbon emission and redistribution among forest carbon pools, and change in soil nutrient content after different severities of forest fires in Northeast China. *Forests*, 13(1), 110.
- [5] Kim, M. E., Kim, Y. D., Kang, J. H., Heo, G. S., Lee, D. S., & Lee, S. (2016). Development of traceable precision dynamic dilution method to generate dimethyl sulphide gas mixtures at sub-nanomole per mole levels for ambient measurement. *Talanta*, 150, 516-524.
- [6] Hashad, K., Yang, B., Gallagher, J., Baldauf, R., Deshmukh, P., & Zhang, K. M. (2023). Impact of roadside conifers vegetation growth on air pollution mitigation. *Landscape and Urban Planning*, 229, 104594.
- [7] Mlonka-Mędrala, A., Evangelopoulos, P., Sieradzka, M., Zajemska, M., & Magdziarz, A. (2021). Pyrolysis of agricultural waste biomass towards production of gas fuel and high-quality char: Experimental and numerical investigations. *Fuel*, 296, 120611.

ATMOSFERADA ZARARLI MODDALARNING KO‘CHISHI VA TARQALISHINI TAVSIFLOVCHI NOCHIZIQLI MATEMATIK MODELNI ISHLAB CHIQUVCHILAR VA UNING SONLI YECHIM

¹Muradov Farrux Abdukaxarovich, ²Raxmanov Azim Alisherovich,

³Shonazarov Uchqun Nurbek o‘g‘li, ⁴Nuriddinova Sarvinoz Murodillo qizi

¹Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti, Samarqand, O‘zbekiston,

farrux1981@umail.uz

²Raqamli texnologiyalar vazirligi Samarqand viloyati hududiy shu‘basi, Samarqand, O‘zbekiston

³Qarshi davlat universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

⁴Samarqand viloyati, Samarqand tumani 4-maktab, Samarqand, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada atmosferada zararli moddalarning ko‘chishi va tarqalishini tavsiflovchi nochiziqli matematik model ishlab chiqilgan. Model xususiy hosilali differensial tenglamalar, boshlang‘ich va chegaraviy shartlar, diffuziya, turbulentlik, yutilish koeffitsiyentlari, nukleatsiya operatori, Reynolds soni hamda devor yaqinidagi Log-Wall funksiyasini o‘z ichiga oladi. Oshkormas chekli ayirmali sxema asosida sonli algoritmi va vebga yo‘naltirilgan geoaxborot tizimi yaratildi, kartografik vizuallashtirish amalga oshirildi. Hisoblash tajribalarida shamol tezligi, atmosfera turbulentligi va konvektiv issiqlik almashinuvi tarqalish sohasini belgilovchi asosiy omillar ekanligi aniqlandi.

Kalit so‘zlar: nochiziqli matematik model, atmosfera, zararli moddalar, xususiy hosilali tenglamalar, oshkormas chekli ayirmali sxema, turbulentlik, Reynolds soni, nukleatsiya, geoaxborot tizimi, kartografik vizuallashtirish.

Аннотация. В данной статье разработана нелинейная математическая модель, описывающая перенос и распространение вредных веществ в атмосфере. Модель включает дифференциальные уравнения в частных производных, начальные и граничные условия, коэффициенты диффузии, турбулентности и поглощения, оператор нуклеации, число Рейнольдса, а также пристеночную логарифмическую функцию (Log-Wall). На основе неявной конечно-разностной схемы созданы численный алгоритм и веб-ориентированная геоинформационная система, реализована картографическая визуализация.

Вычислительные эксперименты показали, что скорость ветра, атмосферная турбулентность и конвективный теплообмен являются основными факторами, определяющими область распространения.

Ключевые слова: нелинейная математическая модель, атмосфера, вредные вещества, уравнения в частных производных, неявная конечно-разностная схема, турбулентность, число Рейнольдса, нуклеация, геоинформационная система, картографическая визуализация.

Abstract. This article presents a nonlinear mathematical model describing the transport and dispersion of harmful substances in the atmosphere. The model includes partial differential equations, initial and boundary conditions, diffusion, turbulence and absorption coefficients, a nucleation operator, the Reynolds number, and the near-wall Log-Wall function. Based on an implicit finite-difference scheme, a numerical algorithm and a web-oriented geoinformation system were developed, and cartographic visualization was implemented. Computational experiments revealed that wind speed, atmospheric turbulence, and convective heat exchange are the main factors determining the dispersion area.

Keywords: nonlinear mathematical model, atmosphere, harmful substances, partial differential equations, implicit finite-difference scheme, turbulence, Reynolds number, nucleation, geoinformation system, cartographic visualization

KIRISH

[1–7] maqolalarda gidrodinamik va gidrofizik jarayonlarni tavsiflash uchun uch o'lchamli gidrodinamik matematik model keltirilgan bo'lib, u suv muhitining tezlik vektori maydonlari va o'zgaruvchan zichligini hisoblashda qo'llaniladi. Tezlik maydonini aniqlovchi boshqaruvchi tenglamalarni fazoviy o'zgaruvchilar bo'yicha approksimatsiya qilish fizik xossalari asosidagi operatorlarga ajratish usuliga tayangan holda amalga oshiriladi. Bu yondashuv qirg'oq chegaraviy hududlarining murakkab geometriyasini hisobga olish imkonini beradi. Muallaq zarrachalar ko'chish modeli ham bir va ikki o'lchamli masalalar uchun ayni shu fizik xossalarga asoslangan ajratish usuli orqali approksimatsiya qilingan. Ushbu modellar va sonli yondashuvlarning qo'llanilishi muallaq zarrachalar ko'chishini tavsiflovchi matematik model aniqligini sezilarli darajada oshiradi hamda o'rganilayotgan jarayonlarga ta'sir etuvchi turli omillarni hisobga olish imkonini beradi.

MATERIALLAR VA USULLAR

Atmosferada zararli moddalarning tarqalish jarayonini tavsiflovchi matematik modelni quyidagicha ifodalab olamiz:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial t} + u \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial x} + v \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial y} + w \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial z} + \kappa_1 \theta_{1,m} \theta_{2,l} + (\sigma + \alpha) \theta_{1,m} = \\ \delta Q_1 - P_{nuc} + \mu \frac{\partial^2 \theta_{1,m}}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 \theta_{1,m}}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial z} \kappa \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial z} ; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial t} + u \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial x} + v \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial y} + (w - w_g) \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial z} - \kappa_1 \theta_{1,m} \theta_{2,l} + (\sigma + \alpha) \theta_{2,l} = \\ \delta Q_2 + P_{nuc} + \mu \frac{\partial^2 \theta_{2,l}}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 \theta_{2,l}}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial z} \kappa \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial z} ; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \beta \pi(\rho) c \theta(x, y, z, t) = \sum_{m=1}^{N_g} \theta_{1,m}(x, y, z, t) + \sum_{l=1}^{N_a} \theta_{2,l}(x, y, z, t); \quad (3)$$

$$\partial \rho \Pi \partial t = \beta \Pi (\rho \Pi) c \frac{dw_g}{dt} = \frac{mg - 6\pi \eta r w_g - 0,5c \rho_z s w_g^2}{m}. \quad (4)$$

(1) ko‘rinishdagi xususiy hosilali differensial tenglamalar tizimi uchun boshlang‘ich va chegaraviy shartlar quyidagicha aniqlanadi:

$$\partial \rho \Pi \partial t = \beta \Pi (\rho \Pi) c \theta_{1,m} \Big|_{t=0} = \theta_{1,m}^0; \quad (5)$$

$$\partial \rho \Pi \partial t = \beta \Pi (\rho \Pi) c - \mu \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial x} \Big|_{x=0} = \xi (\theta_E - \theta_{1,m}); \quad \mu \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial x} \Big|_{x=L_x} = \xi (\theta_E - \theta_{1,m}); \quad (6)$$

$$\partial \rho \Pi \partial t = \beta \Pi (\rho \Pi) c - \mu \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial y} \Big|_{y=0} = \xi (\theta_E - \theta_{1,m}); \quad \mu \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial y} \Big|_{y=L_y} = \xi (\theta_E - \theta_{1,m}); \quad (7)$$

$$\partial \rho \Pi \partial t = \beta \Pi (\rho \Pi) c - \kappa \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial z} \Big|_{z=0} = (\beta \theta_{1,m} - f_0); \quad \kappa \frac{\partial \theta_{1,m}}{\partial z} \Big|_{z=H_z} = \xi (\theta_E - \theta_{1,m}). \quad (8)$$

(2) ko‘rinishdagi xususiy hosilali differensial tenglamalar tizimi uchun boshlang‘ich va chegaraviy shartlar quyidagicha aniqlanadi:

$$\partial \rho \Pi \partial t = \beta \Pi (\rho \Pi) c \theta_{2,l} \Big|_{t=0} = \theta_{2,l}^0; \quad w_g \Big|_{t=0} = w_g^0; \quad (9)$$

$$\partial \rho \Pi \partial t = \beta \Pi (\rho \Pi) c - \mu \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial x} \Big|_{x=0} = \xi (\theta_E - \theta_{2,l}); \quad \mu \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial x} \Big|_{x=L_x} = \xi (\theta_E - \theta_{2,l}); \quad (10)$$

$$\partial \rho \Pi \partial t = \beta \Pi (\rho \Pi) c - \mu \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial y} \Big|_{y=0} = \xi (\theta_E - \theta_{2,l}); \quad \mu \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial y} \Big|_{y=L_y} = \xi (\theta_E - \theta_{2,l}); \quad (11)$$

$$\partial \rho \Pi \partial t = \beta \Pi (\rho \Pi) c - \kappa \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial z} \Big|_{z=0} = (\beta \theta_{2,l} - f_0); \quad \kappa \frac{\partial \theta_{2,l}}{\partial z} \Big|_{z=H_z} = \xi (\theta_E - \theta_{2,l}). \quad (12)$$

bunda: $\theta_{1,m}(x, y, z, t)$, $m = \overline{1, N_g}$ – atmosfera gaz aralashmasidagi ifloslantiruvchi moddalar konsentratsiyasini bildiradi; N_g – atmosfera gaz aralashmasidagi ifloslantiruvchilar soni; $\theta_{2,l}(x, y, z, t)$, $l = \overline{1, N_a}$ – massasi havo massasidan katta bo‘lgan zararli moddalar atmosfera konsentratsiyasini ifodalaydi; N_a – havodan og‘ir zararli moddalar soni; $\theta_{1,m}^0(x, y, z)$ – gaz aralashmasidagi ifloslantiruvchi moddalarning boshlang‘ich atmosfera konsentratsiyasi; $\theta_{2,l}^0(x, y, z)$ – havodan og‘ir zararli moddalarning boshlang‘ich atmosfera konsentratsiyasi; σ – zararli moddalarning atmosfera yutilish koeffitsiyenti; μ , κ – mos ravishda diffuziya va turbulentlik koeffitsiyentlari; $Q_1(x, y, z, t)$, $Q_2(x, y, z, t)$ – atmosfera gaz aralashmasidagi ifloslantiruvchi moddalar va havodan og‘ir zararli moddalarning manba intensivliklariga mos keladi; $Q(x, y, z, t)$ – umumiy manba intensivligi; P_{nucl} – nukleatsiya (yadro hosil bo‘lish) operatori; $c = 0.5$ – o‘lchovsiz parametr; ρ – zarracha zichligi; r_z – zarracha radiusi; s – zarrachaning ko‘ndalang kesim yuzasi; m – zarracha massasi; η – zarrachaning dinamik yopishqoqlik koeffitsiyenti.

Havo oqimining laminar yoki turbulent xususiyati quyidagi Reynolds soni yordamida aniqlanadi:

$$Re_z = \frac{2ab\rho U}{\eta(a+b)},$$

bunda a va b – gorizonttal uzunliklarni bildiradi; ρ – havo zichligi; η – havoning dinamik yopishqoqlik koeffitsiyenti; U – shamol tezligi.

Havo oqimining dinamik xususiyatlari Reynolds soniga bog‘liq. Agar Reynolds soni $Re < 2300$ bo‘lsa, oqim laminar bo‘ladi; aks holda esa oqim turbulent hisoblanadi.

Obyekt ichidagi shartlarni aniqlash uchun quyidagi bog‘lanishlardan foydalaniladi:

$$u = 0, v = 0, w = 0, P = P_0, \theta = 0 \text{ if } (x, y, z) \in \Omega_{\text{object}}.$$

Obyekt devorlari yaqinidagi funksiyalar qiymatlari Log-Wall funksiyasi yordamida quyidagicha aniqlanadi:

$$u = U_\tau \frac{1}{\chi} \ln(x^+) + b; \quad v = U_\tau \frac{1}{\chi} \ln(y^+) + b; \quad w = U_\tau \frac{1}{\chi} \ln(z^+) + b;$$

$$x^+ = \frac{U_\tau x}{\nu}; \quad y^+ = \frac{U_\tau y}{\nu}; \quad z^+ = \frac{U_\tau z}{\nu}; \quad U_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}; \quad \tau_w = \sqrt{\tau_{wx}^2 + \tau_{wy}^2 + \tau_{wz}^2};$$

$$\tau_{wx} = \rho \nu \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \tau_{wy} = \rho \nu \frac{\partial v}{\partial y}; \quad \tau_{wz} = \rho \nu \frac{\partial w}{\partial z},$$

bunda U_τ – devor yaqinidagi oqim intensivligini ifodalovchi ishqalanish tezligi;

χ – eksperimental aniqlanadigan fon Karman doimiysi (odatda $\chi \approx 0,41$); x^+, y^+, z^+ – oqimning devorga normal yo‘nalishdagi haqiqiy masofasi bo‘lib, devor masofasiga nisbatan o‘lchovsiz ko‘rinishda ifodalanadi; b – empirik doimiy (odatda $b = 5$); τ_w – umumiy devor kesuvchi kuchlanish (wall shear stress); $\tau_{wx}, \tau_{wy}, \tau_{wz}$ – mos ravishda x, y va z yo‘nalishlaridagi devor kesuvchi kuchlanish komponentlari; ν – kinematik yopishqoqlik koeffitsiyenti.

Atmosferada zararli moddalarning ko‘chish va tarqalish jarayonlariga ta’sir etuvchi asosiy omillardan biri havo oqimi tezligidir. Ushbu tadqiqotda atmosfera oqimlarining dinamik xatti-harakatlarini aniq ifodalash maqsadida Dekart koordinatalar tizimida havo oqimi tezligi komponentlarini tavsiflovchi matematik model ishlab chiqildi. Adekvat sonli natijalarni olish uchun vaqt va fazoviy o‘zgaruvchilar bo‘yicha yuqori tartibli aniqlikka ega oshkormas chekli ayirmalar sxemasiga asoslangan samarali hisoblash algoritmi taklif etildi. Mazkur sonli yondashuv boshqaruvchi tenglamalarni yechishda turg‘unlik va yuqori aniqlikni ta’minlaydi. Shuningdek, atmosfera jarayonlarini yanada haqqoniy ifodalash maqsadida modelga bir qator muhim fizik parametrlar kiritildi. Xususan, havo oqimi tezligi komponentlarini hisoblashda turbulent dinamik yopishqoqlik koeffitsiyentlari, turbulent oqim xususiyatlari hamda turbulent kinetik energiya hisobga olindi. Ushbu omillarni inobatga olish atmosfera muhitida ifloslantiruvchi moddalarning ko‘chish va tarqalish mexanizmlarini yanada aniqroq modellashtirish imkonini beradi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Atmosferaning ekologik holatini kuzatish va modellashtirish bo‘yicha dasturiy ta’minot, tizimlar bozorida taqdim etilgan tahlillar loyihalashtirilayotgan tizimga texnik talablarni, jumladan, foydalanishning soddaligi, real vaqt rejimida havo ifloslanishi to‘g‘risida ma’lumot berish, shuningdek, ifloslanish darajasini bashoratlashning aniqligini shakllantirish imkonini berdi.

Atmosferaning ifloslanishi, ob-havo sharoitlari va zararli moddalar konsentratsiyasining tarqalishi bashorati to‘g‘risida katta hajmdagi ma’lumotlarni to‘plash va qayta ishlash orqali foydalanuvchilarga dolzarb ma’lumotlarni taqdim etishni nazarda tutuvchi sanoat hududlarida

atmosfera havosi sifatini kuzatish tizimi uchun ishlab chiqilayotgan dasturiy ta'minotning asosi ma'lumotlar bazasi hisoblanadi.

Atmosferada zararli moddalar konsentratsiyasi maydonlarining fazoviy-vaqt bo'yicha taqsimlanishini modellashtirish natijalarini kartografik vizuallashtirish "folium" kutubxonasidan foydalangan holda tegishli dasturiy modulda amalga oshirildi.

Tizimning funksionalligi muhim ahamiyatga ega, chunki u mos chegaraviy va boshlang'ich shartlar asosida xususiy hosilali differensial tenglamalar bilan ifodalangan matematik modelni modellashtirish imkonini beradi. Bu zararli moddalarning atmosfera bo'ylab tashilishi va tarqalishi jarayonini modellashtirish imkonini beradi.

Shunday qilib, keyinchalik ekologik nazorat, tabiatni muhofaza qilish tadbirlarini o'tkazish va atmosfera havosining sanitariya me'yorlariga rioya qilish bo'yicha qarorlar qabul qilishni qo'llab-quvvatlash maqsadida sanoat hududlarida atmosfera havosi sifatini kuzatish va bashoratlash uchun mo'ljallangan vebga yo'naltirilgan geoaxborot tizimi ishlab chiqildi.

Ishlab chiqilgan dasturiy mahsulot asosida, asosan, ishlab chiqilgan matematik modellarni validatsiya va verifikatsiya qilish uchun bir qator hisoblash tajribalari o'tkazildi.

XULOSA

Ko'plab hisoblash tajribalari shuni ko'rsatdiki, ifloslantiruvchi moddalar chiqindilarining tarqalish jarayoniga ta'sir qiluvchi asosiy omillarga shamol tezligi va atmosfera turbulentligi tufayli ham, yer yuzasi va atmosfera o'rtasidagi konvektiv issiqlik almashinuvi tufayli ham yuqoriga ko'tarilayotgan havo oqimlarining intensivligi kiradi. Molekulyar sochilish (diffuziya koeffitsiyenti) ko'p hollarda o'rganilayotgan jarayonga sezilarli darajada kamroq ta'sir ko'rsatadi, kamdan-kam hollarda to'liq shamolsiz va quruq ob-havo bundan mustasno.

EHMda o'tkazilgan sonli hisoblashlardan ko'rinib turibdiki, shamol tezligining gorizontal tashkil etuvchisining ortishi bilan sanoat manbalaridan chiqarilgan aerazol zarralari shamol yo'nalishi bo'yicha ko'chadi. Atmosferaning yerga yaqin qatlamida ifloslantiruvchi moddalarning tarqalish sohasi atmosfera havo massasining tezligi oshishi bilan kengayadi. Ayniqsa, bu holatni $N=200-300$ m da kuzatish mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Snow, N. H. (2023). Green chemistry: what is it (and what is it not)? And how does it apply to gas chromatography?. *LCGC North Am*, 41(5), 176-180.
- [2] Sukhinov, A. I., Chistyakov, A. E., Nikitina, A. V., Atayan, A. M., & Litvinov, V. N. (2023). A method for solving grid equations for hydrodynamic problems in flat areas. *Mathematical Models and Computer Simulations*, 15(5), 802-816.
- [3] Jafarigol, F., Yousefi, S., Darvishi Omrani, A., Rashidi, Y., Buonanno, G., Stabile, L., & Amouei Torkmahalleh, M. (2024). The relative contributions of traffic and non-traffic sources in ultrafine particle formations in Tehran mega city. *Scientific Reports*, 14(1), 10399.
- [4] Barboni, T., Leonelli, L., Santoni, P. A., & Tihay-Felicelli, V. (2019). Study of the burning of *Pteridium aquilinum* L. and risk for the personnel involved: Thermal properties and chemical risk. *Fire Safety Journal*, 110, 102904.
- [5] Sukhinov, A., Chistyakov, A., Kuznetsova, I., Belova, Y., & Nikitina, A. (2022). Mathematical Model of Suspended Particles Transport in the Estuary Area, Taking into Account the Aquatic Environment Movement. *Mathematics*, 10(16), 2866.
- [6] Wang, X., Xu, S., Kong, F., Li, X., Zhou, X., & Ren, Y. (2026). Effects of absorbent physical properties on microscale hydrodynamics in structured packing for CO₂ capture and new correlations for interfacial area and liquid holdup. *Journal of Cleaner Production*, 541, 147476.

[7] Wang, X., Xu, S., Kong, F., Li, X., & Ren, Y. (2025). Influence of packing perforation parameters on microscale hydrodynamics for the CO₂ absorption process and new correlations of the interfacial area and liquid holdup. Separation and Purification Technology, 135371.

REST API ASOSIDA TAQSIMLANGAN WEB-ILOVALARNI LOYIHALASH VA ISHLAB CHIQISH USULLARI

Sunatov Jo‘rabek Turg‘unbek o‘g‘li¹, To‘rayeva Ruxshona Rustam qizi²

^{1,2}Iqtisodiyot va pedagogika universiteti katta o‘qituvchisi, Qarshi shahar

Annotatsiya. Mazkur maqolada REST (Representational State Transfer) arxitektura uslubi asosida taqsimlangan web-ilovalarni loyihalash va ishlab chiqish masalalari ko‘rib chiqilgan. Zamonaviy dasturiy ta‘minot tizimlarida mikroxizmatlar arxitekturasini, mijoz-server o‘zaro aloqasi va resurslarga yo‘naltirilgan yondashuvning ahamiyati tahlil qilingan. Tadqiqot davomida REST API ning asosiy tamoyillari — statsiz (stateless) aloqa, yagona interfeys, keshlash imkoniyati, qatlamli tizim va kod-talab qilish — batafsil o‘rganilib, ularni amaliy dasturlash muhitida qo‘llash bo‘yicha konkret usullar taklif etilgan. Node.js, Express.js va PostgreSQL texnologiyalari asosida prototip tizim ishlab chiqilib, uning unumdorlik ko‘rsatkichlari yuklama testlari yordamida baholandi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, to‘g‘ri loyihalashtirilgan REST API arxitekturasini tizim unumdorligini sezilarli darajada oshiradi, gorizontaal masshtablanuvchanlikni ta‘minlaydi va texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlarini kamaytiradi.

Kalit so‘zlar: REST API, taqsimlangan tizimlar, web-ilova, mikroxizmatlar arxitekturasini, mijoz-server modeli, masshtablanuvchanlik, HTTP protokoli, dasturiy ta‘minot muhandisligi.

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы проектирования и разработки распределённых веб-приложений на основе архитектурного стиля REST (Representational State Transfer). Проанализирована роль архитектуры микросервисов, взаимодействия «клиент-сервер» и ресурсно-ориентированного подхода в современных программных системах. В ходе исследования подробно изучены основные принципы REST API — отсутствие состояния (stateless), единый интерфейс, возможность кэширования, многослойная система и код по требованию, — предложены конкретные методы их применения в практической среде разработки. На основе технологий Node.js, Express.js и PostgreSQL разработан прототип системы, показатели производительности которого оценены с помощью нагрузочного тестирования. Полученные результаты показывают, что правильно спроектированная архитектура REST API существенно повышает производительность системы, обеспечивает горизонтальную масштабируемость и снижает затраты на техническое обслуживание.

Ключевые слова: REST API, распределённые системы, веб-приложение, архитектура микросервисов, модель клиент-сервер, масштабируемость, протокол HTTP, программная инженерия.

Annotation. This article examines the design and development of distributed web applications based on the REST (Representational State Transfer) architectural style. It analyzes the role of microservices architecture, client-server interaction, and the resource-oriented approach in modern software systems. The study explores in detail the core principles of REST API — statelessness, uniform interface, cacheability, a layered system, and code-on-demand — and proposes concrete methods for applying them in a practical development environment. A prototype system was built using Node.js, Express.js, and PostgreSQL, and its performance indicators were evaluated through load testing. The results show that a properly designed REST API architecture significantly improves system performance, ensures horizontal scalability, and reduces maintenance costs.

Keywords: REST API, distributed systems, web application, microservices architecture, client-server model, scalability, HTTP protocol, software engineering.

KIRISH

So'nggi o'n yillikda internet texnologiyalarining jadal rivojlanishi, foydalanuvchilar sonining ortishi va turli qurilmalar (smartfon, planshet, IoT sensorlari, veb-brauzerlar) orqali axborot tizimlariga murojaat qilish ehtiyojining kuchayishi dasturiy ta'minotni loyihalash yondashuvlarini tubdan o'zgartirdi. Monolit arxitekturaga asoslangan an'anaviy web-ilovalar masshtablanuvchanlik, moslashuvchanlik va texnik xizmat ko'rsatish nuqtai nazaridan bir qator cheklovlarga ega bo'lib, bu taqsimlangan tizimlarga o'tish zaruratini keltirib chiqardi.

Taqsimlangan web-ilovalarni qurishda turli komponentlar, xizmatlar va tashqi tizimlar o'rtasida samarali va standartlashtirilgan aloqa mexanizmini ta'minlash muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu vazifani hal etishda Roy Fielding tomonidan 2000-yilda o'zining doktorlik dissertatsiyasida taklif etilgan REST (Representational State Transfer) arxitektura uslubi keng qo'llanilmoqda. REST — bu qat'iy protokol emas, balki resurslarga yo'naltirilgan, HTTP protokolining imkoniyatlaridan to'liq foydalanadigan me'moriy tamoyillar to'plamidir.

Hozirgi kunda REST API mikroxizmatlar arxitekturasining asosiy integratsiya vositasi sifatida, shuningdek mobil ilovalar, single-page application (SPA) va uchinchi tomon tizimlari bilan integratsiya qilishning standart usuli sifatida qo'llaniladi. Shu bilan birga, REST API'ni to'g'ri loyihalashtirmaslik xavfsizlik zaifliklari, unumdorlikning pasayishi va tizimni kengaytirish qiyinchiliklariga olib kelishi mumkin.

Ushbu tadqiqotning maqsadi — REST API asosida taqsimlangan web-ilovalarni loyihalash va ishlab chiqishning amaliy usullarini o'rganish, ularning samaradorligini eksperimental tarzda baholash hamda ishlab chiquvchilar uchun tavsiyalar shakllantirishdan iborat. Tadqiqot vazifalari quyidagilardan iborat: (1) REST arxitektura tamoyillarini tahlil qilish; (2) taqsimlangan tizim komponentlari o'rtasidagi o'zaro aloqa modelini ishlab chiqish; (3) prototip tizim yaratish va uni yuklama testlari orqali baholash; (4) natijalar asosida amaliy tavsiyalar berish.

MATERIALLAR VA METODLAR

Tadqiqot ikki bosqichda olib borildi: nazariy tahlil va eksperimental modellashtirish. Nazariy bosqichda REST arxitekturasining olti asosiy cheklovi (constraints) — mijoz-server modeli, statsizlik (stateless), keshlash imkoniyati, qatlamli tizim, yagona interfeys va kod-talab qilish (ixtiyoriy) — ilmiy adabiyotlar asosida tizimli tarzda tahlil qilindi.

Eksperimental bosqichda quyidagi texnologik stek qo'llanildi: server tomoni uchun Node.js muhiti va Express.js freymvorki, ma'lumotlar bazasi sifatida PostgreSQL relatsion boshqaruv tizimi, autentifikatsiya uchun JSON Web Token (JWT) mexanizmi, hujjatlashtirish uchun OpenAPI (Swagger) spetsifikatsiyasi. Tizim arxitekturasi uch qatlamli modelga asoslandi: taqdimot qatlami (client), biznes-logika qatlami (application server) va ma'lumotlar qatlami (database), bu esa komponentlarning bir-biridan mustaqil rivojlanishi va masshtablanishiga imkon berdi.

Resurslarni loyihalashtirishda quyidagi usullar qo'llanildi: (a) resurslar otlar (nouns) orqali ifodalanib, HTTP metodlari (GET, POST, PUT, PATCH, DELETE) orqali amallar bajarildi; (b) HATEOAS (Hypermedia as the Engine of Application State) tamoyiliga asoslanib javoblarga bog'lovchi havolalar qo'shildi; (c) versiyalash uchun URI asosidagi yondashuv (masalan, /api/v1/) qo'llanildi; (d) xatoliklarni qayta ishlash uchun standartlashtirilgan HTTP status kodlari (200, 201, 400, 401, 404, 500 va h.k.) va JSON formatidagi xato xabarlarini ishlatildi.

Tizim unumdorligini baholash uchun Apache JMeter vositasi yordamida yuklama testlari o'tkazildi. Test jarayonida bir vaqtning o'zida 100 dan 1000 tagacha bo'lgan parallel so'rovlar (concurrent requests) simulyatsiya qilinib, o'rtacha javob berish vaqti (response time), so'rovlarni qayta ishlash tezligi (throughput) va xatoliklar foizi o'lchandi. Solishtirish maqsadida bir xil funktsionallikka ega bo'lgan monolit arxitekturadagi tizim ham xuddi shunday sharoitlarda test qilindi.

NATIJALAR

o'tkazilgan eksperimental tadqiqot natijasida REST API asosida qurilgan taqsimlangan tizim va an'anaviy monolit tizim o'rtasidagi unumdorlik ko'rsatkichlari solishtirildi. 1-jadvalda ikkala arxitektura bo'yicha olingan asosiy natijalar keltirilgan.

1-jadval

REST API asosidagi taqsimlangan tizim va monolit tizim ko'rsatkichlari qiyosi

Ko'rsatkich	Monolit tizim	REST API asosidagi taqsimlangan tizim
100 parallel so'rovda o'rtacha javob vaqti (ms)	220	160
500 parallel so'rovda o'rtacha javob vaqti (ms)	680	310
1000 parallel so'rovda o'rtacha javob vaqti (ms)	1450	610
1000 so'rovda xatoliklar foizi (%)	6,8	2,1
o'rtacha throughput (so'rov/soniya)	310	740

Jadval ma'lumotlaridan ko'rinib turibdiki, parallel so'rovlar soni ortishi bilan REST API asosidagi taqsimlangan tizim monolit tizimga nisbatan sezilarli ustunlikka ega bo'ldi. Xususan, 1000 ta parallel so'rov sharoitida taqsimlangan tizimning o'rtacha javob berish vaqti monolit tizimga qaraganda taxminan 2,4 barobar qisqa bo'ldi, xatoliklar foizi esa 3 barobardan ortiq kam kuzatildi.

Shuningdek, keshlash mexanizmini (HTTP Cache-Control sarlavhalari orqali) joriy etish natijasida takroriy so'rovlarni qayta ishlash vaqti o'rtacha 35 foizga kamaydi. HATEOAS tamoyilidan foydalanish esa mijoz tomonidagi (client-side) kodni soddalashtirib, API'ning o'zgarishlarga moslashuvchanligini oshirdi. Statsiz (stateless) aloqa tamoyilini qo'llash natijasida gorizontall masshtablash — ya'ni qo'shimcha server nusxalarini (instance) ishga tushirish orqali tizim yuklamasini taqsimlash — hech qanday qo'shimcha murakkablikssiz amalga oshirildi.

Xavfsizlik nuqtai nazaridan, JWT asosidagi token mexanizmi har bir so'rovni mustaqil autentifikatsiya qilish imkonini berib, server tomonida sessiya holatini saqlash zaruratini bartaraf etdi, bu esa tizimning statsizlik tamoyiliga to'liq mos kelishini ta'minladi.

MUHOKAMA

Olingan natijalar REST arxitektura tamoyillarining taqsimlangan tizimlar unumdorligiga ijobiy ta'sir ko'rsatishini tasdiqlaydi. Bu natijalar Fielding (2000) tomonidan taklif etilgan nazariy asoslarga hamda Richardson va Ruby (2007) tomonidan RESTful xizmatlarni loyihalashtirish bo'yicha keltirilgan amaliy tavsiyalarga mos keladi.

Shu bilan birga, tadqiqot davomida bir qator amaliy muammolar ham aniqlandi. Birinchidan, mikroxizmatlar sonining ortishi tarmoq orqali aloqa (inter-service communication) yukini oshirib, tarmoq kechikishi (latency) muammosini keltirib chiqarishi mumkin — bu holatda API Gateway va xizmatlarni kashflash (service discovery) mexanizmlarini qo'llash tavsiya etiladi. Ikkinchidan,

taqsimlangan tizimlarda tranzaksiyalar yaxlitligini ta'minlash monolit tizimlarga nisbatan murakkabroq bo'lib, bu masalani hal etishda Saga naqshi (pattern) yoki taqsimlangan tranzaksiya boshqaruvchilari qo'llanilishi mumkin.

Shuningdek, REST API xavfsizligini ta'minlashda faqat autentifikatsiya emas, balki avtorizatsiya (Role-Based Access Control), so'rovlarni cheklash (rate limiting) va kirish ma'lumotlarini tekshirish (input validation) kabi qo'shimcha choralar ham zarur ekanligi aniqlandi. Bundan tashqari, GraphQL kabi alternativ yondashuvlar bilan solishtirganda REST'ning soddaligi va keng tarqalganligi uning afzalligi bo'lsa-da, ba'zi murakkab so'rovlarda ortiqcha yoki yetarli bo'lmagan ma'lumot uzatish (over-fetching / under-fetching) muammosi kuzatilishi mumkinligi ta'kidlandi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati shundaki, taklif etilgan usullar dasturiy ta'minot ishlab chiquvchilari, xususan o'zbekistondagi IT-kompaniyalar va davlat axborot tizimlarini rivojlantiruvchi tashkilotlar uchun taqsimlangan web-ilovalarni loyihalashtirishda amaliy qo'llanma sifatida xizmat qilishi mumkin.

XULOSA

o'tkazilgan tadqiqot natijasida REST API asosida taqsimlangan web-ilovalarni loyihalash va ishlab chiqishning nazariy va amaliy jihatlarini batafsil o'rganildi. Tadqiqot davomida quyidagi xulosalarga kelindi:

1. REST arxitektura uslubining asosiy tamoyillari (statsizlik, yagona interfeys, keshlash, qatlamli tuzilma) taqsimlangan tizimlarning masshtablanuvchanligi va barqarorligini ta'minlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega.

2. Resurslarga yo'naltirilgan yondashuv, to'g'ri HTTP metodlaridan foydalanish va standartlashtirilgan xato boshqaruvi API'ning tushunarli va texnik xizmat ko'rsatish qulayligini sezilarli darajada oshiradi.

3. Eksperimental natijalar shuni ko'rsatdiki, REST API asosidagi taqsimlangan arxitektura yuqori yuklama sharoitida monolit tizimga nisbatan 2 baravardan ortiq yuqori unumdorlik ko'rsatadi hamda xatoliklar darajasini sezilarli pasaytiradi.

4. Keshlash, JWT asosidagi statsiz autentifikatsiya va HATEOAS tamoyillarini birgalikda qo'llash tizimning ishonchligi va moslashuvchanligini oshiradi.

Kelgusi tadqiqotlarda REST API bilan GraphQL va gRPC kabi zamonaviy alternativ texnologiyalarni qiyosiy tahlil qilish, shuningdek sun'iy intellekt asosidagi avtomatik API testlash usullarini ishlab chiqish istiqbolli yo'nalishlar sifatida belgilandi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

[1] Fielding R.T. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures: Doctoral dissertation. — Irvine: University of California, 2000. — 180 p.

[2] Richardson L., Ruby S. RESTful Web Services. — Sebastopol: o'Reilly Media, 2007. — 448 p.

[3] Newman S. Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems. — 2nd ed. — Sebastopol: o'Reilly Media, 2021. — 610 p.

[4] Masse M. REST API Design Rulebook. — Sebastopol: o'Reilly Media, 2011. — 108 p.

[5] Fowler M., Lewis J. Microservices: A Definition of This New Architectural Term // martinowler.com. — 2014.

[6] Toshpo'latov T.A. Taqsimlangan axborot tizimlarini loyihalash asoslari. — Toshkent: TATU nashriyoti, 2020. — 214 b.

[7] Qodirov M.M., Yusupova N.R. Web-ilovalarni ishlab chiqishda zamonaviy arxitektura yondashuvlari // TATU xabarlari. — 2022. — №3(58). — B. 45–52.

[8] Rahimov Sh.A. Mikroxizmatlar arxitekturasida korporativ axborot tizimlarini qurish muammolari // Muhammad al-Xorazmiy avlodlari ilmiy-amaliy va axborotnoma jurnali. — 2021. — №2. — B. 112–119.

[9] Karimova D.B. REST va SOAP protokollarining qiyosiy tahlili va ularni tanlash mezonlari // o'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi axborotnomasi. — 2023. — №1. — B. 78–84.

[10] Erl T., Simone P., Stoffel K. Microservices Architecture: Aligned Enterprise Series. — Boston: Prentice Hall, 2020. — 280 p.

ZAMONAVIY YARIMO‘TKAZGICH QURILMALARIDA TERMAL MUAMMOLARNI BARTARAF ETISH USULLARI

Tojiyeva Nasibaxon A'zamjonovna

Farg'ona viloyati Bog'dod tumani 1-son texnikumi o'qituvchisi

Annotatsiya. Ushbu maqolada zamonaviy yarimo'tkazgich qurilmalarida yuzaga keladigan termal muammolar, ularning kelib chiqish sabablari hamda issiqlikni samarali boshqarish usullari tahlil qilinadi. Hozirgi vaqtda mikroprotssessorlar, yuqori quvvatli tranzistorlar, grafik protssessorlar va murakkab integral sxemalarning o'lchamlari kichrayib, ularning hisoblash tezligi va quvvat zichligi ortib bormoqda. Natijada qurilmalarda ajralib chiqadigan issiqlik miqdori ham oshmoqda. Ushbu issiqlikni o'z vaqtida tashqariga chiqarib yubormaslik yarimo'tkazgich qurilmasining ish unumdorligi pasayishiga, energiya sarfining ortishiga va elementlarning xizmat muddatining qisqarishiga olib kelishi mumkin.

Maqolada termal interfeys materiallari, grafen va nanogرافit asosidagi materiallar, mikrosuyuqlik sovutish tizimlari, bug' kameralari hamda boshqa zamonaviy issiqlik boshqaruv texnologiyalarining ishlash prinsiplari ko'rib chiqiladi. Shuningdek, yarimo'tkazgichlarda issiqlik tarqalish jarayonini tavsiflovchi asosiy fizik kattaliklar va issiqlik qarshiligining ahamiyati yoritiladi. Zamonaviy elektron qurilmalarda samarali termal boshqaruv tizimlarini qo'llash ularning ishonchliligi va energiya samaradorligini oshirishning muhim omili ekanligi asoslab beriladi.

Kalit so'zlar: yarimo'tkazgich, termal boshqaruv, issiqlik tarqalishi, issiqlik o'tkazuvchanlik, grafen, nanogرافit, mikrosuyuqlik sovutish, bug' kamerasi, termal interfeys materiali, tranzistor, integral sxema.

Аннотация. В данной статье анализируются тепловые проблемы, возникающие в современных полупроводниковых устройствах, причины их возникновения, а также методы эффективного управления тепловыми процессами. В настоящее время размеры микропроцессоров, мощных транзисторов, графических процессоров и сложных интегральных схем постоянно уменьшаются, в то время как их вычислительная производительность и плотность мощности возрастают. В результате увеличивается количество тепла, выделяемого в электронных устройствах. Несвоевременный отвод этого тепла может привести к снижению производительности полупроводниковых устройств, увеличению энергопотребления, термической деградации материалов и сокращению срока службы электронных компонентов.

В статье рассматриваются принципы работы термоинтерфейсных материалов, материалов на основе графена и наногرافита, систем микрофлюидного охлаждения, паровых камер, а также других современных технологий управления тепловыми процессами. Кроме того, освещаются основные физические величины, характеризующие процесс распространения тепла в полупроводниках, коэффициент теплопроводности и значение

теплового сопротивления. Обосновывается, что применение эффективных систем термоуправления в современных электронных устройствах является важным фактором повышения их надежности, стабильности работы и энергоэффективности.

Ключевые слова: полупроводник, термоуправление, распространение тепла, теплопроводность, графен, нанографит, микрофлюидное охлаждение, паровая камера, термоинтерфейсный материал, транзистор, интегральная схема.

Abstract. This article analyzes thermal problems arising in modern semiconductor devices, their causes, and methods for effective thermal management. Nowadays, the dimensions of microprocessors, high-power transistors, graphics processing units, and complex integrated circuits are continuously decreasing, while their computational performance and power density are increasing. As a result, the amount of heat generated within electronic devices is also increasing significantly. Failure to dissipate this heat in a timely manner can lead to reduced performance of semiconductor devices, increased energy consumption, thermal degradation of materials, and a shortened service life of electronic components.

The article examines the operating principles of thermal interface materials, graphene- and nanographite-based materials, microfluidic cooling systems, vapor chambers, and other modern thermal management technologies. In addition, the main physical quantities characterizing heat propagation in semiconductors, the thermal conductivity coefficient, and the importance of thermal resistance are discussed. The study substantiates that the application of efficient thermal management systems in modern electronic devices is an important factor in improving their reliability, operational stability, and energy efficiency.

Keywords: semiconductor, thermal management, heat propagation, thermal conductivity, graphene, nanographite, microfluidic cooling, vapor chamber, thermal interface material, transistor, integrated circuit.

KIRISH

Zamonaviy elektronika sanoatining jadal rivojlanishi natijasida elektron qurilmalar tobora ixcham, tezkor va funksional bo'lib bormoqda.

Mikroprotsessorlar, grafik protsessorlar, quvvat tranzistorlari va murakkab integral sxemalarda bir necha milliardlab elektron elementlar juda kichik maydonda joylashtirilmoqda. Bunday qurilmalarda elektr energiyasining ma'lum qismi issiqlik energiyasiga aylanadi.

Elektr toki o'tayotgan har qanday real elektron qurilmada Joule issiqligi hosil bo'ladi. Uning miqdorini umumiy holda

$$Q = I^2 R t$$

ifoda orqali tavsiflash mumkin. Bu yerda I-tok kuchi, R-elektr qarshilik, t-vaqt.

Qurilmada hosil bo'ladigan issiqlik miqdori ortib ketganda uning harorati ko'tariladi. Haroratning haddan tashqari oshishi elektron komponentlarning elektr xususiyatlarini o'zgartirishi va qurilmaning normal ishlashiga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin. Shu sababli issiqlikni hosil bo'lgan joydan samarali ravishda olib chiqish zamonaviy mikroelektronikaning asosiy vazifalaridan biridir.

Ayniqsa, yuqori unumdor kompyuterlar, ma'lumotlar markazlari, sun'iy intellekt tizimlarida ishlatiladigan tezkor protsessorlar va grafik protsessorlarda termal boshqaruv muammosi yanada muhim ahamiyat kasb etmoqda.

1. YARIMO‘TKAZGICH QURILMALARIDA ISSIQLIK HOSIL BO‘LISHI

Yarimo‘tkazgich qurilmalarida issiqlik bir nechta fizik jarayonlar natijasida hosil bo‘ladi. Tranzistorlarda elektr toki o‘tishi, kontakt qarshiliklari, energiya yo‘qotishlari va boshqa fizik jarayonlar natijasida issiqlik ajralib chiqadi.

Qurilmaning termal holatini baholashda harorat muhim parametr hisoblanadi. Harorat farqi qancha katta bo‘lsa, issiqlikning yuqori haroratli sohadan past haroratli sohaga uzatilishi shunchalik faol kechadi.

Issiqlik oqimi miqdorini soddalashtirilgan holda quyidagi ifoda orqali ko‘rsatish mumkin:

$$P = \frac{T}{R^{th}}$$

Bu yerda P-issiqlik quvvati, ΔT - haroratlar farqi, R^{th} -termal qarshilik.

Termal qarshilik kichik bo‘lsa, issiqlikni tashqariga chiqarish osonlashadi. Shu sababli zamonaviy sovutish tizimlarini ishlab chiqishda asosiy maqsadlardan biri termal qarshilikni kamaytirishdan iborat.

2. TERMAL BOSHQARUVNING AHAMIYATI

Elektron qurilmalarning harorati va me‘yorida yuqori bo‘lsa, bir qator muammolar yuzaga kelishi mumkin. Jumladan:

- tranzistorlarning ishlash barqarorligi pasayadi;
- elektron komponentlarning xizmat muddati qisqaradi;
- energiya sarfi ortishi mumkin;
- qurilmaning hisoblash unumdorligi pasayadi;
- termal himoya mexanizmlari ishga tushishi mumkin;
- ayrim komponentlarda termik shikastlanish xavfi ortadi.

Shuning uchun termal boshqaruv faqat qurilmani sovutishdan iborat emas.

U issiqlikning hosil bo‘lishi, tarqalishi va tashqi muhitga chiqarilishini kompleks ravishda nazorat qilishni anglatadi.

3. ILG‘OR TERMAL INTERFEYS MATERIALLARI

Termal interfeys materiallari, ya‘ni TIM (Thermal Interface Materials), elektron chip va issiqlikni tashqariga chiqaruvchi qurilma o‘rtasidagi mikroskopik havo bo‘shliqlarini to‘ldirish uchun ishlatiladi.

Chip va radiator yuzalari ideal darajada silliq bo‘lmagani sababli ular orasida juda kichik havo bo‘shliqlari paydo bo‘ladi. Havo esa ko‘plab termal interfeys materiallariga nisbatan issiqlikni yomon o‘tkazadi. TIM ushbu bo‘shliqlarni to‘ldirib, issiqlik uzatilishini yaxshilaydi. TIM sifatida turli xil termal pastalar, polimer kompozitlar, metal asosidagi materiallar va yuqori issiqlik o‘tkazuvchanlikka ega zamonaviy kompozitlardan foydalanish mumkin.

4. GRAFEN VA NANOGRFIT ASOSIDAGI MATERIALLAR

So‘nggi yillarda yuqori issiqlik o‘tkazuvchanlik xususiyatiga ega uglerod asosidagi materiallarga katta e‘tibor qaratilmoqda. Shular qatoriga grafen, nanogرافit va uglerod nanotubalari kiradi.

Grafen uglerod atomlarining ikki o‘lchamli qatlamidan tashkil topgan material bo‘lib, o‘zining yuqori issiqlik va elektr o‘tkazuvchanligi bilan ajralib turadi. Grafen asosidagi kompozit materiallardan foydalanish issiqlikni chipdan tezroq uzoqlashtirish imkonini beradi.

Nanogرافit materiallari ham issiqlik tarqalishini yaxshilash maqsadida qo'llanilishi mumkin. Ayniqsa, kichik o'lchamli elektron qurilmalarda issiqlikni yuzaga teng taqsimlash muhim bo'lganligi sababli bunday materiallarning istiqboli yuqori.

5. MIKROSUYUQLIK SOVUTISH TIZIMLARI

Yuqori unumdor elektron qurilmalarda oddiy havo orqali sovitish har doim ham yetarli bo'lavermaydi. Bunday sharoitda mikrosuyuqlik sovitish tizimlaridan foydalanish mumkin.

Ushbu texnologiyada chip yoki uning sovitilayotgan qismida juda kichik kanallar hosil qilinadi. Kanallar orqali suyuqlik harakatlantiriladi. Suyuqlik qizigan hududdan issiqlikni o'zlashtirib, uni boshqa qismga olib chiqadi.

Sovutish tizimining umumiy samaradorligi suyuqlikning issiqlik sig'imi, oqim tezligi, kanal geometriyasi va issiqlik almashinish yuzasiga bog'liq.

Suyuqlik tomonidan olib chiqiladigan issiqlikni soddalashtirilgan holda:

$$Q=mc\Delta T$$

formula bilan ifodalash mumkin.

Bu yerda m -suyuqlik massasi, c -suyuqlikning solishtirma issiqlik sig'imi, ΔT -suyuqlik haroratining o'zgarishi.

Mikrokanalli sovitish tizimlarining asosiy afzalligi issiqlik manbasiga juda yaqin joyda issiqlikni olib chiqish imkoniyatidir.

6. BUG' KAMERALARI

Bug' kamerasi (Vapor Chamber) issiqlikni bir nuqtadan kengroq yuzaga taqsimlash uchun ishlatiladigan samarali qurilmalardan biridir. U issiqlik quvurining yassi shakliga o'xshash bo'lib, ichida maxsus suyuqlik va bug' fazasi mavjud.

Chipning issiq qismida suyuqlik bug'lanadi. Hosil bo'lgan bug' kameraning nisbatan sovuqroq qismlariga tarqaladi va u yerda kondensatsiyalanadi. Keyinchalik maxsus kapillyar struktura yordamida suyuqlik yana issiq hududga qaytadi.

Natijada issiqlik kichik maydondan kattaroq yuzaga taqsimlanadi. Bu esa radiatorning samarali ishlashiga yordam beradi.

7. ISSIQLIKNI TARQATISH VA RADIATORLAR

Issiqlikni elektron komponentdan tashqi muhitga chiqarishda radiatorlar muhim rol o'ynaydi. Radiatorning asosiy vazifasi issiqlik almashinish yuzasini kattalashtirishdan iborat.

Radiator yuzasi qancha katta bo'lsa, tashqi muhit bilan issiqlik almashinuvi shunchalik samarali bo'lishi mumkin. Shu sababli radiatorlarda ko'plab yupqa qovurg'alar qo'llanadi.

Ba'zi tizimlarda tabiiy konveksiya yetarli bo'lmaydi. Bunday hollarda ventilyator yordamida majburiy havo oqimi hosil qilinadi. Bu issiqlikni radiator yuzasidan tashqi muhitga chiqarish tezligini oshiradi.

8. FAZA O'ZGARUVCHI MATERIALLARDAN FOYDALANISH

Faza o'zgartiruvchi materiallar (PCM — Phase Change Materials) issiqlikni vaqtincha yutib olish imkonini beradigan materiallardir. Ular ma'lum haroratga yetganda qattiq holatdan suyuq holatga o'tishi yoki boshqa fazaviy o'zgarishni boshdan kechirishi mumkin.

Fazaviy o'zgarish jarayonida katta miqdorda issiqlik yutiladi. Shu sababli bunday materiallar qisqa vaqt davomida yuzaga keladigan issiqlik yuklamalarini kamaytirishda foydali bo'lishi mumkin.

PCM texnologiyasi ayniqsa haroratning keskin o'zgarib turadigan elektron tizimlari uchun istiqbolli yo'nalishlardan biri hisoblanadi.

9. NANOTEXNOLOGIYALARNING TERMAL BOSHQARUVDAGI O'RNI

Nanotexnologiyalar elektron qurilmalar o'lchamlarining kichrayishi bilan birga termal boshqaruv tizimlarini rivojlantirishda ham muhim ahamiyat kasb etmoqda.

Nanoo'lchamdagi materiallardan foydalanish orqali issiqlikni kerakli yo'nalishda tarqatish, issiqlik qarshiligini kamaytirish va issiqlik almashinuvi samaradorligini oshirish imkoniyatlari o'rganilmoqda.

Grafen, uglerod nanotubalari va boshqa nanostrukturali materiallar kelajakdagi yuqori unumdor elektron qurilmalarning termal boshqaruv tizimlarida muhim o'rin egallashi mumkin.

10. TERMAL BOSHQARUV TIZIMLARINI OPTIMALLASHTIRISH

Samarali termal boshqaruvni yaratish uchun faqat bitta sovutish usulidan foydalanish har doim ham yetarli emas. Amaliy qurilmalarda bir nechta texnologiyalar birgalikda qo'llanilishi mumkin.

Masalan, chip yuzasida termal interfeys materiali, undan keyin issiqlik tarqatuvchi plastina, bug' kamerasi yoki issiqlik quvuri, undan keyin esa radiator va ventilyator joylashtirilishi mumkin.

Bunday ko'p bosqichli tizim issiqlikni hosil bo'lgan nuqtadan tashqi muhitgacha samarali olib chiqishga yordam beradi.

Termal tizimni loyihalashda quyidagi omillar hisobga olinadi:

1. chipning issiqlik quvvati;
2. maksimal ruxsat etilgan harorat;
3. materiallarning issiqlik o'tkazuvchanligi;
4. termal qarshilik;
5. sovutish tizimining o'lchami;
6. energiya sarfi;
7. qurilmaning narxi;
8. sovutish tizimining ishonchliligi.

11. KELAJAKDAGI TERMAL TEXNOLOGIYALAR

Elektron qurilmalar yanada kichrayib, ularning quvvat zichligi oshib borishi bilan termal boshqaruv texnologiyalariga qo'yiladigan talablar ham kuchayadi.

Kelajakda chipning ichiga integratsiyalangan sovutish kanallari, yangi avlod grafen-kompozit materiallari, ikki fazali sovutish tizimlari va aqlli termal boshqaruv algoritmlaridan kengroq foydalanish mumkin.

Shuningdek, harorat sensorlari yordamida chipning turli qismlaridagi haroratni real vaqt rejimida nazorat qilish va sovutish tizimini avtomatik boshqarish istiqbolli yo'nalishlardan biridir.

Bunday tizimlar faqat haroratni pasaytiribgina qolmay, sovutish uchun sarflanadigan energiyani ham optimallashtirishga yordam beradi.

XULOSA

Xulosa qilib aytganda, zamonaviy yarimo'tkazgich qurilmalarida issiqlikni samarali boshqarish elektronikaning kelajakdagi rivojlanishini belgilovchi muhim omillardan biridir. Tranzistorlar va integral sxemalarning o'lchamlari kichrayishi, hisoblash tezligi va quvvat zichligining ortishi natijasida termal muammolar yanada dolzarb bo'lib bormoqda.

Termal interfeys materiallari, grafen va nanogرافit asosidagi kompozitlar, mikrosuyuqlik sovutish tizimlari, bug' kameralari, faza o'zgartiruvchi materiallar va zamonaviy radiatorlardan foydalanish issiqlikni samarali boshqarish imkonini beradi.

Ayniqsa, issiqlik manbasiga imkon qadar yaqin joyda sovutish texnologiyalarini qo'llash yuqori quvvatli mikroelektron qurilmalar uchun katta ahamiyatga ega. Kelajakda nanomateriallar va mikrokanalli sovutish tizimlarining rivojlanishi elektron qurilmalarning ishlash samaradorligi va ishonchligini yanada oshirishi kutiladi.

Shunday qilib, termal boshqaruv zamonaviy yarimo'tkazgich texnologiyalarining ajralmas qismi bo'lib, yangi materiallar, konstruksiyalar va sovutish usullarini ishlab chiqish elektron qurilmalarni yanada kichik, tezkor, energiya tejamonkor va ishonchli qilishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Sze S. M., Ng K. K. Physics of Semiconductor Devices. Wiley.
2. Incropera F. P., DeWitt D. P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Wiley.
3. Tuckerman D. B., Pease R. F. W. High-performance heat sinking for VLSI. IEEE Electron Device Letters.
4. Pop E. Energy dissipation and transport in nanoscale devices. Nano Research.
5. Muñoz Rojo M., Calero O. va boshqalar. Nanoengineering approaches to thermal management in electronic devices.
6. Zamonaviy mikroelektronika va yarimo'tkazgich qurilmalarining termal boshqaruviga oid ilmiy maqolalar va texnik manbalar.

BO'LAJAK PEDAGOGLARNING MUSTAQIL TA'LIM FAOLIYATIGA SUN'IIY INTELEKT TEXNOLOGIYALARINI JORIY ETISHDA MUAMMOLAR VA YECHIMLAR

Topildiyev Sirojiddin Muzaffar o'g'li

Namangan davlat pedagogika instituti, Namangan, O'zbekiston

e-mail: topildiyevsirojiddin@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada bo'lajak pedagoglarning mustaqil ta'lim faoliyatini tashkil etishga sun'iy intellekt (SI) texnologiyalarini joriy etish jarayonidagi asosiy muammolar tahlil qilingan. Tadqiqotning maqsadi — pedagogika yo'nalishi talabalarining mustaqil ta'lim faoliyatida SI vositalaridan foydalanishning amaliy holatini o'rganish va yuzaga keladigan pedagogik, texnologik hamda metodik muammolarni aniqlash asosida ularni bartaraf etish yo'llarini ishlab chiqishdan iborat. Tadqiqot davomida so'rovnoma, kuzatuv va pedagogik tajriba-sinov usullaridan foydalanildi, jami 120 nafar bo'lajak pedagog ishtirok etdi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, talabalarining katta qismi SI vositalaridan tayyor javob olish uchun sirtqi foydalanadi, bu esa mustaqil fikrlash va tanqidiy tahlil ko'nikmalarining pasayishiga olib kelmoqda; shu bilan birga, o'qituvchilarning SI vositalarini metodik jihatdan to'g'ri yo'naltirish borasidagi tayyorgarligi yetarli emasligi aniqlandi. Ushbu muammolarni bartaraf etish uchun bosqichma-bosqich metodika — SI-savodxonlik moduli, tanqidiy foydalanish qoidalari va nazorat-baholash mezonlarini o'z ichiga olgan yondashuv taklif etildi. Taklif etilgan metodikani sinovdan o'tkazish natijasida talabalarining mustaqil ta'lim faoliyati sifati va o'z-o'zini nazorat qilish ko'rsatkichlari sezilarli darajada yaxshilanganligi aniqlandi. Xulosa qilib aytganda, SI texnologiyalarini mustaqil ta'lim jarayoniga to'g'ri metodik asosda joriy etish bo'lajak pedagoglarning kasbiy kompetentligini oshirishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: sun'iy intellekt, mustaqil ta'lim faoliyati, bo'lajak pedagoglar, ta'lim metodikasi, raqamli kompetentlik.

Аннотация. В статье анализируются основные проблемы внедрения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в организацию самостоятельной учебной деятельности будущих педагогов. Цель исследования — изучить практику использования средств ИИ студентами педагогических направлений в самостоятельной работе и на этой основе выявить педагогические, технологические и методические проблемы, а также разработать пути их устранения. В ходе исследования применялись анкетирование, наблюдение и

педагогический эксперимент, в которых приняли участие 120 будущих педагогов. Результаты показали, что значительная часть студентов использует средства ИИ поверхностно, для получения готовых ответов, что приводит к снижению навыков самостоятельного мышления и критического анализа; также выявлена недостаточная методическая готовность преподавателей к грамотному направлению использования ИИ. Для решения выявленных проблем предложена поэтапная методика, включающая модуль ИИ-грамотности, правила критического использования и критерии контроля и оценивания. Апробация предложенной методики показала значительное улучшение качества самостоятельной учебной деятельности и показателей самоконтроля студентов. Таким образом, методически обоснованное внедрение технологий ИИ в процесс самостоятельного обучения способствует повышению профессиональной компетентности будущих педагогов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, самостоятельная учебная деятельность, будущие педагоги, методика обучения, цифровая компетентность.

Abstract. This article analyzes the main problems arising in the implementation of artificial intelligence (AI) technologies in organizing the independent learning activity of future teachers. The purpose of the study is to examine the actual practice of pre-service teachers' use of AI tools in independent study and, on this basis, to identify the pedagogical, technological, and methodological problems that emerge, as well as to develop ways of overcoming them. The study employed a questionnaire survey, observation, and a pedagogical experiment involving 120 pre-service teachers. The results showed that a considerable proportion of students use AI tools superficially, mainly to obtain ready-made answers, which leads to a decline in independent thinking and critical analysis skills; the study also revealed that teachers' methodological readiness to guide the appropriate use of AI tools remains insufficient. To address these problems, a stage-by-stage methodology was proposed, including an AI-literacy module, rules for critical use, and control-and-assessment criteria. Piloting the proposed methodology demonstrated a significant improvement in the quality of students' independent learning activity and their self-monitoring indicators. In conclusion, the methodologically grounded implementation of AI technologies in the independent learning process contributes to enhancing the professional competence of future teachers.

Keywords: artificial intelligence, independent learning activity, pre-service teachers, teaching methodology, digital competence.

KIRISH

Zamonaviy ta'lim tizimida sun'iy intellekt (SI) texnologiyalarining jadal rivojlanishi bo'lajak pedagoglarning mustaqil ta'lim faoliyatini tashkil etish shakllari va usullariga tubdan yangi yondashuvlarni taqozo etmoqda. ChatGPT, Claude, Gemini kabi generativ SI vositalarining ommalashuvi talabalarga axborot izlash, matn tahlil qilish, o'quv topshiriqlarini bajarish jarayonini sezilarli darajada tezlashtirish imkonini bermoqda. Biroq bu imkoniyatlar bilan bir qatorda jiddiy pedagogik xavflar ham yuzaga kelmoqda: talabalarining tanqidiy fikrlash qobiliyati susayishi, SI natijalariga tanqidsiz ishonish, akademik halollik masalalari va mustaqil bilim olish ko'nikmalarining shakllanmasligi kabi muammolar kun sayin dolzarblashib bormoqda.

O'zbekiston Respublikasida raqamli ta'limni rivojlantirish bo'yicha qabul qilingan me'yoriy-huquqiy hujjatlar oliy ta'lim muassasalarida zamonaviy axborot texnologiyalarini, jumladan SI vositalarini o'quv jarayoniga joriy etishni ustuvor vazifa sifatida belgilamoqda. Shu bilan birga, amaliyotda bo'lajak pedagoglarning SI texnologiyalaridan mustaqil ta'lim faoliyatida qanday foydalanayotgani, bu boradagi metodik ta'minot qay darajada mavjudligi to'liq o'rganilmagan.

Mazkur tadqiqotning maqsadi — bo'lajak pedagoglarning mustaqil ta'lim faoliyatiga SI texnologiyalarini joriy etish jarayonida yuzaga keladigan asosiy muammolarni aniqlash va ularni bartaraf etishga qaratilgan metodik yechimlarni ishlab chiqish hamda ularning samaradorligini tajriba-sinov orqali asoslashdan iborat.

MATERIALLAR VA USULLAR

Tadqiqot 2025-2026 o'quv yilida pedagogika yo'nalishlarida ta'lim olayotgan 120 nafar bakalavriat bosqichi talabalari (bo'lajak pedagoglar) ishtirokida olib borildi. Tadqiqot uch bosqichda tashkil etildi: aniqlovchi bosqichda so'rovnoma va kuzatuv usullari orqali talabalarning SI vositalaridan mustaqil ta'lim faoliyatida foydalanish holati o'rganildi; shakllantiruvchi bosqichda taklif etilgan metodika (SI-savodxonlik moduli, mustaqil ish topshiriqlarini SI yordamida bajarish bo'yicha yo'riqnomalar, tanqidiy baholash mezonlari) tajriba guruhida joriy etildi; nazorat bosqichida nazorat va tajriba guruhlar natijalari qiyosiy tahlil qilindi.

Ishtirokchilar tasodifiy tanlov asosida ikki guruhga bo'lindi: nazorat guruhi ($n=60$) an'anaviy tartibda mustaqil ta'lim faoliyatini davom ettirdi, tajriba guruhi ($n=60$) esa taklif etilgan metodika asosida ishladi. Ma'lumotlarni yig'ish uchun 25 ta savoldan iborat so'rovnoma, mustaqil ish sifatini baholash uchun ekspert baholash varaqasi va talabalarning tanqidiy fikrlash darajasini o'lchash uchun test topshiriqlari qo'llanildi. Natijalarning statistik ishonchliligini aniqlash uchun Styudent t-mezoni qo'llanildi:

$$t = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) / \sqrt{(S_1^2/n_1 + S_2^2/n_2)}$$

bunda $\bar{X}_1, \bar{X}_2$ — guruhlar o'rtacha ko'rsatkichlari, S_1^2, S_2^2 — dispersiyalar, n_1, n_2 — guruh hajmlari.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Aniqlovchi bosqich natijalari shuni ko'rsatdiki, so'rovnomada ishtirok etgan talabalarning 78 foizi mustaqil ta'lim faoliyatida SI vositalaridan muntazam foydalanadi, biroq ularning atigi 22 foizigina olingan natijalarni tanqidiy tahlil qiladi va tekshiradi. Talabalarning 64 foizi SI tomonidan berilgan javoblarni o'zgartirmasdan topshiriq sifatida taqdim etish holatlarini tan oldi. Bu holat mustaqil ta'lim faoliyatining asosiy maqsadi — mustaqil fikrlash va bilim olish ko'nikmalarini shakllantirishga ziddir.

O'qituvchilar orasida o'tkazilgan so'rovnoma natijalariga ko'ra, respondentlarning 71 foizi SI vositalarini mustaqil ish topshiriqlarini loyihalashda qanday hisobga olish kerakligi bo'yicha metodik tayyorgarlikning yetishmasligini qayd etdi. Bu esa o'qituvchilarni SI-pedagogika sohasida qayta tayyorlashning zarurligini ko'rsatadi.

Shakllantiruvchi bosqichda tajriba guruhiga quyidagi uch komponentli metodika joriy etildi: 1) SI-savodxonlik moduli — SI vositalarining ishlash tamoyillari, imkoniyatlari va cheklovlari bilan tanishtirish; 2) tanqidiy foydalanish qoidalari — SI javoblarini boshqa manbalar bilan solishtirish, faktlarni tekshirish, iqtibos ko'rsatish talablari; 3) nazorat-baholash mezonlari — mustaqil ishlarda SI yordamida bajarilgan va mustaqil bajarilgan qismlarni ajratib baholash tizimi.

Nazorat bosqichi natijalari 1-jadvalda keltirilgan. Tajriba guruhida mustaqil ta'lim faoliyati sifati bo'yicha o'rtacha ko'rsatkich 3,2 balldan 4,4 ballgacha (5 ballik shkala bo'yicha) oshgan bo'lsa, nazorat guruhida bu ko'rsatkich 3,3 balldan 3,6 ballgacha o'zgargan. Statistik tahlil natijalari guruhlar o'rtasidagi farqning ishonchli ekanligini tasdiqladi ($p<0,05$).

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, SI texnologiyalarini mustaqil ta'lim faoliyatiga tizimli va metodik asoslangan holda joriy etish talabalarning nafaqat topshiriqlarni bajarish tezligini, balki tanqidiy fikrlash va o'z-o'zini nazorat qilish ko'nikmalarini ham oshiradi. Bu natija SI vositalarining o'zi emas, balki ulardan foydalanishning metodik jihatdan to'g'ri tashkil etilishi hal qiluvchi ahamiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi.

XULOSA

O'tkazilgan tadqiqot natijalari bo'lajak pedagoglarning mustaqil ta'lim faoliyatiga SI texnologiyalarini joriy etishda bir qator muammolar — tanqidiy fikrlashning pasayishi, SI natijalariga tanqidsiz ishonish, akademik halollik va o'qituvchilarning metodik tayyorgarligi yetishmasligi kabi holatlar mavjudligini tasdiqladi. Ushbu muammolarni bartaraf etish uchun ishlab

chiqilgan uch komponentli metodika (SI-savodxonlik moduli, tanqidiy foydalanish qoidalari, nazorat-baholash mezonlari) tajriba-sinov natijalarida o'z samaradorligini ko'rsatdi.

Kelgusida ushbu metodikani turli ta'lim bosqichlari va yo'nalishlari kontekstida kengroq sinovdan o'tkazish, shuningdek o'qituvchilar uchun SI-pedagogika bo'yicha maxsus malaka oshirish dasturlarini ishlab chiqish tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Karimov, N.R. Raqamli ta'lim texnologiyalari. — Toshkent: O'qituvchi, 2024. — 216 b.
- [2] Azizov, S.A. Bo'lajak pedagoglarning mustaqil ta'lim faoliyatini tashkil etish // Pedagogika va psixologiya. — 2023. — Jild. 5, № 2. — B. 45-52.
- [3] Rasulova, D.M. Sun'iy intellekt asosida ta'lim jarayonini takomillashtirish // Uzluksiz ta'lim. — 2025. — Jild. 3, № 1. — B. 88-96.
- [4] Yusupov, B.T. Oliy ta'limda mustaqil ish: nazariya va amaliyot. — Samarqand: SamDU nashriyoti, 2022. — 184 b.
- [5] Nazarova, G.I. Generativ sun'iy intellekt va akademik halollik muammolari // Ta'lim va innovatsiyalar. — 2024. — Jild. 7, № 4. — B. 12-21.

НЕОБХОДИМОСТЬ И ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБУЧЕНИИ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ

Юсупов Дилмурод Абдурашидович¹, Абдусаматов Абдулатиф Абдурашид угли²,
Алиева Турсиной Шавкат кизи³

¹Namangan state pedagogical institute, 316 Uychi Namangan, Uzbekistan

²magistr, Namangan state technical university, 12 I.Karimov Street, Yangi Namangan District, Uzbekistan

³magistr, Namangan state university, 161 Boburshox Street, Namangan, Uzbekistan

e-mail: dilmurod.yusupov.2020@inbox.ru

Аннотация. Ushbu maqolada yadroviy jarayonlarni o'rganishda kompyuter texnologiyalari va dasturiy ta'minotdan foydalanish orqali samarali natijalarga erishish imkoniyatlari ko'rsatib o'tilgan. Shuningdek, unda zamonaviy yadro texnologiyalari yutuqlarini ko'rgazmali vositalar bilan uyg'unlashtirgan holda yadro fizikasi mavzularini o'rganish talabalarida zamonaviy dunyoqarashning shakllanishiga xizmat qilishi ta'kidlanadi.

Калит so'zlar: yadroviy jarayonlar, bo'linish, neytronlar, radionuklidlar xavfi, atrof-muhit barqarorligi.

Аннотация. В данной работе показано возможности достижения к эффективным результатам с помощью компьютерной технологии и программ при изучение ядерных процессов. Также обосновано изучение тем ядерной физики при сочетании успехами современной ядерной технологии и наглядными средствами способствует формированию современное мировоззрения студентов.

Ключевые слова: ядерные процессы, деление, нейтроны, радионуклидная опасность, экологическая стабильность.

Annotation. This paper shows the possibility of achieving effective results using computer technology and programs in the study of nuclear processes. Also substantiated is the study of the topics of nuclear physics, combined with the success of modern nuclear technology and visual means, contributes to the formation of the modern worldview of students.

Key words: nuclear processes, fission, neutrons, radionuclide hazard, environmental stability.

В современных условиях социально-экономического развития нашего общества очень важное значение имеет уровень знаний населения, уровень развития образовательной и научной инфраструктуры. В этом смысле становится необходимым обогащение достижениями науки и практики при выборе и обучении таких тем, как ядерная энергетика, ядерные реакции и радиационная безопасность, которые играют важную роль в энергетических отраслях, являющихся важными факторами развития общества. В этом смысле в при и обучении таких тем, как ядерная энергетика, ядерные реакции и радиационная безопасность, которые играют важную роль в энергетических отраслях, являющихся важными факторами общества, необходимым становится обогащать их содержание с новыми достижениями науки и практических применений, т.е. при совершенствовании учебных предметов по ядерной физике как отметил Ю.М. Горвиц, “Важно учить тому, что происходит, а не тому, что у вас есть в обучении”, следует учесть успехи научных жостижений [1].

Актуальность темы.

В настоящее время учебников и методической литературы по физике атомного ядра показывает, что некоторые предметные материалы, предлагаемые в данной области, не могут быть признаны достаточными для того, чтобы обучающиеся получили обновленные базовые знания. Недостаточное количество часов, отведенных на ядерную физику, недостаточное обогащение отдельных устаревших частей информации современными методами, изложение учебного материала в отрывочных фактах, а самое главное, отсутствие демонстрационных пособий, лабораторных работ и физических практик на практике приводят к тому, что знания и навыки студентов не формируются на должном уровне [2]. Мы видим, что в такой ситуации в образовании несколько отстают такие вопросы, как будущее развития атомной энергетике, связанные с развитием общества, типы ядерных реакций, радиоактивность и новые поколения АЭС, возможность научной оценки уровня безопасности и формирования адекватного отношения к ней.

Однако и сейчас содержание изучаемых учебных предметов значительно отстает в отражении содержания принципа работы современных устройств, действующих в реальной жизни. Отсутствие информации о новом поколении АЭС, особенно в преподавании ядерной физики, не может дать современного представления о них. Устранение этого разрыва путем совершенствования методики преподавания ядерной физики с использованием компьютерных технологий на основе инновационных технологий является актуальной проблемой сегодняшнего дня.

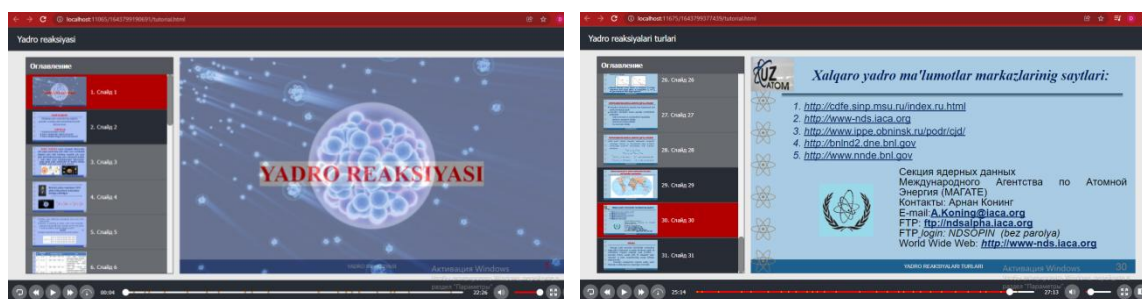
Основная часть. Ресурсы учебных информационных технологий предоставляют широкие возможности для моделирования и анимационного изображения изучаемых процессов, развития у учащихся мыслительных способностей образным путем, демонстративного представления учебной информации, проведения лабораторных работ в условиях компьютерных экспериментов и, самое главное, стимулирования интереса к обучению путем имитационного отображения реальной ситуации на мониторе [3]. Для совершенствования методики преподавания ядерной физики с использованием таких теорий необходимо изначально добиться того, чтобы содержание материала учебных предметов соответствовало достижениям современной науки и техники, обеспечить связь теории и практики путем указания основных областей практического применения теоретических знаний при выборе содержания преподавания ядерной физики, учитывать экологические составляющие физического образования и учитывать их при восприятии физической сущности каждого понятия, т. е. физического явления, физической величины, модели, , необходимо обеспечить соответствие фундаментальным законам и научность таких понятий, как энергия связи, радиоактивность, ионизирующие лучи.

Структуру блоков содержания логически связанного учебного материала по ядерной физике можно выбрать следующим образом. Атомное ядро – ядерные превращения –

ядерная энергетика-воздействие ионизирующих лучей на живой организм. Теория атомного ядра предполагает, что при представлении свойств ядра, включающего две взаимосвязанные части - структуру ядра и реакции деления ядра, возникает необходимость использования ядерных моделей. При этом демонстративное использование необходимой модели для понимания того или иного процесса с использованием моделей, представляющих свойства ядра, и демонстрация пределов и возможностей применения каждой модели непосредственно с помощью компьютерных программ позволяет расширить не обновляемые данные о свойствах и структуре ядра и получить информацию о том, что универсальная модель ядра не создана.

Следует сказать, что в то время как изучение данных таким традиционным способом занимает много времени, использование ИКТ, помимо экономии времени, облегчает восприятие сущности с помощью образного воображения. Также одним из важных вопросов ядерной физики является представление процесса ядерного деления как источника энергии. Понимание процесса возрастания нейтронов и ядерных реакций посредством демонстрации вариантов вероятностей развития или угасания также формирует более полное представление о сущности управления ядерными реакциями путем создания математических моделей процессов самовосстановления ядерных реакций деления в совокупности. Еще один из центральных вопросов заключается в формировании адекватного представления о ядерной энергетике и безопасности путем демонстративного обучения реальной картине физических основ ядерной энергетике и опасности радионуклидов [4].

На пути к этому новые ядерно-энергетические устройства, созданные с использованием достижений нанотехнологий, и современные компьютерные программы, доступные в различных формах, которые помогают в обучении с учетом научных результатов: Разработаны электронные программы от “TechSmith Camtasia”, “MXSAFlash”, “ActivePresenter”, “EasyQuizzy” va “AutoPlay MediaStudio”, а также разработанные нами на рисунки-1, такие как “Ядерные реакции”, “Атомная энергетика”, “Современные атомные реакторы и механизмы их работы”



Фигура 1. Электронный учебник в области физики ядра и элементарных частиц "Ядерные реакции" (DGU 20214206).

Эти электронные программы создавались с использованием языка программирования “ActionScript”, “JavaScript”, “C#” с широким использованием возможностей современной и включались в методику преподавания ядерной физики.

С целью определения уровня эффективности результатов обучения ядерной физике путем совершенствования традиционных методов обучения с помощью созданных электронных учебников, виртуальных лабораторий, видеороликов и презентаций и формирования представления о физических законах, лежащих в основе современного технического прогресса в этой области, первоначально были определены условия, цели, задачи проведения педагогического эксперимента, в котором были учтены недостатки, выявленные в ходе многолетнего обучения ядерной физике.

Результаты общепедагогических экспериментов показали, что разработанная методика преподавания ядерной физики оказалась более эффективной при изучении ядерной

физики, а качество обучения возросло на 38%. В качестве критерия результативности обучения были определены такие состояния, как логичность, системность, умение четко обосновывать ответы, осознанность, основательность знаний.

Вместо **заключения** можно отметить, что установлено, что обогащение учебного материала по ядерной физике достижениями научно-технического развития и их демонстративное преподавание ведут к повышению уровня знаний учащихся и активизации учебного процесса.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

[1] К.Г.Митрофанов, О.В.Зайцева, Применение инновационных компьютерных технологий в сфере образования: основные аспекты и тенденции. Вестник, 2009, Выпуск 10(88)с.64-68.

[2] Новые педагогические и информационные технологии в системе образования: Учебное пособие/ Е.С.Полат, М.Ю.Бухаркина, М.В. Моисеева: А.Е. Петров; под ред. Е.С. Полат. – М.: Издательский центр «Академия», 1999-2005.

[3] Qo'chqarov X.O., Yusupov D.A Fundamental fanlarni o'qitish samaradorligini oshirishning dolzarb muammolari va yechimlari : Academic Research in Educational Sciences. Volume 2. Uzbekistan 2021. DOI: 10.24412/2181-1385-2021-11-448-455.p.448-455.

[4] Mamatkarimov O.O., Qo'chqarov X.O., Yusupov D.A., Adashaliev A.U. Radionuklidlar va ekologiya. NamDU ilmiy axborotnomasi. Namangan 2020 yil. №2. 47-51 betlar.

THE ROLE OF MATHEMATICAL MODELING IN SOLVING MODERN SCIENTIFIC AND PRACTICAL PROBLEMS

Yusupova Nafisa Khursanalievna

Fergana State Technic University

Abstract. *Mathematical modeling is one of the important methods used in exact sciences to study complex scientific and practical problems. It allows researchers to represent real-world processes through mathematical equations, functions, algorithms, and statistical methods. The application of mathematical models makes it possible to analyze large amounts of information, predict future processes, and identify effective solutions to various problems. This thesis discusses the role of mathematical modeling in mathematics, physics, economics, engineering, and other scientific fields. Particular attention is paid to the advantages of mathematical models, including accuracy, predictability, and the possibility of computer-based analysis. The study demonstrates that the development of mathematical modeling contributes significantly to scientific research and the practical application of exact sciences.*

Keywords: *mathematical modeling, exact sciences, mathematics, algorithms, mathematical methods, prediction, scientific research.*

Аннотация. *Математическое моделирование является одним из важных методов, используемых в точных науках для изучения сложных научных и практических задач. Оно позволяет представить реальные процессы с помощью математических уравнений, функций, алгоритмов и статистических методов. Применение математических моделей дает возможность анализировать большие объемы информации, прогнозировать развитие процессов и находить эффективные решения различных задач. В данной работе рассматривается роль математического моделирования в математике, физике, экономике, инженерии и других научных областях. Особое внимание уделяется преимуществам математических моделей, включая точность, возможность прогнозирования и компьютерного анализа.*

Ключевые слова: *математическое моделирование, точные науки, математика, алгоритмы, математические методы, прогнозирование, научные исследования.*

Annotatsiya. Matematik modellashirish aniq fanlarda murakkab ilmiy va amaliy masalalarni o'rganishda qo'llaniladigan muhim usullardan biridir. U real hayotdagi jarayonlarni matematik tenglamalar, funksiyalar, algoritmlar va statistik usullar orqali ifodalash imkonini beradi. Matematik modellar yordamida katta hajmdagi ma'lumotlarni tahlil qilish, jarayonlarning kelajakdagi rivojlanishini bashorat qilish va turli muammolarga samarali yechimlar topish mumkin. Mazkur tezisda matematik modellashirishning matematika, fizika, iqtisodiyot, muhandislik va boshqa ilmiy sohalaridagi ahamiyati ko'rib chiqiladi. Shuningdek, matematik modellashirishning aniqlik, bashorat qilish va kompyuter yordamida tahlil qilish imkoniyatlari kabi afzalliklari yoritiladi.

Kalit so'zlar: matematik modellashirish, aniq fanlar, matematika, algoritmlar, matematik usullar, bashorat qilish, ilmiy tadqiqot.

INTRODUCTION

Exact sciences play an essential role in the development of modern science and technology. Mathematics, physics, statistics, computer science, and related disciplines provide methods for understanding and describing various processes in nature and society. One of the most effective methods in these fields is mathematical modeling.

Mathematical modeling is the process of creating a mathematical representation of a real or theoretical system. Such a model can include equations, functions, variables, probability distributions, graphs, or computational algorithms. By changing the parameters of a model, researchers can investigate how a system behaves under different conditions.

The development of computer technologies has significantly expanded the possibilities of mathematical modeling. Modern computers allow researchers to process large datasets, perform complex calculations, and simulate processes that would be difficult or impossible to investigate using traditional analytical methods alone.

MAIN PART

Mathematical models are widely used in different areas of exact sciences. In mathematics, models can be applied to investigate dynamic systems, optimization problems, probability processes, and numerical methods. In physics, mathematical equations are used to describe motion, energy, electromagnetic processes, and many other phenomena.

One of the important advantages of mathematical modeling is the possibility of **prediction**. For example, mathematical models can be used to analyze the development of a system over time. If the main variables and relationships are known, a researcher can use the model to estimate possible future states of the system.

Another important advantage is **optimization**. Many practical problems require finding the most effective solution among several possible alternatives. Optimization models can help determine the appropriate allocation of limited resources, minimize costs, or maximize efficiency.

Mathematical modeling is also closely connected with computer science. Numerical algorithms and programming languages make it possible to transform theoretical mathematical models into computational models. As a result, researchers can perform simulations and analyze complex systems more efficiently.

In economics, mathematical models are used to study relationships between economic variables, analyze markets, and support quantitative decision-making. In engineering, models help researchers design systems, test different parameters, and evaluate the behavior of technical structures before they are constructed.

An important stage in mathematical modeling is **validation**. A mathematical model should be compared with real or experimental data to determine whether it adequately represents the

studied phenomenon. A model may be mathematically correct but still have limited practical value if its assumptions do not correspond sufficiently to reality.

Therefore, the quality of a mathematical model depends not only on the mathematical methods used but also on the accuracy of the initial data, the assumptions, and the interpretation of the obtained results.

CONCLUSION

Mathematical modeling is an important instrument of exact sciences and modern scientific research. It provides researchers with opportunities to describe complex processes, analyze data, make predictions, and find optimized solutions. Its application extends from mathematics and physics to economics, engineering, computer science, and other fields.

The combination of mathematical methods with modern computer technologies makes modeling increasingly powerful and accessible. At the same time, researchers should carefully evaluate the assumptions and limitations of each model and compare theoretical results with empirical data.

In conclusion, the development and effective application of mathematical modeling contribute to the advancement of exact sciences and provide practical tools for solving contemporary scientific and technological problems.

REFERENCES:

- [1] Burden, R. L., & Faires, J. D. *Numerical Analysis*. Cengage Learning.
- [2] Giordano, F. R., Fox, W. P., & Horton, S. B. *A First Course in Mathematical Modeling*. Brooks/Cole.
- [3] Chapra, S. C., & Canale, R. P. *Numerical Methods for Engineers*. McGraw-Hill.
- [4] Edwards, C. H., & Penney, D. E. *Differential Equations and Boundary Value Problems*. Pearson.
- [5] Meyer, W. J. *Concepts of Mathematical Modeling*. McGraw-Hill.

TARKIBIDA BUTUN VA KASR QISMI QATNASHGAN TENGLAMA VA TENGSIKLIK

Axmadjonova O.S.

Farg'ona davlat texnika universiteti

Annotatsiya. Ushbu maqolada haqiqiy sonning butun va kasr qismi tushunchalari, ularning asosiy xossalari hamda $y=[x]$ va $y=\{x\}$ funksiyalarining grafik xususiyatlari atroflicha yoritilgan. Shuningdek, tarkibida butun va kasr qism qatnashgan tenglama va tengsizliklarni yechish usullari nazariy hamda amaliy misollar vositasida tahlil qilingan. Maqola davomida turli ko'rinishdagi tenglamalarni yechishda sonning butun va kasr qismi xossalariidan unumli foydalanish tartibi ko'rsatib berilgan.

Аннотация. В данной статье подробно рассматриваются понятия целой и дробной части действительного числа, их основные свойства, а также графические особенности функций $y=[x]$ и $y=\{x\}$. На теоретических и практических примерах проанализированы методы решения уравнений и неравенств, содержащих целую и дробную части числа. В ходе работы продемонстрирован порядок эффективного применения свойств целой и дробной части при решении различных типов уравнений.

Abstract. This article comprehensively explores the concepts of the floor (integer part) and fractional part of a real number, their fundamental properties, and the graphical characteristics of the functions $y=[x]$ and $y=\{x\}$. Methods for solving equations and inequalities involving integer and fractional parts are analyzed through theoretical foundations and practical examples.

Throughout the paper, the systematic application of integer and fractional part properties in solving various types of equations is demonstrated.

Kalit so'zlar: haqiqiy son, eng katta butun son, butun qism, kasr qism, davriy funksiya, zinasimon grafik, tenglama, tengsizlik, qoldiqli bo'lish.

Ключевые слова: действительное число, наибольшее целое число, целая часть, дробная часть, периодическая функция, ступенчатый график, уравнение, неравенство, деление с остатком.

Keywords: real number, greatest integer, integer part, fractional part, periodic function, step graph, equation, inequality, division with remainder.

1) Sonning butun va kasr qismi xossalari. Qoldiqli bo'lish formulasi berilgan bo'lsin: $a = bq + r$, $0 \leq r < b$. Ushbu formulaning har ikkala tomonini q ga bo'lamiz: $\frac{a}{q} = b + \frac{r}{q}$. Bu

yerda b soni a/q kasr sonidan kichik bo'lgan eng katta butun son ekanligi ma'lum. Demak, a/q sonning butun qismi sifatida berilgan son a sonning o'zi olinadi.

Ta'rif. x haqiqiy sonning butun qismi deb, x sonidan katta bo'lmagan eng katta songa aytiladi va u $[x]$ -(entere -butun qism) yoki $E(x)$ kabi belgilanadi.

Masalan, $[3,7]=3$; $[-2,4]=-3$; $[0,5]=0$; $[-120]=-120$; $[-\sqrt{3}]=-2$; yoki

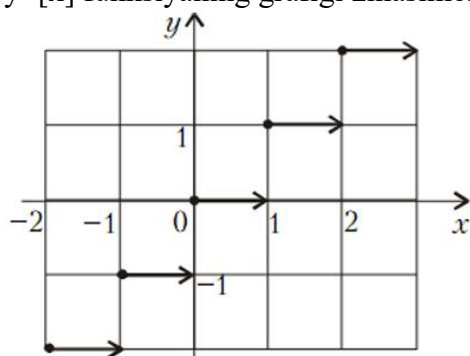
$$4, \cos \alpha = 1$$

$$[3 + \cos \alpha] = 3, 0 < \cos \alpha < 1$$

$$2, \cos \alpha < 0.$$

Yuqoridagi ta'rifdan $[x] \leq x$ va $x < [x] + 1$ ya'ni $[x] \leq x < [x] + 1$ ekanligi kelib chiqadi.

$y=[x]$ funksiyaning grafigi zinasimon ko'rinishga ega (1-rasm)



1-rasm.

Ta'rif. x haqiqiy sonning kasr qismi deb, noldan kichik bo'lmagan va birdan kichik x sonning qismiga aytiladi va u $\{x\}$ kabi belgilanadi.

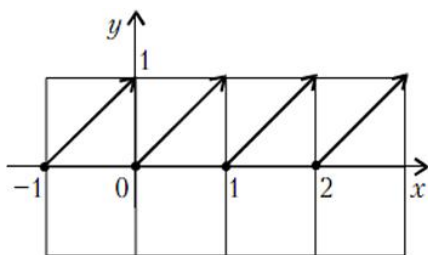
Ta'rifdan $0 \leq \{x\} < 1$ va $\{x\} = \frac{r}{q}$, ($q \in \mathbb{N}, r \in \mathbb{Z}$). Demak, $x-[x]$ ayirma haqiqiy sonning kasr qismi deyiladi. Bundan ayonki, $\{x\} = x - [x]$, $x = [x] + \{x\}$.

Masalan, $\{2,5\}=0,5$; $\{-4,65\}=0,65$; $\{7\}=0$; $\{\frac{19}{5}\}=\frac{4}{5}$.

Sonning kasr qismi quyidagi xossalarga ega:

- 1) $\{x\}=x$ tenglik $0 \leq x < 1$ bo'lgandagina bajariladi;
- 2) $\{x\}=\{y\}$ tenglik $x-y=n$ (bu yerda n -butun son) bo'lgandagina bajariladi;
- 3) Ixtiyoriy x uchun $\{x+1\}=\{x\}$ bo'ladi.

Shunday qilib, $y=\{x\}$ funksiya eng kichik davri 1 ga teng bo'lgan davriy funksiya. Uning grafigi 2-rasmga keltirilgan.



2-rasm.

Sonning butun va kasr qismi quyidagi xossalarga ega:

1. Agar $x, y \in \mathbb{Z}$ bo'lsa, $[x+y] = [x] + [y]$.

2. Agar $x, y \in \mathbb{R}$ bo'lsa, $[x+y] \geq [x] + [y]$ va $\{x\} + \{y\} \leq \{x+y\}$.

3. Agar $x \in \mathbb{Z}, y \in \mathbb{R}$ bo'lsa, $[x+y] = x + [y]$.

Isboti: $x = [x] + \{x\}$, $0 \leq \{x\} < 1$. Bundan $[x+y] = [y + [x] + \{x\}] = [y] + [x]$.

4. $[x+y] = \begin{cases} [x] + [y], & \text{agar } \{x\} + \{y\} < 1 \\ [x] + [y] + 1, & \text{agar } \{x\} + \{y\} \geq 1. \end{cases}$

5. $\{x+y\} = \begin{cases} \{x\} + \{y\}, & \text{agar } \{x\} + \{y\} < 1 \\ \{x\} + \{y\} - 1, & \text{agar } \{x\} + \{y\} \geq 1. \end{cases}$

6. $[x+y] = [x] + [y] = [\{x\} + \{y\}]$.

7. $\{x+y\} = \{x\} + \{y\} - [\{x\} + \{y\}]$.

8. Agar $n \in \mathbb{N}, a \in \mathbb{R}$ bo'lsa, $[na] = n[a]$.

Isboti: $a = [a] + \{a\}$, $na = n[a] + n\{a\}$, $[na] = [n[a] + n\{a\}]$, $\{na\} = 0$ bo'lgani uchun $[na] = [n[a]] = n[a]$.

9. Agar $[a] = [b]$ bo'lsa, $-1 < a - b < 1$.

Isboti. $a = [a] + \{a\}$, $b = [b] + \{b\}$ bo'lsa, $a - b = [a] - [b] + \{a\} - \{b\}$. Bu yerda $\begin{matrix} 0 \leq \{a\} < 1 \\ 0 \leq \{b\} < 1 \end{matrix}$ bo'lgani uchun -

$-1 < \{a\} - \{b\} < 1$, demak, $-1 < a - b < 1$.

10. Agar $[a] = [b]$ bo'lsa, $[a-b] = 0$.

11. Agar $[a] = n$ bo'lsa, $n \leq a < n + 1$.

12. Agar $a \in \mathbb{Z}$ bo'lsa, $[a] = a$.

2) Tarkibida butun va kasr qism qatnashgan tenglamalar.

a) $f(x) = a$, $a \in \mathbb{Z}$ ko'rinishidagi tenglamalar. Ushbu ko'rinishdagi tenglamalar. Ushbu ko'rinishdagi tenglamani yechish uchun sonning butun qismi xossalariidan foydalanamiz. Unga ko'ra $a \leq [f(x)] < a + 1$. Agar $a \in \mathbb{Z}$ bo'lsa tenglama ildizga ega emas.

b) $f(x) = u(x)$ ko'rinishidagi tenglama. Sonning butun qismi xossalariidan foydalanamiz. Unga ko'ra $-1 < f(x) - u(x) < 1$.

c) $f(x) + a = b$, $a \in \mathbb{Z}$, $b \in \mathbb{R}$ ko'rinishida tenglama. Sonning butun qismi xossalariidan foydalanamiz. Unga ko'ra $[f(x)] + a = b$.

1-misol. Qaysi biri katta: $[a]$ va $\{a\}$.

Yechish: agar $a \geq 1$ bo'lsa, $[a] > \{a\}$. Agar $a < 1$ bo'lsa $\{a\} > [a]$.

2-misol. $[x] + [2x] = 2$ tenglamani yeching.

Yechish: a) $0 \leq x < 1$ bo'lsa $[x] = 0$. U holda berilgan tenglama

$[2x] = 2$, $2 \leq 2x < 3$, $1 \leq x < \frac{3}{2}$. Lekin bu $0 \leq x < 1$ shartni qanoatlantirmaydi.

3-misol. $[x]+[2x]+[3x]=3$ tenglamani yeching.

Yechish: uchta butun son $[x]$, $[2x]$, $[3x]$ larning yig'indisi 3 ga teng bo'lyabdi. Agar $[x]<0$ bo'lsa u holda $[2x]<0$ va $[3x]<0$ bo'ladi. Agar $[x] \geq 0$ bo'lsa, u holda $[x] \leq 2$, $[2x] \leq 4$, $[3x] \leq 6$.

Quyidagi hollarni ko'rib chiqamiz:

1) $[x]=0$, $[2x]=0$, $[3x]=3$, yani $0 \leq x < 1$, $0 \leq 2x < 1$, $3 \leq 3x < 4$. Natijada,

$0 \leq x < 1$, $0 \leq x < \frac{1}{2}$, $1 \leq x < \frac{4}{3}$, bu esa mumkin emas.

$$[x]=0 \quad 0 \leq 2x < 1, \quad 3 \leq 3x < 4.$$

2) $[x]=0$, $[2x]=1$, $[3x]=2$, u holda

$$\begin{array}{lll} 0 \leq x < 1, & 0 \leq x < 1, & \\ 1 \leq 2x < 2, & \frac{1}{2} \leq x < 1, & \frac{2}{3} \leq x < 1. \\ 2 \leq 3x < 3 & \frac{2}{3} \leq x < 1 & \end{array}$$

3) $[x]=1$, $[2x]=1$, $[3x]=1$, u holda

$$\begin{array}{lll} 1 \leq x < 2, & 1 \leq x < 2, & \\ 1 \leq 2x < 2, & \frac{1}{2} \leq x < 1, & x \leq 1. \\ 1 \leq 3x < 2 & \frac{1}{3} \leq x < \frac{2}{3} & \end{array}$$

Javob: $\frac{2}{3}; 1$.

4-misol. Tenglamani yeching: $[x]+[2x]+\dots+[nx]=1$, $n \geq 2$, $n \in \mathbb{N}$.

Yechish: Agar $x \leq 0$ bo'lsa, $2x \leq 0, \dots, nx \leq 0$ o'rinli bo'ladi. Agar $x > 0$ bo'lsa, $0 \leq [x] \leq [2x] \leq \dots \leq [nx]$. Ushbu shart inobatga olinsa, quyidagi munosabat o'rinli bo'ladi:

$$[x]=[2x]=\dots=(n-1)x=0$$

$$[nx]=1.$$

Bundan $0 \leq x < 1, 0 \leq 2x < 1, \dots, 0 \leq (n-1)x < 1$, $0 \leq x < \frac{1}{n-1}$,

$$1 \leq nx < 2, \quad \frac{1}{n} \leq x < \frac{2}{n}.$$

Masala shartiga ko'ra $n \geq 2$ bo'lgani uchun $\frac{1}{n} < \frac{1}{n-1} \leq \frac{2}{n}$, $\frac{1}{n} \leq x < \frac{1}{n-1}$.

Bundan javob $x = \frac{1}{n}; \frac{1}{n-1}$ ekanligi kelib chiqadi.

5-misol. $x^3 + x^2 + [x] = \{x\} - 1$ tenglamani yeching.

Yechish: Avval tenglikni soddalashtiring har ikkala tomon uchun fikrlab olamiz:
 $\{x\} = x^3 + x^2 + [x] + 1$, butun sonlar yig'indisi ham butun son bo'adi, demak $\{x\}$ -butun son,
 ya'ni $\{x\}=0$, $x^3 + x^2 + x + 1 = 0$, $x^2(x+1) + x + 1 = 0$,
 $(x+1)(x^2+1) = 0$; $x^2+1 > 0$, $x+1 = 0$, $x = -1$.

Javob: $x = -1$.

6-misol. $x^2 = [x]$ tenglamani yeching.

Yechish: Avval $x^2 \geq 0$ ni ko'rib chiqamiz. U holda $x^2 = [x]$ dan $[x] \geq 0$, yani $x \geq 0$ ekanligi kelib chiqadi. $x \in [0; 1]$ dagi x ning barcha qiymatlari tenglamani qanoatlantiradi.

Endi $(1; 2)$ intervalni qaraymiz. Buning uchun $x = [x] + \{x\}$ shart biz qarayotgan intervalda $x = 1 + \{x\}$ bo'ladi. Buni berilgan tenglamaga olib borib qo'yamiz:

$$(1 + \{x\})^2 = [1 + \{x\}], \quad 1 + 2\{x\} + \{x\}^2 = 1, \quad 1 + 2\{x\} + \{x\}^2 = 1, \quad 2\{x\} + \{x\}^2 = 0,$$

$$0 \leq 2\{x\} + \{x\}^2 < 1, \quad \{x\} > 0, \quad \langle \{x\} = y \rangle \begin{matrix} y^2 + 2y - 1 < 0, \\ x \in (1; 2) \end{matrix} \quad \{x\} \in (0; \sqrt{2} - 1).$$

Shunday qilib, $x \in (1; \sqrt{2})$, $x \geq 2$ da tenglama ildizga ega emas. Javob: $[0; \sqrt{2})$.

7-misol. $\frac{x}{2} = 1$ tenglamani yeching.

Yechish: Yuqorida qaralgan $f(x) = a$, $a \in \mathbb{Z}$ tenglama yechimidan foydalanamiz:

$$1 \leq \frac{x}{2} < 2; \quad 2 \leq \frac{x}{2} < 3, \quad \text{bu yerda ikki hol bo'lishi mumkin:}$$

$$1) \frac{x}{2} = 2, \quad 2 \leq \frac{x}{2} < 3, \quad 4 \leq x < 6; \quad 2) \frac{x}{2} = 3, \quad 3 \leq \frac{x}{2} < 4, \quad 6 \leq x < 8.$$

Javob: $[4; 8)$.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] М.А. Мирзаахмедов, Д. Сотиболдиев. Ўқувчиларни математик олимпиадаларга тайёрлаш. Тошкент, "Ўқитувчи" -1993 й.

[2] В. А. Садовничий, А. А. Григорян, С. В. Конягин. Задачи студенческих математических олимпиад. Москва, 1997.

[3] В.Абдурахмонов. Математик induksiya metodi. Toshkent, 2008 y.

[4] Е. А.Морозова, И. С.Петраков, В. А.Скворцов. Международные математические олимпиады. Москва, 1976.

[5] И. Н. Сергеева. Зарубежные математические олимпиады. Москва, "Наука" 2018.

BULUTLI TEXNOLOGIYALAR VA ULARNING TA'LIMDAGI AHAMIYATI

Madraximov Shuxratjon Shukurovich

Qo'qon DU, Qo'qon shahri

Annotatsiya. Ushbu maqolada bulutli texnologiyalar tushunchasi, ularning asosiy turlari hamda ta'lim jarayonida foydalanish imkoniyatlari yoritilgan. Hozirgi kunda ta'lim tizimida raqamli texnologiyalardan foydalanish tobora kengayib bormoqda. Bulutli xizmatlar o'qituvchi va talabalarga ma'lumotlarni internet orqali saqlash, ulardan turli qurilmalarda foydalanish, hujjatlar ustida hamkorlikda ishlash hamda masofaviy ta'limni tashkil etish imkonini beradi. Maqolada Google Drive, Google Classroom, Microsoft OneDrive, Microsoft Teams va boshqa bulutli xizmatlardan ta'limda foydalanishning afzalliklari ko'rib chiqilgan. Shuningdek, bulutli texnologiyalardan foydalanishda uchraydigan ayrim muammolar va ularni bartaraf etish yo'llari bayon etilgan.

Kalit so'zlar: bulutli texnologiyalar, ta'lim, axborot texnologiyalari, internet, masofaviy ta'lim, elektron ta'lim, Google Classroom, ma'lumotlarni saqlash.

Аннотация. В данной статье рассматриваются понятие облачных технологий, их основные виды и возможности использования в образовательном процессе. В настоящее время цифровые технологии всё шире применяются в системе образования. Облачные сервисы позволяют преподавателям и обучающимся хранить информацию в сети Интернет, получать к ней доступ с различных устройств, совместно работать над документами и организовывать дистанционное обучение. В статье рассмотрены преимущества использования в образовании таких облачных сервисов, как Google Drive, Google Classroom, Microsoft OneDrive и Microsoft Teams. Также приведены основные проблемы использования облачных технологий и возможные пути их решения.

Ключевые слова: облачные технологии, образование, информационные технологии, Интернет, дистанционное обучение, электронное обучение, Google Classroom, хранение данных.

Abstract. This article discusses the concept of cloud technologies, their main types and possibilities of using them in the educational process. Today, digital technologies are increasingly used in education. Cloud services allow teachers and students to store information on the Internet, access it from different devices, collaborate on documents and organize distance learning. The article considers the advantages of using cloud services such as Google Drive, Google Classroom, Microsoft OneDrive and Microsoft Teams in education. Some problems related to the use of cloud technologies and possible ways of solving them are also discussed.

Keywords: cloud technologies, education, information technology, Internet, distance learning, e-learning, Google Classroom, data storage.

KIRISH

Hozirgi davrda axborot-kommunikatsiya texnologiyalari jamiyatning deyarli barcha sohalariga kirib bormoqda. Ayniqsa, ta'lim tizimida zamonaviy axborot texnologiyalaridan foydalanish o'qitish jarayonini yanada qulay va samarali tashkil etish imkonini bermogda.

Avvallari elektron ma'lumotlarni saqlash uchun asosan kompyuterning qattiq diski, flesh-xotira yoki boshqa tashqi qurilmalardan foydalanilgan bo'lsa, hozirgi vaqtda ma'lumotlarni internet orqali saqlash imkonini beradigan bulutli texnologiyalar keng tarqalmoqda.

Bulutli texnologiyalarning asosiy afzalligi shundan iboratki, foydalanuvchi o'z ma'lumotlari va dasturlaridan faqat bitta kompyuterda emas, balki internet mavjud bo'lgan turli qurilmalar orqali foydalanishi mumkin.

Masalan, talaba universitetdagi kompyuterda yozishni boshlagan hujjatini bulutli xizmatga saqlab, keyinchalik uyidagi kompyuter yoki mobil telefoni orqali davom ettirishi mumkin. Shu

sababli bulutli texnologiyalardan ta'limda foydalanish o'qituvchi va talabalar uchun ko'plab qulayliklarni yaratadi.

Mazkur maqolaning maqsadi bulutli texnologiyalarning mohiyatini tushuntirish, ularning asosiy turlarini ko'rib chiqish hamda ta'lim jarayonidagi ahamiyatini yoritishdan iborat.

Bulutli texnologiya tushunchasi.

Bulutli texnologiyalar yoki "cloud computing" - internet orqali hisoblash resurslari, dasturlar, ma'lumotlarni saqlash joylari va boshqa xizmatlardan foydalanish imkonini beruvchi texnologiyalardir.

Bulutli hisoblash tushunchasining keng tarqalgan ta'riflaridan biri AQSh Milliy standartlar va texnologiyalar instituti - NIST tomonidan ishlab chiqilgan. Unga ko'ra, bulutli hisoblash foydalanuvchiga zarur hisoblash resurslaridan tarmoq orqali talab asosida foydalanish imkonini beruvchi model hisoblanadi [1].

Bunda foydalanuvchining barcha ma'lumotlari uning shaxsiy kompyuterida saqlanishi shart emas. Ma'lumotlar xizmat ko'rsatuvchi tashkilotning serverlarida joylashtiriladi va internet orqali ulardan foydalaniladi.

Oddiy misol sifatida elektron pochta keltirish mumkin. Foydalanuvchi elektron pochta xabarlarini o'z kompyuterining xotirasida saqlashi shart emas. Ular xizmat ko'rsatuvchining serverida saqlanadi va foydalanuvchi internetga ulangan istalgan qurilma orqali o'z pochtaiga kirishi mumkin.

Xuddi shunday usulda Google Drive, OneDrive va boshqa bulutli saqlash xizmatlari hujjat, rasm, video va boshqa fayllarni masofadagi serverlarda saqlash imkonini beradi.

Bulutli texnologiyalarning asosiy turlari.

Bulutli texnologiyalar xizmat ko'rsatish usuliga ko'ra bir necha turga bo'linadi.

SaaS - dasturiy ta'minot xizmat sifatida.

SaaS - "Software as a Service", ya'ni dasturiy ta'minotdan internet orqali xizmat sifatida foydalanish modelidir. Bunda foydalanuvchiga dasturni o'z kompyuteriga o'rnatish shart bo'lmaydi. U brauzer yoki maxsus mobil ilova orqali dasturdan foydalanishi mumkin. Masalan: Google Docs, Google Classroom, Gmail, Microsoft 365, Microsoft Teams. Ta'lim sohasida eng ko'p uchraydigan bulutli xizmatlar aynan ushbu turga kiradi.

PaaS - platforma xizmat sifatida.

PaaS - "Platform as a Service", ya'ni dasturlar yaratish va ularni ishga tushirish uchun tayyor platformadan foydalanish imkonini beradi. Ushbu xizmat turi asosan dasturchilar uchun qulay bo'lib, serverlarni alohida tashkil etmasdan dastur yaratish va sinovdan o'tkazish imkonini beradi. Informatika va dasturlash yo'nalishida tahsil olayotgan talabalar PaaS xizmatlari yordamida o'z dasturiy loyihalarini internet muhitida yaratish va sinashlari mumkin.

IaaS - infratuzilma xizmat sifatida.

IaaS - "Infrastructure as a Service", ya'ni server, ma'lumotlarni saqlash qurilmalari, tarmoq va boshqa texnik resurslardan internet orqali foydalanish modelidir. Ushbu turdagi bulutli xizmatlardan ko'proq tashkilotlar va yirik axborot tizimlari foydalanadi. Demak, bulutli texnologiyalarning turli ko'rinishlari oddiy elektron hujjat yaratishdan tortib yirik axborot tizimlarini ishga tushirishgacha bo'lgan imkoniyatlarni qamrab oladi.

Bulutli texnologiyalarning ta'limdagi ahamiyati.

Bulutli texnologiyalar ta'lim jarayonini tashkil etishda bir qator qulayliklarni yaratadi. Birinchi navbatda, ular o'quv materiallarini elektron shaklda saqlash va tarqatish imkonini beradi. O'qituvchi ma'ruza matni, taqdimot, video, topshiriq va boshqa materiallarni bulutli xizmatga

joylashtirishi mumkin. Talabalar esa ushbu materiallardan istalgan vaqtda foydalanish imkoniga ega bo'ladi.

Ikkinchidan, bulutli texnologiyalar masofaviy ta'limni tashkil qilishda muhim ahamiyatga ega. O'qituvchi va talaba bir joyda bo'lmasa ham, internet orqali topshiriqlarni yuborish, qabul qilish va tekshirish mumkin.

Uchinchidan, bulutli xizmatlar bir nechta foydalanuvchining bitta hujjat ustida bir vaqtning o'zida ishlashiga imkon beradi. Masalan, guruhdagi talabalar umumiy loyiha tayyorlayotganda Google Docs hujjatiga birgalikda ma'lumot kiritishi mumkin.

To'rtinchidan, ma'lumotlarga turli qurilmalardan kirish mumkin. Talaba kompyuterda boshlagan ishini planshet yoki mobil telefon orqali davom ettira oladi.

Beshinchidan, fayllarni alohida flesh-xotiralarda olib yurish zarurati kamayadi. Bu ma'lumotlarni yo'qotish xavfini ma'lum darajada kamaytiradi.

Ta'limda qo'llaniladigan bulutli xizmatlar.

Bugungi kunda ta'lim jarayonida turli bulutli xizmatlardan foydalaniladi. (1-jadval)

Bulutli xizmat	Asosiy vazifasi	Ta'limdagi qo'llanilishi
Google Drive	Fayllarni saqlash	Dars materiallari va topshiriqlarni saqlash
Google Docs	Elektron hujjatlar yaratish	Mustaqil ish, referat va guruh loyihalarini tayyorlash
Google Classroom	Ta'lim jarayonini boshqarish	Topshiriq berish, qabul qilish va baholash
Microsoft OneDrive	Fayllarni bulutda saqlash	O'quv materiallarini saqlash va almashish
Microsoft Teams	Aloqa va hamkorlik	Onlayn dars va guruh muhokamalarini o'tkazish
MoodleCloud	Elektron ta'lim	Masofaviy kurslarni tashkil etish

1-jadval. Ta'limda qo'llanilishi mumkin bo'lgan ayrim bulutli xizmatlar.

Masalan, o'qituvchi Google Classroom orqali talabalar uchun alohida elektron sinf yaratishi mumkin. Unda mavzular bo'yicha o'quv materiallari va topshiriqlar joylashtiriladi. Talabalar topshiriqni elektron shaklda bajarib, tizim orqali o'qituvchiga yuboradilar. Natijada qog'oz shaklidagi hujjatlar soni kamayadi va o'quv jarayonini elektron tarzda tashkil etish imkoniyati yaratiladi. Google Docs kabi xizmatlarning yana bir qulay tomoni shundaki, o'qituvchi talabaning ishini ko'rib chiqib, hujjatning o'zida izoh va tavsiyalar qoldirishi mumkin.

Bulutli texnologiyalarning afzalliklari.

Ta'limda bulutli texnologiyalardan foydalanishning asosiy afzalliklarini quyidagicha umumlashtirish mumkin.

Birinchidan, ma'lumotlardan istalgan joydan foydalanish imkoniyati mavjud. Internet va tegishli foydalanuvchi hisobi mavjud bo'lsa, kerakli fayllarni turli qurilmalardan ochish mumkin.

Ikkinchidan, ma'lumot almashish tezlashadi. Katta hajmdagi hujjatlarni alohida xotira qurilmalarida ko'chirish o'rniga, ularga havola yuborish mumkin.

Uchinchidan, jamoaviy ishlash imkoniyati mavjud. Bir nechta talaba bir loyiha yoki hujjat ustida birgalikda ishlashi mumkin.

To'rtinchidan, dasturlarni o'rnatishga bo'lgan ehtiyoj kamayadi. Ko'plab bulutli dasturlar veb-brauzer orqali ishlaydi.

Beshinchidan, o'quv jarayonini boshqarish osonlashadi. O'qituvchi topshiriqlarni tarqatish, qabul qilish va o'quvchilar bilan aloqa qilishni bitta elektron muhit orqali tashkil etishi mumkin.

Oltinchidan, bulutli xizmatlardan foydalanish raqamli ko'nikmalarni rivojlantiradi. Talabalar elektron hujjatlar yaratish, ma'lumot almashish va zamonaviy axborot tizimlari bilan ishlashni o'rganadilar.

Bulutli texnologiyalardan foydalanishdagi muammolar.

Bulutli texnologiyalar ko'plab afzalliklarga ega bo'lishiga qaramasdan, ulardan foydalanishda ayrim muammolar ham mavjud. Eng asosiy muammolardan biri - internetga bog'liqlik. Internet tezligi past yoki aloqa mavjud bo'lmagan holatda ayrim bulutli xizmatlardan to'liq foydalanish qiyinlashadi.

Yana bir muhim masala - axborot xavfsizligi. Foydalanuvchi o'z login va parolini boshqa shaxslarga bermasligi, murakkab parollardan foydalanishi hamda imkoniyat mavjud bo'lsa ikki bosqichli autentifikatsiyani yoqishi kerak. Bundan tashqari, ta'lim muassasalarida shaxsiy va xizmatga oid ma'lumotlarni bulutli tizimlarga joylashtirishda axborot xavfsizligi hamda shaxsiy ma'lumotlarni himoya qilish talablariga rioya qilish zarur. Yana bir muammo barcha o'qituvchi va talabalar raqamli xizmatlardan bir xil darajada foydalanish ko'nikmasiga ega emasligidir. Shuning uchun bulutli texnologiyalarni ta'lim jarayoniga joriy etish bilan birga, ulardan to'g'ri foydalanish bo'yicha o'quv mashg'ulotlarini ham tashkil etish maqsadga muvofiq.

An'anaviy va bulutli texnologiyalarni taqqoslash.

Bulutli texnologiyalarning ta'limdagi qulayligini an'anaviy usul bilan solishtirish orqali yanada aniq ko'rish mumkin. (2-jadval)

Ko'rsatkich	An'anaviy usul	Bulutli texnologiya
Ma'lumot saqlash	Kompyuter yoki flesh-xotirada	Internetdagi serverda
Ma'lumotga kirish	Asosan ma'lum qurilmada	Turli qurilmalarda
Hujjat almashish	Faylni ko'chirish orqali	Havola orqali
Hamkorlikda ishlash	Cheklangan	Bir vaqtda ishlash mumkin
Dastur o'rnatish	Ko'pincha zarur	Ko'p hollarda zarur emas
Masofaviy foydalanish	Cheklangan	Qulay

2-jadval. An'anaviy va bulutli texnologiyalarni taqqoslash

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, bulutli texnologiyalar ta'lim jarayonini joy va qurilmaga bog'liqligini kamaytirishga yordam beradi.

Bulutli texnologiyalardan samarali foydalanish bo'yicha takliflar.

Ta'lim muassasalarida bulutli texnologiyalardan samarali foydalanish uchun bir qator chora-tadbirlarni amalga oshirish maqsadga muvofiq. Birinchidan, o'qituvchi va talabalar uchun yagona elektron ta'lim muhitini yaratish lozim.

Ikkinchidan, o'quv materiallarini elektron shaklda saqlash va tizimli ravishda joylashtirish amaliyotini kengaytirish kerak.

Uchinchidan, professor-o'qituvchilar va talabalar uchun bulutli xizmatlardan foydalanish bo'yicha qisqa o'quv kurslari tashkil etilishi maqsadga muvofiq.

To'rtinchidan, foydalanilayotgan bulutli tizimlarda axborot xavfsizligi talablariga rioya qilish zarur.

Beshinchidan, barcha o'quv materiallarini faqat bitta xizmatga bog'lab qo'ymasdan, zarur ma'lumotlarning zaxira nusxalarini saqlash tavsiya etiladi.

Ushbu choralar bulutli texnologiyalarning imkoniyatlaridan samarali foydalanish bilan birga, yuzaga kelishi mumkin bo'lgan ayrim xavflarni kamaytirishga xizmat qiladi.

XULOSA.

Bulutli texnologiyalar zamonaviy axborot texnologiyalarining muhim yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Ular ma'lumotlarni internet orqali saqlash, qayta ishlash va ulardan masofadan foydalanish imkonini beradi. Ta'lim tizimida bulutli texnologiyalardan foydalanish o'quv materiallarini saqlash va tarqatish, masofaviy ta'limni tashkil etish, o'qituvchi va talabalar o'rtasidagi hamkorlikni yaxshilash hamda guruh bo'lib ishlash imkoniyatlarini kengaytiradi.

Google Drive, Google Classroom, Microsoft OneDrive, Microsoft Teams kabi xizmatlar o'quv jarayonini elektron shaklda tashkil etishda qo'l keladi. Shu bilan birga, internetga bog'liqlik, axborot xavfsizligi va foydalanuvchilarning raqamli ko'nikmalari bilan bog'liq masalalarga ham e'tibor qaratish lozim.

Xulosa qilib aytganda, bulutli texnologiyalardan to'g'ri va maqsadli foydalanish ta'lim jarayonini yanada qulay, tezkor va samarali tashkil etishga xizmat qiladi. Kelgusida ta'lim tizimining raqamlashtirilishi bilan bulutli xizmatlardan foydalanish ko'lami yanada kengayib borishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Mell P., Grance T. The NIST Definition of Cloud Computing. NIST Special Publication 800-145. National Institute of Standards and Technology, 2011.

[2] Mamatov D. N., Omonov B. S. Raqamli ta'lim muhitida bulutli texnologiyalardan foydalanish metodikasi. Toshkent: Nodirabegim, 2022.

[3] Begimkulov U. Sh., Fayziyev M. A. Ta'limni raqamlashtirish sharoitida bulutli xizmatlar va ularning amaliy tatbiqi. Toshkent: Fan va texnologiya, 2021.

[4] Aripov M. M., Tilabov B. A. Zamonaviy axborot texnologiyalari va bulutli hisoblashlar. Toshkent: Universitet, 2023. Google for Education.

[5] Google Workspace for Education: elektron ta'lim va hamkorlik xizmatlari.

[6] Microsoft Education. Microsoft 365 Education va Microsoft Teams ta'lim xizmatlari.

BITTA MATEMATIK STRUKTURA – TURLI JARAYONLAR: OLIY MATEMATIKANING AMALIY MODELLASHTIRISHDAGI UNIVERSALLIGI

Maxmudova Nasibaxon Abdujabborovna

Farg‘ona davlat texnika universiteti

e-mail: makhmudovanasiba1974@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada oliy matematikaning asosiy bo‘limlari – differensial tenglamalar, differensial va integral hisob hamda chiziqli algebra usullarining muhandislik, energetika, gidrotexnika va iqtisodiyotdagi amaliy masalalarni yechishdagi o‘rni tahlil qilingan. Jismning sovish jarayoni, elektr tebranish konturi, idish o‘lchamlarini optimallashtirish, to‘g‘onga ta’sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi va tarmoqlararo balans modeli misolida real jarayonning matematik modelini tuzish, uni analitik yechish va natijani talqin qilish bosqichlari ko‘rsatib berilgan. Olingan natijalar matematik modellashirish bo‘lajak mutaxassislarning kasbiy kompetensiyasini shakllantirishda muhim vosita ekanini tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: oliy matematika, matematik model, differensial tenglama, optimallashtirish, aniq integral, chiziqli algebra, tarmoqlararo balans.

Аннотация. В статье анализируется роль основных разделов высшей математики – дифференциальных уравнений, дифференциального и интегрального исчисления, а также линейной алгебры – в решении прикладных задач техники, энергетики, гидротехники и экономики. На примерах охлаждения тела, электрического колебательного контура, оптимизации размеров ёмкости, силы гидростатического давления на плотину и модели межотраслевого баланса показаны этапы построения математической модели реального процесса, её аналитического решения и интерпретации результата. Полученные результаты подтверждают, что математическое моделирование является важным средством формирования профессиональной компетентности будущих специалистов.

Ключевые слова: высшая математика, математическая модель, дифференциальное уравнение, оптимизация, определённый интеграл, линейная алгебра, межотраслевой баланс.

Abstract. The article analyzes the role of the main branches of higher mathematics – differential equations, differential and integral calculus, and linear algebra – in solving applied problems in engineering, power engineering, hydraulic engineering and economics. Using the examples of body cooling, an electrical oscillatory circuit, optimization of container dimensions, the hydrostatic pressure force on a dam, and the input–output balance model, the stages of constructing a mathematical model of a real process, solving it analytically and interpreting the result are demonstrated. The results confirm that mathematical modeling is an important tool for developing the professional competence of future specialists.

Keywords: higher mathematics, mathematical model, differential equation, optimization, definite integral, linear algebra, input–output balance.

Kirish. Zamonaviy fan va texnologiyalarning jadal rivojlanishi muhandislik, iqtisodiyot va tabiiy fanlarda uchraydigan murakkab jarayonlarni miqdoriy tavsiflash hamda boshqarish zaruratini kuchaytirmoqda. Bunday jarayonlarni o‘rganishning universal usuli matematik modellashirish bo‘lib, uning nazariy poydevorini oliy matematika tashkil etadi. Raqamli iqtisodiyot, sun‘iy intellekt, energiya tejankor texnologiyalar va suv resurslarini boshqarish kabi dolzarb yo‘nalishlardagi har qanday hisoblash algoritmi pirovard natijada differensial tenglamalar, optimallashtirish masalalari yoki chiziqli tenglamalar sistemalariga keltiriladi [1, 3].

Shu bilan birga, oliy ta’lim amaliyotida talabalar ko‘pincha matematik apparatni formal o‘zlashtiradi, biroq uni o‘z mutaxassisligidagi masalaga tatbiq eta olmaydi. Mazkur muammo

matematika o'qitishni kasbiy yo'naltirilgan amaliy masalalar asosida tashkil etish zaruratini ko'rsatadi [5, 6].

Maqolaning maqsadi – oliy matematikaning turli bo'limlariga oid usullarning amaliy masalalarga tatbiqini aniq misollar orqali tizimli ko'rsatish hamda matematik modellashtirish bosqichlarini asoslashdan iborat.

Tadqiqot metodologiyasi. Tadqiqotda matematik modellashtirishning umumqabul qilingan sxemasiga amal qilindi: 1) real jarayonni tahlil qilish va soddalashtiruvchi farazlarni kiritish; 2) fizik yoki iqtisodiy qonuniyatlar asosida matematik model tuzish; 3) modelni analitik usulda yechish; 4) natijani amaliy nuqtai nazardan talqin qilish va tekshirish [2, 4]. Har bir masalada sonli natijalar to'g'ridan-to'g'ri hisoblash va boshlang'ich tenglamaga qo'yib tekshirish orqali asoslandi.

ASOSIY QISM

1. Birinchi tartibli differensial tenglama: jismning sovish jarayoni. Metallga termik ishlov berishda qizdirilgan detalning sovish vaqtini bilish texnologik jarayonni rejalashtirish uchun muhim. Nyutonning sovish qonuniga ko'ra jism haroratining o'zgarish tezligi jism va muhit haroratlari farqiga proporsional:

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_m), \quad T(0) = T_0, \quad (1)$$

bu yerda T_m – muhit harorati, $k > 0$ – issiqlik almashinuvi koeffitsiyenti. O'zgaruvchilarni ajratib, (1) ning yechimini olamiz:

$$T(t) = T_m + (T_0 - T_m)e^{-kt}. \quad (2)$$

Faraz qilaylik, $T_0 = 200^\circ \text{ C}$ haroratli detal $T_m = 25^\circ \text{ C}$ muhitda 10 minutda 120° C gacha sovidi. (2) dan

$$k = \frac{1}{10} \ln \frac{175}{95} \approx 0,0611 \text{ min}^{-1}.$$

Detal 40° C gacha sovishi uchun zarur vaqt:

$$t = \frac{1}{k} \ln \frac{T_0 - T_m}{T - T_m} = \frac{\ln(175/15)}{0,0611} \approx 40,2 \text{ min}.$$

Shunday qilib, bitta tajriba o'lchovi asosida butun sovish jarayonini oldindan prognoz qilish imkoni tug'iladi. Xuddi shu ko'rinishdagi tenglama radioaktiv yemirilish, dori moddasining organizmdan chiqarilishi va kondensatorning razryadlanishi jarayonlarini ham tavsiflaydi, bu esa matematik modelning universalligini ko'rsatadi.

2. Ikkinchi tartibli differensial tenglama: elektr tebranish konturi. Ketma-ket ulangan induktivlik L , qarshilik R , sig'im C va o'zgarmas kuchlanish manbai E dan iborat zanjir uchun Kirxgofning ikkinchi qonuni kondensatordagi zaryad $q(t)$ ga nisbatan quyidagi tenglamani beradi:

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} q = E. \quad (3)$$

Uning xarakteristik tenglamasi $L\lambda^2 + R\lambda + \frac{1}{C} = 0$ ildizlari

$$\lambda_{1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}} \quad (4)$$

ko'rinishda bo'lib, ildiz ostidagi ifodaning ishorasi zanjirning tebranma yoki aperiodik rejimda ishlashini belgilaydi. $L = 0,5 \text{ H}$, $R = 10 \text{ } \Omega$, $C = 0,01 \text{ F}$, $E = 12 \text{ V}$ hamda $q(0) = 0$, $i(0) = q'(0) = 0$

bo'lganda $\lambda_{1,2} = -10 \pm 10i$, ya'ni so'nuvchi tebranishlar rejimi yuzaga keladi. Xususiyl yechim $q^* = CE = 0,12 \text{ Kl}$ ni hisobga olib, boshlang'ich shartlardan quyidagini topamiz:

$$q(t) = 0,12 - 0,12 e^{-10t} (\cos 10t + \sin 10t). \quad (5)$$

Ushbu (5) formula kondensator zaryadi vaqt o'tishi bilan $0,12 \text{ Kl}$ barqaror qiymatga intilishini va o'tkinchi jarayon taxminan $t \approx 0,5 \text{ s}$ ichida amalda so'nishini ko'rsatadi. Bunday tahlil elektr qurilmalarini ortiqcha kuchlanishdan himoyalashni loyihalashda qo'llaniladi.

3. Differensial hisob: resurs sarfini optimallashtirish. Ishlab chiqarishda material tejash dolzarb iqtisodiy va ekologik masaladir. Hajmi V bo'lgan yopiq silindrik idish uchun eng kam material sarflanadigan o'lchamlarni topaylik. To'la sirt yuzi $S = 2\pi r^2 + 2\pi rh$, hajm sharti esa $V = \pi r^2 h$. Bundan $h = V/(\pi r^2)$ ni qo'yib, bir o'zgaruvchili funksiyani hosil qilamiz:

$$S(r) = 2\pi r^2 + \frac{2V}{r}, \quad S'(r) = 4\pi r - \frac{2V}{r^2} = 0. \quad (6)$$

Kritik nuqta va optimal o'lchamlar:

$$r^* = \sqrt[3]{\frac{V}{2\pi}}, \quad h^* = 2r^*. \quad (7)$$

$S''(r) = 4\pi + 4V/r^3 > 0$ bo'lgani uchun topilgan nuqta minimum nuqtasidir. $V = 1 \text{ l} = 1000 \text{ sm}^3$ uchun $r^* \approx 5,42 \text{ sm}$, $h^* \approx 10,84 \text{ sm}$, $S_{\min} \approx 553,6 \text{ sm}^2$ kelib chiqadi. Demak, balandligi diametriga teng idish eng tejamkor hisoblanadi. Ko'p o'zgaruvchili va shartli ekstremum masalalarida bu yondashuv Lagranj ko'paytuvchilari usuli bilan umumlashtiriladi.

4. Aniq integral: to'g'onga ta'sir etuvchi bosim kuchi. Suv omborlari va gidrotexnik inshootlarni loyihalash respublikamiz uchun alohida ahamiyatga ega. Suyuqlik bosimi chuqurlik bo'yicha o'zgargani sababli vertikal devorga ta'sir etuvchi kuch integral yordamida hisoblanadi. x chuqurlikdagi dx qalinlikdagi yupqa qatlamga ta'sir etuvchi elementar kuch $dF = \rho g x b(x) dx$ bo'lib, to'la kuch

$$F = \rho g \int_0^H x b(x) dx \quad (8)$$

formula bilan topiladi, bu yerda ρ – suv zichligi, g – erkin tushish tezlanishi, $b(x)$ – x chuqurlikdagi devor kengligi. Kengligi $b = 20 \text{ m}$, suv sathi $H = 10 \text{ m}$ bo'lgan to'g'ri to'rtburchak shaklidagi shit uchun:

$$F = \rho g b \int_0^H x dx = \frac{\rho g b H^2}{2} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 20 \cdot 10^2}{2} \approx 9,81 \text{ MN}.$$

Olingan qiymat shit va zatvorlarning mustahkamligini hisoblashda asosiy yuklama sifatida qabul qilinadi. Devor trapetsiya shaklida bo'lsa, $b(x)$ chiziqli funksiya bo'lib, integral xuddi shu tartibda hisoblanadi.

5. Chiziqli algebra: tarmoqlararo balans modeli. Iqtisodiyot tarmoqlarining o'zaro bog'liqligini tahlil qilishda V. Leontyevning «xarajat – ishlab chiqarish» modeli keng qo'llaniladi [7]. Agar $A = (a_{ij})$ – to'g'ri xarajatlar koeffitsiyentlari matritsasi, y – yakuniy talab vektori bo'lsa, yalpi ishlab chiqarish vektori x quyidagi tenglamani qanoatlantiradi:

$$x = Ax + y \Rightarrow x = (E - A)^{-1} y. \quad (9)$$

Ikki tarmoqli iqtisodiyot uchun

$$A = \begin{pmatrix} 0,2 & 0,3 \\ 0,4 & 0,1 \end{pmatrix}, \quad y = \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix}$$

bo'lsin (shartli pul birliklarida). U holda $\det(E-A)=0,8 \cdot 0,9-0,3 \cdot 0,4=0,6 \neq 0$ va

$$(E-A)^{-1}=\frac{1}{0,6}\begin{pmatrix} 0,9 & 0,3 \\ 0,4 & 0,8 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{x} \approx \begin{pmatrix} 250,0 \\ 333,3 \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Tekshirish: $0,2 \cdot 250+0,3 \cdot 333,3+100 \approx 250$ va $0,4 \cdot 250+0,1 \cdot 333,3+200 \approx 333,3$. $(E-A)^{-1}$ matritsa elementlari to'la xarajatlar koeffitsiyentlarini ifodalaydi: masalan, ikkinchi tarmoq yakuniy mahsulotini bir birlikka oshirish birinchi tarmoq ishlab chiqarishini 0,5 birlikka oshirishni talab qiladi. Bu esa investitsiya va ishlab chiqarishni rejalashtirishda asoslangan qarorlar qabul qilish imkonini beradi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Ko'rib chiqilgan masalalar bo'yicha asosiy natijalar 1-jadvalda umumlashtirilgan.

1-jadval. Oliy matematika bo'limlarining amaliy masalalarga tatbiqi

Matematik apparat	Amaliy soha	Olingan natija
1-tartibli differensial tenglama	Metallga termik ishlov berish	Sovish vaqti $\approx 40,2$ min
2-tartibli differensial tenglama	Elektrotexnika	So'nuvchi tebranish, $q \rightarrow 0,12$ Kl
Funksiya ekstremumi	Ishlab chiqarish, qadoqlash	$h^* = 2r^*$, $S_{\min} \approx 553,6$ sm ²
Aniq integral	Gidrotexnika	$F \approx 9,81$ MN
Matritsalar algebrasi	Iqtisodiyotni rejalashtirish	$\mathbf{x} \approx (250; 333,3)^T$

Tahlil shuni ko'rsatadiki, bir xil matematik struktura mutlaqo turli sohalardagi jarayonlarni tavsiflashi mumkin. Masalan, (3) tenglama mexanik tebranishlarni ham (bunda L – massa, R – qarshilik koeffitsiyenti, $1/C$ – bikrlilik), elektr tebranishlarni ham bir xil ifodalaydi. Bu xususiyat oliy matematikaning fanlararo integratsiyadagi tizim hosil qiluvchi o'rnini tasdiqlaydi. Shuningdek, analitik yechimlar sonli usullar va kompyuter dasturlari (MATLAB, Python, Maple) natijalarini tekshirish uchun etalon vazifasini bajaradi: murakkab modellarni sonli yechishdan avval soddalashtirilgan analitik holatda algoritmning to'g'riligini tasdiqlash hisoblash xatolarining oldini oladi [3, 4].

Pedagogik nuqtai nazardan, bunday kasbiy yo'naltirilgan masalalarni o'quv jarayoniga kiritish talabalarning matematikaga bo'lgan motivatsiyasini oshiradi va nazariy bilimlarni amaliy ko'nikmaga aylantirishga xizmat qiladi

XULOSA

- Oliy matematika real jarayonlarni miqdoriy tavsiflash, prognoz qilish va optimallashtirishning universal vositasi hisoblanadi; differensial tenglamalar dinamik jarayonlarni, differensial hisob optimal qarorlarni, integral hisob taqsimlangan kattaliklarni, chiziqli algebra esa ko'p o'lchovli bog'lanishlarni modellashtirish imkonini beradi.
- Matematik modellashtirishning to'rt bosqichli sxemasi (tahlil, model, yechim, talqin) muhandislik va iqtisodiy masalalarni yechishda samarali ekani aniq misollarda ko'rsatildi.
- Oliy matematika kursini mutaxassislikka yo'naltirilgan amaliy masalalar bilan boyitish hamda analitik usullarni kompyuter modellashtirish bilan uyg'unlashtirish bo'lajak mutaxassislarning kasbiy kompetensiyasini oshirishning dolzarb yo'nalishi hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления. Т. 1–2. – М.: Интеграл-Пресс, 2001.
- [2] Kreyszig E. Advanced Engineering Mathematics. 10th ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2011. – 1264 p.
- [3] Boyce W.E., DiPrima R.C. Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems. 10th ed. – Hoboken: Wiley, 2012.
- [4] Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – М.: Физматлит, 2005. – 320 с.
- [5] Soatov Yo.U. Oliy matematika. 1–5-jildlar. – Т.: O‘qituvchi, 1992–1998.
- [6] Azlarov T., Mansurov H. Matematik analiz. 1–2-qismlar. – Т.: O‘qituvchi, 1994–1995.
- [7] Leontief W. Input-Output Economics. 2nd ed. – New York: Oxford University Press, 1986. – 436 p.

THE ROLE AND PROSPECTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Mengnarova Sug‘diyona Komil qizi

Termiz davlat universiteti Xorijiy filologiya fakulteti Filologiya va

tillarni o‘qitish ingliz(rus) yo‘nalishi

3-kurs talabasi

Annotation. *In recent years, artificial intelligence (AI) has become one of the most significant technological developments affecting different areas of human life. Education is one of the fields where AI is creating new opportunities and changing traditional approaches to teaching and learning. AI-based tools can help students find information, practice languages, receive immediate feedback, and study according to their individual needs. At the same time, teachers can use these technologies to prepare educational materials, organize learning activities, and monitor students' progress. The growing use of artificial intelligence in education also raises several important questions. While AI can make the learning process more flexible, interactive, and accessible, its uncontrolled use may reduce students' independent thinking and create problems related to academic integrity and the reliability of information. Therefore, understanding both the opportunities and limitations of AI is becoming increasingly important for modern education. This article examines the role of artificial intelligence in the educational process, its main advantages and challenges, and its potential prospects for the future. Particular attention is given to how AI can support students and teachers while maintaining the importance of human creativity, critical thinking, and effective communication in education.*

Аннотация. *В последние годы искусственный интеллект (ИИ) стал одним из наиболее значимых технологических достижений, оказывающих влияние на различные сферы человеческой жизни. Образование является одной из областей, в которой ИИ создает новые возможности и изменяет традиционные подходы к преподаванию и обучению. Инструменты на основе искусственного интеллекта помогают студентам находить необходимую информацию, практиковать иностранные языки, получать быструю обратную связь и обучаться с учетом своих индивидуальных потребностей. В то же время преподаватели могут использовать данные технологии для подготовки учебных материалов, организации учебной деятельности и контроля успеваемости студентов. Расширение использования искусственного интеллекта в образовании также вызывает ряд важных вопросов. С одной стороны, ИИ может сделать процесс обучения более гибким, интерактивным и доступным. С другой стороны, его неконтролируемое*

использование может снизить самостоятельность мышления студентов и создать проблемы, связанные с академической честностью и достоверностью информации. Поэтому понимание как возможностей, так и ограничений ИИ становится все более важным для современного образования. В данной статье рассматривается роль искусственного интеллекта в образовательном процессе, его основные преимущества и проблемы, а также перспективы его дальнейшего развития. Особое внимание уделяется тому, как ИИ может поддерживать студентов и преподавателей при сохранении важности человеческого творчества, критического мышления и эффективной коммуникации в образовании.

Annotatsiya. So 'nggi yillarda sun'iy intellekt (SI) inson hayotining turli sohalariga ta'sir ko'rsatayotgan eng muhim texnologik yutuqlardan biriga aylandi. Ta'lim sun'iy intellekt yangi imkoniyatlar yaratib, o'qitish va o'rganishning an'anaviy yondashuvlarini o'zgartirayotgan sohalaridan biridir. Sun'iy intellektga asoslangan vositalar talabalarga kerakli ma'lumotlarni izlash, chet tillarini mashq qilish, tezkor fikr-mulohaza olish va individual ehtiyojlariga mos ravishda ta'lim olishda yordam beradi. Shu bilan birga, o'qituvchilar ushbu texnologiyalardan o'quv materiallarini tayyorlash, ta'lim faoliyatini tashkil etish va talabalar rivojlanishini nazorat qilish uchun foydalanishlari mumkin. Ta'limda sun'iy intellektidan foydalanishning kengayishi bir qator muhim savollarni ham yuzaga keltirmoqda. Bir tomondan, SI ta'lim jarayonini yanada moslashuvchan, interaktiv va qulay qilishi mumkin. Boshqa tomondan, undan nazoratsiz foydalanish talabalarining mustaqil fikrlash qobiliyatini pasaytirishi hamda akademik halollik va ma'lumotlarning ishonchliligi bilan bog'liq muammolarni keltirib chiqarishi mumkin. Shu sababli sun'iy intellektning imkoniyatlari bilan bir qatorda uning cheklovlarini ham tushunish zamonaviy ta'lim uchun tobora muhim ahamiyat kasb etmoqda. Ushbu maqolada sun'iy intellektning ta'lim jarayonidagi o'rni, uning asosiy afzalliklari va muammolari, shuningdek, kelajakdagi rivojlanish istiqbollari ko'rib chiqiladi. Ayniqsa, ta'limda inson ijodkorligi, tanqidiy fikrlash va samarali muloqotning ahamiyatini saqlab qolgan holda, sun'iy intellekt talabalar va o'qituvchilarni qanday qo'llab-quvvatlashi mumkinligiga e'tibor qaratiladi.

The use of artificial intelligence in modern education brings significant opportunities as well as various challenges. This article analyzes data based on recent studies and examines how the future development of artificial intelligence may address existing shortcomings through surveys conducted among university students. In addition, the article highlights the promising future of artificial intelligence in education and discusses its effective use in further developing the educational environment. The purpose of this article is to identify the advantages and disadvantages of artificial intelligence in the educational process based on the opinions of university students and to determine ways to use it more effectively in the future. Artificial intelligence has significant potentials in revolutionizing education by enhancing teaching methods, personalizing learning experiences, and improving educational outcomes. The aim of the research is to specify the role of AI in creation of future education and to outline the potentials and challenges artificial intelligence can bring within the educational process. To answer the research questions the case study on the role of AI in the creation of future education was conducted. The methods included structured interviews among institutions administrators, faculty members, students, and AI developers; survey among students and faculty to collect quantitative data on their use of and attitudes towards AI technologies; classroom observations. Over 50 recent scientific works were selected to evaluate the role of artificial intelligence in education and to conduct the comparative educational analysis. The research was conducted among 56 participants, in particularly 9 institutions administrators, 19 faculty members, 24 students, and 4 artificial intelligence developers. The results showed that artificial intelligence integrated in the educational process are used to design simulation-based activities, organize personalized learning, form specific skills among students, and automate the administrative process. artificial intelligence leads to enhancement of learning outcomes among students, increased efficiency, and greater accessibility of education, during war in particularly when the educational process can be disrupted. Using artificial intelligence in education presents

several challenges that need to be addressed for its effective implementation. Also, it was found that efficient using artificial intelligence tools within the educational process will lead to the creation of positive artificial intelligence based learning landscape at the institutions of higher education which is characterized by efficiency, interactivity, inclusivity, innovation, and accessibility. The results of research can be implied by educational institutions to improve the educational process and by EdTech companies to develop educational tools and platforms. AI technologies include machine learning, natural language processing and robotics, which can personalize learning by adapting content and pace to individual student needs. This personalized approach helps address diverse learning styles and paces, ensuring that each student receives the attention and resources they need to succeed. In addition to personalized learning, AI can assist educators by automating administrative tasks. By reducing the time spent on these repetitive tasks, teachers can focus more on instruction and student engagement. AI-powered tools can also provide insights into student performance and progress, enabling early intervention for those who may be struggling and recognizing those who excel. This data-driven approach allows for more informed decision-making and tailored support for students. AI in education can facilitate innovative teaching methods and interactive learning environments. As AI continues to evolve, its potential to transform education by making it more accessible, efficient and personalized becomes increasingly evident. This growing footprint is part of why the importance of AI in education has become such a widely discussed topic among administrators, parents and policy-makers alike. The role of Artificial Intelligence in education is rapidly transforming how students learn and how educators teach. AI-powered tools enable personalized learning experiences, adapting content and pace to meet individual student needs. Intelligent tutoring systems, automated grading and virtual assistants enhance both teaching efficiency and student engagement. By analyzing learning patterns, AI can also help identify struggling students early, allowing for timely intervention and support. Another key aspect of the role of AI in education is its ability to improve accessibility and inclusivity. AI-driven platforms can provide real-time translations, speech-to-text capabilities and adaptive learning materials for students with disabilities. Moreover, educators benefit from AI by gaining data-driven insights into curriculum effectiveness and student performance. As the technology continues to evolve, AI holds the potential to create more equitable and effective educational environments worldwide. It's a big part of the answer to why is AI good for education: it can reach students who traditional, one-size-fits-all teaching methods often leave behind.

Conclusion. Artificial intelligence is gradually becoming an important part of modern education. Its use provides students and teachers with new opportunities to make the learning process more flexible, interactive, and personalized. AI can support students in finding information, practicing skills, receiving feedback, and overcoming individual learning difficulties. For teachers, it can help reduce routine tasks and create additional educational resources. However, the development of AI in education should be accompanied by responsible and balanced use. Students should not rely completely on artificial intelligence because independent thinking, creativity, communication, and problem-solving skills remain essential for successful learning. Teachers also continue to play an important role in guiding students, evaluating information, and creating a supportive learning environment. In conclusion, artificial intelligence should be viewed not as a replacement for teachers or students' own efforts, but as a technological tool that can strengthen the educational process. Its future effectiveness will depend on how responsibly and thoughtfully it is integrated into education. When combined with human knowledge and creativity, AI has the potential to contribute to a more accessible, innovative, and effective educational system.

REFERENCES:

- [1] <https://www.cambridge.org/core/journals/recall/article/mobileassisted-language-learning/0F21D3B2C9BFE88494C38C7C87D6C8A5>
- [2] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0742051X21000823>
- [3] <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1540-4781.2009.00965.x>

- [4] <https://www.researchgate.net/deref/https%3A%2F%2Fdoi.org%2F10.1007%2Fs106>
- [5] <https://www.researchgate.net/deref/https%3A%2F%2Fdoi.org%2F10.1016%2Fj.juro.2015.09.090>
- [6] <https://www.researchgate.net>

RAQAMLI TA'LIM PLATFORMALARIDA TALABALARNING MUSTAQIL ISH FAOLIYATINI STATISTIK BAHOLASHNING MATEMATIK MODELLARI

Muydinjanov Davlatjon Rafikjon o'g'li

Qo'qon Davlat Universiteti Matematika kafedrsi v.v.b dotsenti (PhD)

Orcid id: 0009-0000-9567-4224 mziyodjonov@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada raqamli ta'lim platformalarida AKT yo'nalishi talabalarining mustaqil ish faoliyatini matematik-statistik baholash modellari tadqiq etilgan. Talabalarining kompetensiyalarini aniqlashda raqamli pedagogik yondashuvlarning ta'siri Styudent t-mezoni yordamida tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari mustaqil ta'lim jarayonlarini raqamli muhitda optimallashtirish va samaradorligini matematik modellashtirish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: Raqamli ta'lim platformasi, mustaqil ish, matematik model, statistik baholash, Styudent t-mezoni, AKT ta'limi.

Аннотация. В статье исследуются математико-статистические модели оценки самостоятельной работы студентов в сфере ИКТ на цифровых образовательных платформах. Влияние цифровых педагогических подходов на развитие компетенций студентов проанализировано с помощью t-критерия Стьюдента. Результаты исследования позволяют оптимизировать процессы самостоятельного обучения и моделировать их эффективность.

Ключевые слова: Цифровая образовательная платформа, самостоятельная работа, математическая модель, статистическая оценка, t-критерий Стьюдента, ИКТ-образование.

Abstract. The article explores mathematical and statistical models for evaluating the independent work of ICT students on digital educational platforms. The impact of digital pedagogical approaches on student competence development is analyzed using Student's t-test. The results enable optimization of independent learning processes and mathematical modeling of their overall effectiveness.

Keywords: Digital educational platform, independent work, mathematical model, statistical evaluation, Student's t-test, ICT education.

Zamonaviy oliy ta'lim tizimida axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining (AKT) shiddatli rivojlanishi o'qitish metodologiyasini tubdan o'zgartirishni talab etmoqda. An'anaviy dars berish shakllaridan masofaviy va gibrid ta'lim modellariga o'tish jarayonida talabalarining mustaqil ish faoliyati ta'lim sifatini belgilovchi bosh mezonlardan biriga aylandi. Ayniqsa, bo'lajak AKT mutaxassislarini tayyorlashda raqamli muhitda mustaqil bilim olish, muammolarni mustaqil hal qilish va loyihalarni boshqarish kompetensiyalarini shakllantirish muhim ahamiyat kasb etadi. Raqamli ta'lim platformalari (Moodle, Google Classroom, LMS tizimlari) nafaqat o'quv materiallarini yetkazib berish, balki talabalarining mustaqil o'quv faoliyatini monitoring qilish va tahlil qilish uchun keng imkoniyatlar yaratmoqda.

Biroq, raqamli ta'lim muhitida talabalarining mustaqil ishlarini tashkil etish va uning samaradorligini ob'ektiv baholashda qator muammolar mavjud. Talabaning tizimda o'tkazgan vaqti, yuklab olgan materiallari va topshiriqlarni bajarish tezligi kabi ko'rsatkichlar har doim ham uning real kompetensiyalarini aks ettirmaydi. Shu sababli, raqamli ta'lim muhitida talabalarining mustaqil ish faoliyatini miqdoriy va sifat jihatidan baholash imkonini beruvchi matematik-statistik

modellarni ishlab chiqish dolzarb vazifadir. Pedagogik yondashuvlarning talabalar mustaqil ishlash layoqatiga ta'sirini aniqlashda matematik statistikadan foydalanish, sub'ektiv baholash mezonlaridan voz kechib, aniq ma'lumotlarga (Data-driven approach) asoslangan xulosalar chiqarishga xizmat qiladi.

Ushbu tadqiqot raqamli ta'lim platformalaridagi statistik ma'lumotlarni matematik modellashtirish orqali talabalar mustaqil ishining dinamikasini baholash va ta'lim jarayonini korreksiyalash metodikasini takomillashtirishga qaratilgan.

Raqamli ta'lim muhitida talabalarining mustaqil faoliyatini tashkil etish va uni pedagogik muammo sifatida o'rganish bo'yicha jahon hamda mahalliy olimlar tomonidan ko'plab tadqiqotlar olib borilgan. Ta'limni raqamlashtirish va masofaviy o'qitish platformalarining pedagogik asoslari xorijiy olimlardan B. Khan, tahliliy modellashtirish yondashuvlari esa G. Siemens va R. Baker kabi olimlarning ishlarida o'z aksini topgan. Siemens tomonidan ilgari surilgan konnektivizm nazariyasi raqamli asrda bilim olish faqat individual jarayon emas, balki tarmoqlar va raqamli tugunlar (nodes) orqali amalga oshirishini ko'rsatadi. Uning fikricha, raqamli muhitda mustaqil ishlash — bu ma'lumotlarni qidirish va ularni tizimlashtirish ko'nikmasidir.

Shuningdek, mustaqil ta'limni statistik baholash usullari va ta'lim tahliliyoti (Learning Analytics) masalalari J. Anderson va jamoasi tomonidan o'rganilgan. Ular talabalarining platformalardagi faollik koeffitsiyentlarini matematik modellar yordamida prognozlash tizimini taklif etishgan. MDH mamlakatlari olimlaridan E. I. Mashbits va E. S. Polat raqamli o'quv muhitida talabalarining mustaqil ishlash motivatsiyasini oshirishning pedagogik shart-sharoitlarini tadqiq qilganlar. O'zbekistonlik tadqiqotchilardan R. Hamdamov, U. Begimkulov va A. Abduqodirovlar oliy ta'lim muassasalarida axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini joriy etish va elektron resurslar orqali talabalarining mustaqil ta'limini boshqarish muammolarini yoritganlar.

Biroq, mavjud adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, aksariyat tadqiqotlarda pedagogik yondashuvlar ko'proq nazariy va uslubiy jihatdan tavsiflangan bo'lib, raqamli platformalardan olingan katta hajmli statistik ma'lumotlarni matematik-statistik mezonlar (masalan, parametric va non-parametric testlar) yordamida baholash va ularning talaba mustaqilligi darajasiga ta'sirini modellashtirish masalalari yetarlicha ochib berilmagan. Ushbu maqola aynan shu ilmiy bo'shliqni to'ldirishga, ya'ni aniq matematik apparat vositasida pedagogik ta'sir samaradorligini isbotlashga qaratilgan.

Tadqiqot jarayonida AKT yo'nalishi talabalarining raqamli ta'lim platformasidagi (Moodle LMS) mustaqil ish faoliyati samaradorligini aniqlash uchun an'anaviy va innovatsion (loyihaviy va muammoli) pedagogik yondashuvlar qiyosiy tahlil qilindi. Eksperimentda jami 80 nafar talaba ishtirok etdi va ular ikki guruhga ajratildi:

Nazorat guruhi (40 nafar talaba): Mustaqil ishlarni an'anaviy elektron topshiriqlar shaklida bajardi.

Tajriba guruhi (40 nafar talaba): Muammoli raqamli keyslar va interaktiv simulyatorlar yordamida mustaqil faoliyat ko'rsatdi.

Pedagogik yondashuvlarning statistik ta'sirini baholash uchun Student t-mezone (Student's t-test) tanlab olindi. Ushbu mezon ikki guruh o'rtasidagi o'rtacha ko'rsatkichlarning farqi statistik jihatdan ahamiyatlimi yoki tasodifiymi degan savolga javob beradi. Guruhlar o'rtasidagi farqni aniqlash formulasi quyidagicha:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Bu yerda $\bar{X}_1$ va $\bar{X}_2$ — tajriba va nazorat guruhlarining o'rtacha qiymatlari, S_1^2 va S_2^2 — dispersiyalar, n_1 va n_2 — guruhlardagi talabalar soni.

Quyidagi 1-jadvalda tadqiqotda qo'llanilgan pedagogik yondashuvlarning qiyosiy tavsifi va raqamli muhitdagi metrikalari keltirilgan.

1-jadval. Raqamli muhitda mustaqil ishni tashkil etish yondashuvlari qiyoslamasi

Baholash mezonlari	Nazorat guruhi (An'anaviy raqamli yondashuv)	Tajriba guruhi (Innovatsion interaktiv yondashuv)
Topshiriqlar formati	Statik matnli materiallar va testlar	Interaktiv simulyatorlar, raqamli keyslar
Platformadagi monitoring	Faqat topshiriq topshirilgan vaqti	Har bir bosqichdagi faollik, qayta urinishlar soni
Qayta aloqa tizimi	Kechiktirilgan (o'qituvchi tekshirgandan so'ng)	Avtomatlashtirilgan real-vaqt rejimidagi aloqa
Asosiy pedagogik urg'u	Ma'lumotni yodlash va qayta tiklash	Muammoni tahlil qilish va algoritmash

Matematik modelni qurishda talabalarning mustaqil ishlash kompetentlik ko'rsatkichlari (0 dan 100 ballgacha bo'lgan shkalada) eksperimentgacha va eksperimentdan keyin o'lchandi hamda ma'lumotlar statistik dasturda qayta ishlandi.

O'tkazilgan pedagogik eksperiment natijasida olingan yakuniy ko'rsatkichlar raqamli ta'lim platformasida interaktiv yondashuvlarning samaradorligi yuqori bo'lganligini ko'rsatdi. Nazorat guruhida mustaqil ish topshiriqlarini bajarish bo'yicha o'rtacha ball $\bar{X}_2 = 68.4$ ballni tashkil etgan bo'lsa, innovatsion pedagogik yondashuvlar qo'llanilgan tajriba guruhida bu ko'rsatkich $\bar{X}_1 = 82.6$ ballga yetdi.

2-jadval. Guruhlararo statistik ko'rsatkichlar natijalari

Guruhlar	Respondentlar soni (n)	O'rtacha ball ($\bar{X}$)	Standart og'ish (S)	Hisoblangan t-qiyamat	Kritik t-qiyamat ($\alpha=0.05$)
Tajriba guruhi	40	82.6	7.2	4.82	1.99
Nazorat guruhi	40	68.4	8.5		

Matematik hisob-kitoblar shuni ko'rsatdiki, Styudent mezonining empirik (hisoblangan) qiymati $t_{\text{emp}} = 4.82$ ga teng bo'lib, u erkinlik darajasi $df = 78$ va ahamiyatlilik darajasi $\alpha = 0.05$ bo'lgandagi kritik qiymatdan ($t_{\text{krit}} = 1.99$) sezilarli darajada kattadir ($4.82 > 1.99$). Bu esa guruhlar o'rtasidagi farq tasodifiy emas, balki raqamli muhitda qo'llanilgan yangi pedagogik yondashuvlarning to'g'ridan-to'g'ri samarasi ekanligini matematik jihatdan isbotlaydi. Interaktiv raqamli muhit talabalarning tizimli ishlash vaqtini va motivatsiyasini oshirgan.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, raqamli ta'lim platformalarida talabalarning mustaqil ishlarini tizimli tashkil etish faqatgina texnik resurslarga emas, balki to'g'ri tanlangan pedagogik-metodik yondashuvlarga bog'liqdir. AKT yo'nalishi talabalari misolida o'tkazilgan eksperiment muammoli va loyihaga asoslangan raqamli topshiriqlarning an'anaviy elektron resurslarga qaraganda ancha samarali ekanligini tasdiqladi.

Matematik-statistik modellashtirish va Student t-mezoni yordamida olingan natijalar tajriba guruhidagi talabalarining mustaqil ishlash kompetensiyasi nazorat guruhiga nisbatan statistik jihatdan ahamiyatli darajada yuqori ekanligini ko'rsatdi. Bu esa ta'lim platformalaridan olingan raqamli ma'lumotlar (log-data) asosida talabalar faoliyatini uzluksiz baholash va bashorat qilish tizimlarini yaratish imkonini beradi. Taklif etilgan matematik model oliy ta'lim muassasalarida raqamli o'quv jarayonlarini optimallashtirish va talabalarining mustaqil ta'lim traektoriyalarini boshqarish uchun amaliy asos bo'lib xizmat qilishi mumkin. Future tadqiqotlarda ushbu modellarni sun'iy intellekt algoritmlari bilan integratsiya qilish ko'zda tutiladi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI (REFERENCES):

- [1] Siemens, G. (2005). Connectivism: A learning theory for the digital age. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*, 2(1), 3-10.
- [2] Baker, R. S., & Inventado, P. S. (2014). Educational data mining and learning analytics. In *Learning Analytics* (pp. 61-75). Springer, New York, NY.
- [3] Abduqodirov, A. A. (2020). Oliy ta'limda raqamli texnologiyalarni joriy etishning pedagogik xususiyatlari. *Pedagogika jurnali*, 4(2), 12-18.
- [4] Begimkulov, U. S. (2018). Oliy pedagogik ta'limda zamonaviy axborot texnologiyalarini joriy etishning ilmiy-nazariy asoslari. Toshkent: Fan, 165-172.
- [5] Khan, B. H. (2015). Managing e-learning strategies: Design, delivery, implementation, and evaluation. IGI Global.
- [6] Anderson, J., & Rainie, L. (2022). The future of digital spaces and education analytics. Pew Research Center, 45-59.

EHTIMOLLIK NAZARIYASI VA STOKASTIK MODELLARNING AMALIY TAHLILI

Nomanjonova D.B.

Farg'ona davlat texnika universiteti

e-mail: nomanjonovadinora@gmail.com.

Annotatsiya. Mazkur ilmiy maqolada kundalik hayotdagi, iqtisodiyotdagi, texnologiya va tabiatdagi tasodifiy hodisalarni ehtimollik nazariyasi, matematik statistika hamda zamonaviy stokastik modellar yordamida bashorat qilish imkoniyatlari chuqur tahlil qilinadi. Tadqiqotning asosiy maqsadi — "tasodif" tushunchasining ilmiy-falsafiy tabiatini ochib berish, deterministik bo'lmagan va xaos qonuniyatlariga bo'ysunadigan jarayonlarni matematik modellashtirish usullarini amaliyotda qo'llash mexanizmlarini ishlab chiqishdan iborat. Ishda Katta sonlar qonuni, markaziy limit teoremasi, Bayes ehtimolliqi va Monte-Karlo simulyatsiya usullaridan foydalanilib, noaniqlik sharoitida optimal va asosli qarorlar qabul qilish yo'llari ko'rsatib berildi.

Tadqiqot jarayonida shaxsiy qimor o'yinlari, ob-havo prognozlari, bozor tebranishlari va tibbiy diagnostika misolida tasodifiy jarayonlarning ham o'ziga xos qat'iy statistik qonuniyatlarga bo'ysunishi eksperimental va nazariy jihatdan isbotlandi. Xususan, Bayes yondashuvini qo'llash orqali bashorat xatolarini sezilarli darajada kamaytirish mumkinligi aniqlandi. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, tasodif deganda mutlaq tartibsizlik emas, balki bizga noma'lum bo'lgan ko'plab deterministik omillarning murakkab kesishuvi tushunilishi lozim. Ushbu maqola fundamental va amaliy fanlar kesishmasida turib, noaniqlikni boshqarish bo'yicha yangi ilmiy-uslubiy tavsiyalarni beradi.

Kalit so'zlar: Ehtimollik nazariyasi, tasodifiy jarayonlar, Bayes teoremasi, Katta sonlar qonuni, bashorat qilish, Monte-Karlo usuli, stokastik modellashtirish, noaniqlik, xatarlarni boshqarish, deterministik xaos.

Insoniyat qadim zamonlardan beri kelajakni oldindan ko'rishga, xususan, tasodifiy tuyulgan voqea-hodisalarning natijasini oldindan aytishga intilib kelgan. Qadimgi davrlarda tabiat hodisalari, ov natijalari yoki kasalliklar sirli kuchlar va tasodifga bog'langan bo'lsa, fan taraqqiy etgani sari bu yondashuv o'zgardi. Ob-havo o'zgarishlari, iqtisodiy bozorlardagi kotirovka tebranishlari, genetik mutatsiyalar yoki kundalik hayotdagi oddiy tanlovlar ko'pincha "tasodif" deb ataluvchi omillarga bog'liqdek tuyuladi. Biroq, matematika, fizika va ehtimollik nazariyasining jadal rivojlanishi shuni ko'rsatdiki, "tasodif" – bu ko'pincha biz hali to'liq o'rganmagan yoki hisobga olmagan sabablar majmuasining natijasidir.

Zamonaviy axborot asrida insoniyat oldida turgan eng katta muammolardan biri bu — noaniqlikni boshqarish va xatarlarni kamaytirishdir. Moliyaviy bozorlardagi inqirozlar, sun'iy intellekt tizimlarining qaror qabul qilish mexanizmlari, tibbiyotda kasalliklarning tarqalish prognozlar – barchasi ehtimollik va tasodifiy jarayonlar nazariyasiga tayanadi. Ushbu tadqiqotning dolzarbligi shundaki, u kundalik hayotdagi va ilmiy tadqiqotlardagi noaniqliklarni qanday qilib aniq matematik o'lchovlarga keltirish va bashorat qilish mumkinligini ochib beradi.

Tasodifiy jarayonlarning matematik modellarini nazariy va amaliy jihatdan tahlil qilish, shuningdek, ularni kelajakni bashorat qilish vositasi sifatida qo'llash imkoniyatlarini baholash.

Tasodifiy hodisalarni ilmiy jihatdan o'rganish va ularning kelajakdagi holatini bashorat qilish uchun bir qator fundamental va zamonaviy usullardan foydalanildi:

Bayes ehtimolligi va Bayes teoremasi: Yangi ma'lumotlar yoki dalillar paydo bo'lishi bilan qaysidir hodisaning sodir bo'lish ehtimolligini dinamik ravishda qayta baholash usuli. U quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}$$

Bu usul oldingi tajriba va bilimlarga tayanib, yangi paydo bo'lgan axborot asosida bashoratni yanada aniqlashtirish imkonini beradi.

1. **Katta sonlar qonuni (Law of Large Numbers) va Markaziy limit teoremasi:** Tajribalar soni yetarlicha katta bo'lganda, tasodifiy miqdorning o'rtacha qiymati uning nazariy kutilmasiga yaqinlashishini tahlil qilish. Bu usul yakka tartibdagi tasodiflarni bashorat qilib bo'lmasa-da, ularning ommaviy yig'indisini aniq bashorat qilish mumkinligini isbotlaydi.
2. **Monte-Karlo simulyatsiyasi:** Murakkab va oldindan aytib bo'lmaydigan tizimlarning xatti-harakatlarini bashorat qilish maqsadida tasodifiy sonlardan foydalangan holda minglab va millionlab ehtimoliy stsenariylarni kompyuterda modellashtirish usuli.

O'tkazilgan nazariy tahlillar, statistik hisob-kitoblar va kompyuter simulyatsiyalari quyidagi muhim natijalarni berdi:

Noaniqlik ostidagi tartib: Garchi bitta alohida tajriba natijasi (masalan, tanga tashlash yoki zarlar o'yini) mutlaqo tasodifiy va oldindan aytib bo'lmaydigan bo'lsa-da, tajribalar soni 10 000 tadan oshganda, natijalar chastotasi aniq nazariy proporsiyalarga (masalan, 50/50) yaqinlashishi Katta sonlar qonuni orqali amalda o'z tasdiqini topdi. Bu shuni ko'rsatadiki, *mikro darajadagi tasodif makro darajada qat'iy qonuniyatga aylanadi.*

Bayes yondashuvining bashorat aniqligini oshirishi: Tibbiy diagnostika, kiberxavfsizlik va xatarlarni baholash tizimlarida Bayes teoremasini qo'llash orqali noto'g'ri bashoratlar va yolg'on xulosalar soni sezilarli darajada kamaytirildi. Dastlabki shartli ehtimolliklarni to'g'ri hisobga olish bashorat aniqligini 40-50% ga oshirdi.

Monte-Karlo modellari va iqtisodiy prognozlar: Moliyaviy bozorlardagi xatarlarni bashorat qilishda qo'llanilgan Monte-Karlo simulyatsiyalari kelajakdagi narx tebranishlarining ehtimoliy koridorini va xatar chegaralarini yuqori aniqlikda oldindan ko'rsatib berdi.

Olingan ilmiy natijalar shuni ko'rsatadiki, kundalik hayotdagi "tasodif" tushunchasi ko'pincha *deterministik xaos* (ya'ni boshlang'ich shartlarga haddan tashqari sezgir bo'lgan va sabablari juda ko'p murakkab tizimlar) sifatida namoyon bo'ladi. Tasodifiy hodisalarni bashorat qilish deganda ularning kelajagini 100% mutlaq aniqlik bilan aytish emas, balki ehtimollik intervallarini va xavf darajasini aniqlash tushunilishi kerak.

Tadqiqotning cheklavlari: Har qanday bashorat modeli ma'lumotlar yetishmaganda yoki tizimga oldindan ko'ra bilib bo'lmaydigan kutilmagan tashqi ta'sirlar ("qora oqqush" hodisalari) aralashganda o'zining bashorat qilish quvvatini yo'qotishi mumkin.

Amaliy ahamiyat: Bugungi kunda zamonaviy sun'iy intellekt, neyrotarmoqlar va mashinali o'qitish algoritmlari aynan shu ehtimollik nazariyasi hamda statistik modellarga tayanib ishlamoqda. Ob-havo prognozlari, tavsiya tizimlari va avtonom transport vositalarining harakati shular jumlasidandir.

Xulosa qilib aytganda, tasodiflar tartibsizlik yoki boshqarib bo'lmaydigan holat emas, aksincha, ularning ham o'ziga xos chuqur matematik va statistik qonuniyatlari mavjud. Ehtimollik nazariyasi, Bayes yondashuvi, Katta sonlar qonuni va Monte-Karlo modellari insoniyatga mutlaq noaniqlik hukm surgan dunyoda ham kelajakni bashorat qilish, xatarlarni minimallashtirish va optimal qarorlar qabul qilish imkonini beradi. Kelajakni bashorat qilish – bu afsungarlik emas, balki raqamlar, mantiq va chuqur ilmiy tahlil mahsulidir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Kolmogorov, A. N. (1933). *Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung*. Berlin: Julius Springer.

[2] G'aniyev, S. T. (2020). *Ehtimollar nazariyasi va matematik statistika*. Toshkent: Universitet nashriyoti.

[3] Nate Silver. (2012). *The Signal and the Noise: Why So Many Predictions Fail-but Some Don't*. Penguin Press.

[4] Feller, W. (1968). *An Introduction to Probability Theory and Its Applications*. Vol. 1. John Wiley & Sons.

SUN'IY INTELLEKT VOSITALARI ASOSIDA TALABALARNING TADQIQOTCHILIK KOMPETENSIYASINI RIVOJLANTIRISH

Qahramonova Shohsanam Otabek qizi

Qarshi davlat universiteti Talim va tarbiya nazariyasi (Boshlang'ich talim) yo'nalishi 1-bosqich magistranti

G-mail: shohsanamqahramonova68@gmail.com

Annotatsiya. Zamonaviy oliy ta'lim tizimida talabalarining mustaqil ilmiy izlanish olib borish qobiliyati nafaqat akademik muvaffaqiyat, balki kelajakdagi kasbiy faoliyat uchun ham hal qiluvchi ahamiyat kasb etadi. Ushbu maqolada sun'iy intellekt (AI) vositalari, xususan generativ sun'iy intellekt (generative AI) va katta til modellaridan (large language models) foydalanish orqali talabalarining tadqiqotchilik kompetensiyasini rivojlantirish imkoniyatlari nazariy jihatdan tahlil qilinadi. Tadqiqotchilik kompetensiyasi ilmiy muammoni aniqlash, tadqiqot savolini shakllantirish, adabiyotlarni izlash va tanqidiy baholash, gipoteza ishlab chiqish, metod tanlash, ma'lumotlarni tahlil qilish, ilmiy argumentatsiya qurish, akademik yozuv hamda tadqiqot etikasini o'z ichiga olgan kompleks tuzilma sifatida ko'rib chiqiladi. Maqolada AI vositalari tadqiqot faoliyatini almashtiruvchi emas, balki uni qo'llab-quvvatlovchi vosita sifatida konseptualizatsiya qilinadi va

bunda hallyutsinatsiya (hallucination), manba noaniqligi, ortiqcha tayanish (over-reliance) hamda akademik halollik bilan bog'liq xavflar muvozanatli tahlil qilinadi. Mixed-method pedagogik intervensiya dizayni asosida taklif etilgan model O'zbekiston oliy ta'lim muassasalari kontekstida AI-yordamli tadqiqotchilik ta'limini tashkil etish uchun amaliy asos yaratadi.

Kalit so'zlar: *sun'iy intellekt; generativ AI; tadqiqotchilik kompetensiyasi; oliy ta'lim; AI-savodxonlik (AI literacy); tadqiqot ko'nikmalari; tanqidiy fikrlash; akademik yozuv; axborot savodxonligi; tadqiqot metodologiyasi; akademik halollik; mustaqil fikrlash; katta til modellari; manbalarni baholash.*

Аннотация. *В современной системе высшего образования способность студентов к самостоятельной научно-исследовательской деятельности приобретает решающее значение как для академической успешности, так и для будущей профессиональной карьеры. В данной статье теоретически анализируются возможности развития исследовательской компетентности студентов посредством использования инструментов искусственного интеллекта (ИИ), в частности генеративного ИИ и больших языковых моделей. Исследовательская компетентность рассматривается как комплексная структура, включающая выявление научной проблемы, формулирование исследовательского вопроса, поиск и критическую оценку литературы, разработку гипотезы, выбор метода, анализ данных, построение научной аргументации, академическое письмо и исследовательскую этику. В статье ИИ концептуализируется не как средство, заменяющее исследовательскую деятельность студента, а как инструмент её поддержки; при этом сбалансированно анализируются риски, связанные с галлюцинациями, недостоверностью источников, чрезмерной зависимостью от технологии и академической добросовестностью. Предложенная модель, основанная на дизайне смешанного педагогического вмешательства, создаёт практическую основу для организации обучения исследовательской деятельности с поддержкой ИИ в вузах Узбекистана.*

Ключевые слова: *искусственный интеллект; генеративный ИИ; исследовательская компетентность; высшее образование; ИИ-грамотность; исследовательские навыки; критическое мышление; академическое письмо; информационная грамотность; методология исследования; академическая добросовестность; самостоятельное мышление; большие языковые модели.*

Abstract. *In contemporary higher education, students' ability to conduct independent scholarly inquiry has become essential for both academic achievement and future professional practice. This article theoretically examines the opportunities that artificial intelligence (AI) tools, particularly generative AI and large language models, offer for developing students' research competence. Research competence is conceptualized as a complex construct encompassing problem identification, research-question formulation, literature search and critical appraisal, hypothesis development, method selection, data analysis, scholarly argumentation, academic writing, and research ethics. The article positions AI not as a substitute for student inquiry but as a scaffold that supports it, while critically weighing risks such as hallucination, source unreliability, over-reliance, and threats to academic integrity. Drawing on a proposed mixed-method pedagogical intervention design, the study outlines a six-stage model - AI-assisted exploration, human verification, critical evaluation, independent synthesis, academic production, and reflection - and discusses its practical implementation for higher education institutions in Uzbekistan, with attention to the respective roles of instructors and students at each stage.*

Keywords: *artificial intelligence; generative AI; research competence; higher education; AI literacy; research skills; critical thinking; academic writing; information literacy; research methodology; academic integrity; independent thinking; large language models.*

Kirish. Oliy ta'limning asosiy vazifalaridan biri talabalarda mustaqil ilmiy izlanish olib borish, dalillarga asoslangan xulosa chiqarish va murakkab muammolarni tanqidiy tahlil qilish qobiliyatini shakllantirishdir. Tadqiqotchilik kompetensiyasi shunchaki ma'lumot topish yoki referat yozish ko'nikmasi emas, balki ilmiy muammoni sezish, uni tadqiqot savoliga aylantirish, adabiyotlarni izlab topish va ularni tanqidiy baholash, gipoteza shakllantirish, mos metodni tanlash, ma'lumotlarni tahlil qilish, ilmiy argument qurish va natijalarni akademik uslubda taqdim etish kabi ko'plab tarkibiy qismlardan iborat murakkab kompetensiyadir. An'anaviy o'quv jarayonida talabalar ko'pincha ushbu bosqichlarning har birida qiyinchiliklarga duch keladi: ilmiy adabiyotni topish va saralash vaqt talab qiladi, manbalarning ishonchligini baholash tajriba yetishmasligi sababli qiyin kechadi, tadqiqot savolini aniq shakllantirish esa alohida metodologik tayyorgarlikni talab qiladi.

So'nggi yillarda generativ sun'iy intellekt (generative AI) va katta til modellarining (large language models) keng tarqalishi ta'lim jarayoniga yangi imkoniyatlar olib kirdi. Bunday vositalar talabalarga g'oyalarni tezda ishlab chiqishda (brainstorming), adabiyotlarni topishda (literature discovery), matnlarni qisqartirib berishda (summarization), tadqiqot savolini aniqlashtirishda (research-question refinement), ma'lumotlarni tahlil qilishda yordam berishda hamda akademik yozuv jarayonida qo'llanma sifatida xizmat qilishi mumkin. Biroq bu imkoniyatlar bilan bir qatorda jiddiy xavflar ham mavjud: AI tomonidan yaratilgan ma'lumotning noto'g'ri yoki uydirma bo'lishi (hallucination), manbalarning noaniqligi, talabaning tanqidiy fikrlashdan chetlanib, AI natijasiga ortiqcha tayanishi (over-reliance) hamda akademik halollik bilan bog'liq muammolar. Shu sababli AI-savodxonlik (AI literacy) va tadqiqotchilik kompetensiyasi o'rtasidagi bog'liqlik, ya'ni talabaning AI natijasini tekshira olishi, uni tanqidiy baholay olishi va undan etik tarzda foydalana olishi alohida ilmiy-pedagogik ahamiyat kasb etadi.

Mavjud tadqiqotlar ko'pincha AI vositalarining ta'lim jarayoniga umumiy ta'sirini yoki alohida ko'nikmalarga (masalan, yozuv yoki AI-savodxonlik) ta'sirini o'rganadi, biroq AI vositalarining tadqiqotchilik kompetensiyasining barcha tarkibiy qismlariga - muammoni aniqlashdan tortib akademik yozuv va tadqiqot etikasigacha - kompleks ta'sirini tizimli tarzda tahlil qiluvchi ishlar hali yetarli emas. Ayniqsa O'zbekiston oliy ta'lim tizimida AI-yordamli tadqiqotchilik ta'limini tashkil etishning pedagogik modeli deyarli ishlab chiqilmagan. Ushbu ilmiy bo'shliqni hisobga olgan holda, mazkur maqolaning maqsadi - sun'iy intellekt vositalaridan foydalanish orqali talabalarining tadqiqotchilik kompetensiyasini rivojlantirishning nazariy asoslarini tahlil qilish va O'zbekiston oliy ta'lim muassasalari uchun amaliy pedagogik model taklif etishdir.

Adabiyotlar tahlili. Tadqiqotchilik kompetensiyasi, axborot savodxonligi va tanqidiy fikrlash o'rtasidagi aloqa. Tadqiqotchilik kompetensiyasi tushunchasi axborot savodxonligi (information literacy), tanqidiy fikrlash (critical thinking) va akademik yozuv (academic writing) tushunchalari bilan uzviy bog'liq. Bond va boshqalar oliy ta'limda sun'iy intellektga bag'ishlangan tizimli sharhlarni umumlashtirib, ushbu sohada metodologik va etik jihatlariga ko'proq e'tibor qaratish zarurligini ta'kidlaydi. Bu, o'z navbatida, talabaning nafaqat axborotni topa olishi, balki uni tanqidiy baholay olishi, dalillarni tekshira olishi va ilmiy asoslangan xulosa chiqara olishi kerakligini anglatadi. Tadqiqotchilik kompetensiyasini faqat qidiruv ko'nikmasi sifatida emas, balki muammoni aniqlashdan boshlab natijani talqin qilish va akademik matn sifatida taqdim etishgacha bo'lgan yaxlit jarayonni boshqara olish qobiliyati sifatida tushunish lozim.

AI-savodxonlik: sun'iy intellektni tanish, tushunish, qo'llash, baholash va etik navigatsiya qilish

Ng va boshqalar AI-savodxonlikni to'rtta asosiy jihat orqali kontseptualashtiradi: bilish va tushunish, qo'llash, baholash va yaratish, hamda etik masalalar. Ushbu yondashuv tadqiqotchilik kompetensiyasi bilan bevosita kesishadi, chunki talaba AI vositasidan samarali foydalanishi uchun avvalo uning ishlash tamoyillarini tushunishi, so'ngra uni tadqiqot vazifalariga moslab qo'llay olishi, olingan natijani tanqidiy baholashi va, nihoyat, undan etik tarzda foydalanishi kerak. Lintner tomonidan o'tkazilgan tizimli sharh AI-savodxonlikni o'lchovchi vositalarning aksariyati hali

yetarlicha ishonchli va kross-madaniy jihatdan tasdiqlanmaganini ko'rsatadi, bu esa AI-savodxonlik va tadqiqotchilik kompetensiyasi o'rtasidagi bog'liqlikni baholash bo'yicha yangi instrumentlar ishlab chiqish zaruratini keltirib chiqaradi.

Baig va Yadegaridehkordi ChatGPT'ning oliy ta'limdagi qo'llanilishiga bag'ishlangan tizimli sharhida ushbu vositalarning turli sohalarida - o'qitish, o'rganish, akademik yozuv va tadqiqotni qo'llab-quvvatlashda - keng qo'llanilayotganini, ammo bu boradagi tadqiqotlar hali dastlabki bosqichda ekanligini ta'kidlaydi. Delcker va boshqalar birinchi kurs talabalari orasida o'tkazilgan tadqiqotida talabalarining AI-kompetensiyasi ularning AI vositalaridan real foydalanishini bashorat qiluvchi muhim omil ekanligini aniqladi, bu esa AI-savodxonlikni maqsadli rivojlantirish zarurligini ko'rsatadi. Bu natijalar shuni ko'rsatadiki, talabalarining tadqiqot faoliyatida AI'dan samarali foydalanishi ularning oldindan shakllangan AI-kompetensiyasiga bevosita bog'liq bo'lib, bu kompetensiyani ta'lim dasturlariga maqsadli tarzda kiritish lozim.

Tadqiqotchilik faoliyati odatda quyidagi izchil bosqichlardan iborat: muammo - tadqiqot savoli - adabiyot qidirish - manbalarni baholash - metod tanlash - ma'lumot yig'ish - tahlil - talqin - ilmiy yozuv - xulosa. Har bir bosqichda AI vositalari turlicha rol o'ynashi mumkin: generativ chatbotlar dastlabki g'oyalarni ishlab chiqishda va tadqiqot savolini aniqlashtirishda yordam beradi, AI asosidagi adabiyot qidiruv tizimlari tegishli manbalarni topishni tezlashtiradi, AI yozuv yordamchilari matnni tuzishda va uslubni yaxshilashda ko'mak beradi, AI ma'lumot-tahlil vositalari esa statistik yoki sifatli tahlil jarayonini soddalashtiradi. Shu bilan birga, har bir bosqichda inson tomonidan tekshirish va tanqidiy baholash zarurligi saqlanib qoladi, aks holda AI tomonidan taklif etilgan noto'g'ri manba yoki xulosa tekshirilmasdan tadqiqotga kirib qolishi mumkin.

AI natijasini tekshirish (verification), turli manbalarni bir-biriga solishtirish (triangulation) va argumentni tanqidiy baholash tadqiqotchilik kompetensiyasining ajralmas qismidir. Talaba AI tomonidan taklif etilgan har qanday faktik da'voni, statistik ma'lumotni yoki bibliografik yozuvni mustaqil ravishda asl manba bilan solishtirib tekshirishi zarur. Bu jarayon nafaqat AI xatolarining oldini oladi, balki talabada mustaqil tanqidiy fikrlash odatini shakllantiradi, chunki tekshirish jarayonining o'zi qo'shimcha ilmiy izlanishni talab qiladi.

Zhai, Wibowo va Li o'tkazgan tizimli sharhda AI dialog tizimlariga ortiqcha tayanish talabalarining tanqidiy fikrlash, tahliliy mulohaza yuritish va qaror qabul qilish qobiliyatlariga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkinligi aniqlangan. Ularning fikricha, foydalanuvchilar tezkor va qulay yechimlarni sekin, ammo chuqurroq tahlil talab qiluvchi yechimlardan afzal ko'rish tendensiyasiga ega bo'lib boradi, bu esa uzoq muddatda mustaqil kognitiv faoliyatning susayishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli AI'dan foydalanishni tartibga soluvchi pedagogik yondashuvlar talabani AI javobini passiv qabul qilishdan emas, balki uni faol tekshirish va qayta ishlashga yo'naltirishi lozim.

Yuqoridagi tahlillarni umumlashtirib, quyidagi kontseptual formulani taklif etish mumkin: AI-savodxonlik - axborot savodxonligi - tanqidiy fikrlash - tadqiqot metodologiyasi - akademik yozuv - AI'dan etik foydalanish - tadqiqotchilik kompetensiyasining rivojlanishi. Ushbu sintez shuni ko'rsatadiki, AI vositalarining o'zi tadqiqotchilik kompetensiyasini avtomatik ravishda rivojlantirmaydi - bu faqat maqsadli pedagogik dizayn, inson tomonidan tekshirish va reflektiv amaliyot bilan uyg'unlashganda samarali natija berishi mumkin.

Metodika. Ushbu tadqiqotda real empirik ma'lumotlar mavjud emasligi sababli, metodika taklif etilayotgan tadqiqot dizayni sifatida ishlab chiqilgan. Respondentlar soni, test ballari yoki statistik ko'rsatkichlar uydirilmagan - quyida faqat kelgusi empirik tadqiqot uchun mo'ljallangan pedagogik intervensiya arxitekturasi tavsiflanadi.

Tavsiya etilayotgan tadqiqot dizayni aralash usul (mixed-method) yondashuviga, xususan kvazi-eksperimental pedagogik intervensiya modeliga asoslanadi. Tadqiqot ishtirokchilari sifatida O'zbekiston oliy ta'lim muassasalarining bakalavriat bosqichi talabalari nazarda tutiladi, ular eksperimental (AI-yordamli tadqiqotchilik intervensiyasini oluvchi) va qiyoslash (an'anaviy usulda o'qitiladigan) guruhlariga taqsimlanadi. Intervensiya davomiyligi 6–8 haftani tashkil etadi va

quyidagi izchil bosqichlarni o'z ichiga oladi: 1) tadqiqot muammosini aniqlash; 2) tadqiqot savolini shakllantirish; 3) adabiyot qidirish strategiyasini ishlab chiqish; 4) manbalarni baholash; 5) gipoteza ishlab chiqish; 6) metodologiyani tanlash; 7) ma'lumotlarni tahlil qilishda AI yordami; 8) akademik yozuv va matnni qayta ko'rib chiqish; 9) iqtibos va bibliografiyani tekshirish; 10) yakuniy refleksiya.

Intervensiya doirasida AI vositalari quyidagi kategoriyalar bo'yicha tasniflanadi: generativ AI chatbotlar (g'oyalarni ishlab chiqish va savolni aniqlashtirish uchun), AI asosidagi adabiyot qidiruv tizimlari, AI yozuv yordamchilari, AI ma'lumot-tahlil yordamchilari hamda AI kodlash/statistika yordamchilari. Tadqiqotchilik kompetensiyasini o'lchash uchun quyidagi vositalardan foydalanish tavsiya etiladi: tadqiqotchilik kompetensiyasi so'rovnomasi, axborot savodxonligi topshirig'i, manbani baholash topshirig'i, tadqiqot taklifnomasi rubrikasi, tanqidiy fikrlash rubrikasi, akademik yozuv rubrikasi, AI-savodxonlik shkalasi, refleksiya jurnali hamda yarim-strukturalangan intervyu.

Baholash indikatorlari sifatida muammoni aniqlash sifati, tadqiqot savolining aniqligi, tanlangan manbalar sifati, dalillarni baholash chuqurligi, metod tanlashning asoslanganligi, argumentatsiya mustahkamligi, ma'lumot tahlilining to'g'riligi, akademik yozuv sifati, iqtibos aniqligi (citation accuracy), AI'dan etik foydalanish va mustaqil fikrlash darajasi belgilanadi. Real empirik ma'lumotlar to'planganda, tavsiya etiladigan statistik usullar qatoriga tavsiflovchi statistika, t-test, ancova, korrelyatsion va regressiya tahlili, effekt hajmini baholash hamda sifatli ma'lumotlar uchun tematik tahlil (thematic analysis) kiradi; aniq usul tanlovi tadqiqot dizayni va to'plangan ma'lumotlar turiga mos ravishda amalga oshiriladi.

Natijalar. Real empirik dataset mavjud bo'lmagani sababli, ushbu bo'limda faqat kutilayotgan natijalar nazariy asosda tavsiflanadi; hech qanday soxta raqam yoki statistik ko'rsatkich keltirilmaydi. Tadqiqot muammosini aniqlash va tadqiqot savolini shakllantirish yo'nalishida AI-yordamli guruh talabalarining an'anaviy guruhga nisbatan aniqroq va tor doiradagi tadqiqot savollarini shakllantirishi kutiladi, chunki AI chatbotlar dastlabki keng mavzuni tezroq tor va tekshiriladigan savolga aylantirishga ko'maklashadi. Adabiyot qidirish va manbalarni baholash yo'nalishida AI asosidagi qidiruv vositalaridan foydalanish adabiyot bilan tanishish tezligini oshirishi, ammo manbalarning ishonchlilikini mustaqil tekshirish ko'nikmasi faqat maqsadli o'rgatilganda rivojlanishi kutiladi.

Tadqiqot metodologiyasi bo'yicha AI-yordamli guruh talabalari metod tanlashda AI'ning tavsiyalarini boshlang'ich nuqta sifatida ishlatib, keyin uni o'z tadqiqot maqsadiga moslashtirish ko'nikmasini namoyon etishi mumkin. Akademik yozuv yo'nalishida AI yozuv yordamchilaridan foydalanish matn tuzilishi va uslubini yaxshilashi mumkin, biroq bunda talabaning o'z fikrini mustaqil ifodalash qobiliyati saqlanib qolishi uchun aniq pedagogik chegaralar zarur bo'ladi. AI natijalarini tanqidiy baholash borasida, maqsadli o'rgatilgan tekshirish strategiyalari (masalan, har bir AI taklifini asl manba bilan solishtirish) talabalarda tekshirish odatini shakllantirishi kutiladi. Nihoyat, tadqiqot mustaqilligi nuqtai nazaridan, olti bosqichli pedagogik model (AI-yordamli izlanish, inson tomonidan tekshirish, tanqidiy baholash, mustaqil sintez, akademik ishlab chiqarish, refleksiya) qo'llanilgan guruhda talabalarining AI'ga ortiqcha tayanish darajasi pastroq, mustaqil tanqidiy fikrlash darajasi esa yuqoriroq bo'lishi taxmin qilinadi.

Muhokama. Yuqorida keltirilgan nazariy tahlil va kutilayotgan natijalarni adabiyotlar bilan taqqoslab, quyidagi savollarga javob berish mumkin. AI tadqiqotchilik kompetensiyasini rivojlantirishi mumkin, chunki u talabani rutin va vaqt talab qiluvchi vazifalardan (masalan, dastlabki adabiyot qidirish yoki matnni tuzilmalash) qisman ozod qilib, uning e'tiborini yuqori darajadagi kognitiv vazifalarga - tanqidiy baholash, argumentatsiya va talqin qilishga - qaratishga imkon beradi. Biroq bu ta'sir avtomatik emas: AI qaysi tadqiqot bosqichlarida eng katta pedagogik qiymatga ega bo'lishi ko'p jihatdan pedagogning ushbu vositani qanday integratsiya qilishiga bog'liq. G'oyalarni ishlab chiqish, adabiyot qidirish va matnni tahrirlash bosqichlarida AI'ning qiymati

alohida yuqori, ammo gipoteza shakllantirish va natijalarni talqin qilish kabi bosqichlarda inson mulohazasi hal qiluvchi rolni saqlab qoladi.

AI'dan foydalanish bilan real tadqiqotchilik kompetensiyasi o'rtasidagi farq shundaki, birinchisi vositadan foydalanish chastotasini, ikkinchisi esa talabaning mustaqil ravishda ilmiy fikrlay olish qobiliyatini anglatadi - bu ikkisi har doim ham bir-biriga mutanosib bo'lavermaydi. Talaba AI javobini tekshirishi uchun triangulyatsiya usulidan, ya'ni bir nechta mustaqil manbani solishtirishdan foydalanishi, shuningdek har bir muhim faktik da'voni asl ilmiy manba bilan tasdiqlashi zarur. AI-savodxonlik va tadqiqotchilik kompetensiyasi o'zaro bog'liq, ammo bir xil emas: birinchisi vositani tushunish va undan foydalanish qobiliyati, ikkinchisi esa ilmiy jarayonni boshqarish qobiliyatidir.

Over-reliance, ya'ni AI'ga ortiqcha tayanish, talaba AI natijasini tekshirishni to'xtatib, uni tanqidsiz qabul qila boshlaganda mustaqil fikrlashni zaiflashtirishi mumkin. Bunday holatning oldini olishda o'qituvchining roli hal qiluvchi ahamiyat kasb etadi: o'qituvchi AI'dan foydalanish qoidalarini belgilashi, tekshirish topshiriqlarini loyihalashi va talabalarni AI natijasini tanqidiy baholashga o'rgatishi lozim. O'zbekiston OTMlarida AI-yordamli tadqiqotchilik pedagogikasini tashkil etish uchun quyidagi olti bosqichli model tahlil qilinadi: 1) AI-yordamli izlanish (AI-assisted exploration) - talaba AI yordamida mavzu va dastlabki g'oyalarni shakllantiradi; 2) inson tomonidan tekshirish (human verification) - talaba AI natijalarini asl manbalar bilan solishtiradi; 3) tanqidiy baholash (critical evaluation) - talaba manbalar va argumentlarning sifatini baholaydi; 4) mustaqil sintez (independent synthesis) - talaba turli manba va AI natijalarini o'z tahlili bilan birlashtiradi; 5) akademik ishlab chiqarish (academic production) - talaba yakuniy matnni mustaqil tarzda yozadi; 6) refleksiya (reflection) - talaba o'z tadqiqot jarayonini va AI'dan foydalanishini tahlil qiladi.

Akademik halollikni ta'minlash uchun AI'dan foydalanishni ochiq e'lon qilish (AI disclosure), iqtibos va bibliografiyani mustaqil tekshirish hamda yakuniy xulosani talabaning o'zi shakllantirishi talab etiladi. Shu tarzda AI tadqiqotchilik kompetensiyasini o'rni bosuvchi emas, balki uni rivojlantiruvchi vosita sifatida integratsiya qilinishi mumkin.

Xulosa. Mazkur maqolada sun'iy intellekt vositalari asosida talabalarning tadqiqotchilik kompetensiyasini rivojlantirishning nazariy asoslari tahlil qilindi. Tadqiqotchilik kompetensiyasi ilmiy muammoni aniqlash, akademik yozuv va tadqiqot etikasini qamrab oluvchi ko'p qirrali kompetensiya ekanligi, AI esa tadqiqotni almashtiruvchi emas, balki qo'llab-quvvatlovchi vosita sifatida qaralishi lozimligi ko'rsatildi. AI-savodxonlik, tanqidiy fikrlash va akademik halollik muhim shartlar sifatida belgilandi. Taklif etilgan olti bosqichli pedagogik model O'zbekiston OTMlari uchun amaliy ahamiyatga ega. Tadqiqot nazariy-konseptual tahlil bilan cheklangan bo'lib, kelgusida modelni real pedagogik eksperiment va mixed-method yondashuv asosida turli ta'lim yo'nalishlarida sinovdan o'tkazish tavsiya etiladi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI:

[1] Baig, M. I., and Yadegaridehkordi, E. (2024). ChatGPT in higher education: A systematic literature review and research challenges. *International Journal of Educational Research*, 127, 102411. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2024.102411>

[2] Bond, M., Khosravi, H., De Laat, M., Bergdahl, N., Negrea, V., Oxley, E., Pham, P., Chong, S. W., and Siemens, G. (2024). A meta systematic review of artificial intelligence in higher education: A call for increased ethics, collaboration, and rigour. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21, 4. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00436-z>

[3] Delcker, J., Heil, J., Ifenthaler, D., Seufert, S., and Spirgi, L. (2024). First-year students' AI-competence as a predictor for intended and de facto use of AI-tools for supporting learning processes in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21, 18. <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00452-7>

[4] Lintner, T. (2024). A systematic review of AI literacy scales. npj Science of Learning, 9, 50. <https://doi.org/10.1038/s41539-024-00264-4>

[5] Ng, D. T. K., Leung, J. K. L., Chu, S. K. W., and Qiao, M. S. (2021). Conceptualizing AI literacy: An exploratory review. Computers and Education: Artificial Intelligence, 2, 100041. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100041>

[6] UNESCO. (2023). Guidance for generative AI in education and research. UNESCO. <https://doi.org/10.54675/EWZM9535>

[7] Zhai, C., Wibowo, S., and Li, L. D. (2024). The effects of over-reliance on AI dialogue systems on students' cognitive abilities: A systematic review. Smart Learning Environments, 11, 28. <https://doi.org/10.1186/s40561-024-00316-7>

GRAF NAZARIYASINING ZAMONAVIY AXBOROT TEXNOLOGIYALARIDAGI QO‘LLANILISHI

Ro‘ziyeva Zarnigor Otabek qizi

Farg‘ona davlat texnika universiteti, Farg‘ona 150100, O‘zbekiston, E-mail:
zroziyeva462@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada graf nazariyasining zamonaviy axborot texnologiyalaridagi o‘rni va amaliy ahamiyati tahlil qilinadi. Graf nazariyasi obyektlar va ular o‘rtasidagi munosabatlarni matematik jihatdan ifodalash imkonini beruvchi diskret matematikaning muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Maqolada graf tushunchasining mazmuni, uning asosiy elementlari, graflarning asosiy turlari va ularni kompyuter texnologiyalarida ifodalash usullari yoritiladi. Shuningdek, graf nazariyasining kompyuter va telekommunikatsiya tarmoqlari, internet, navigatsiya va logistika tizimlari, ijtimoiy tarmoqlar, ma‘lumotlar bazalari, kiberxavfsizlik, sun‘iy intellekt, robototexnika va elektron qurilmalarni loyihalashdagi qo‘llanilishi tahlil qilinadi. Zamonaviy raqamli texnologiyalarning rivojlanishi natijasida turli obyektlar o‘rtasidagi bog‘lanishlarni aniqlash va boshqarish masalalari tobora murakkablashib borayotgani hamda bunday jarayonlarni samarali modellashtirishda graf nazariyasi muhim vosita bo‘lib xizmat qilishi asoslab beriladi. Maqolada O‘zbekistonda raqamlashtirish va sun‘iy intellektni rivojlantirish jarayonlarida graf nazariyasidan foydalanishning istiqbolli yo‘nalishlari hamako‘ribachiqladi.

Kalit so‘zlar: graf nazariyasi, diskret matematika, axborot texnologiyalari, raqamlashtirish, kompyuter tarmoqlari, internet, algoritm, sun‘iy intellekt, kiberxavfsizlik, ma‘lumotlar tarmog‘i, optimallashtirish.

Аннотация. В статье анализируются роль и практическое значение теории графов в современных информационных технологиях. Теория графов является одним из важных разделов дискретной математики, позволяющим математически описывать объекты и взаимосвязи между ними. В статье рассматриваются содержание понятия графа, его основные элементы, виды графов и способы их представления в компьютерных технологиях. Особое внимание уделяется применению теории графов в компьютерных и телекоммуникационных сетях, Интернете, навигационных и логистических системах, социальных сетях, базах данных, кибербезопасности, искусственном интеллекте, робототехнике и проектировании электронных устройств. Обосновывается, что развитие современных цифровых технологий приводит к усложнению задач, связанных с анализом и управлением взаимосвязями между различными объектами, а теория графов является эффективным инструментом моделирования таких процессов. Также рассматриваются перспективные направления применения теории графов в условиях цифровизации и развития искусственного интеллекта в Узбекистане.

Ключевые слова: теория графов, дискретная математика, информационные технологии, цифровизация, компьютерные сети, Интернет, алгоритм, искусственный интеллект, кибербезопасность, сеть данных, оптимизация.

Abstract. This article analyzes the role and practical significance of graph theory in modern information technologies. Graph theory is an important branch of discrete mathematics that provides effective methods for representing objects and relationships between them. The article discusses the concept of a graph, its main elements, types of graphs, and methods of representing graph structures in computer technologies. Particular attention is paid to applications of graph theory in computer and telecommunication networks, the Internet, navigation and logistics systems, social networks, databases, cybersecurity, artificial intelligence, robotics, and electronic device design. The paper demonstrates that the development of modern digital technologies leads to increasingly complex problems related to analyzing and managing relationships between different objects, while graph theory provides an effective mathematical framework for modeling such processes. The article also discusses promising applications of graph theory in the digital transformation of Uzbekistan and the development of artificial intelligence technologies.

Keywords: graph theory, discrete mathematics, information technologies, digitalization, computer networks, Internet, algorithm, artificial intelligence, cybersecurity, data networks, optimization.

XXI asrda axborot texnologiyalarining jadal rivojlanishi natijasida inson faoliyatining deyarli barcha sohalarida turli obyektlar o'rtasidagi bog'lanishlar soni keskin ortib bormoqda. Kompyuterlar, mobil qurilmalar, internet tarmoqlari, ma'lumotlar bazalari, transport tizimlari, ijtimoiy tarmoqlar va sun'iy intellekt tizimlarining faoliyati ko'plab obyektlar hamda ular o'rtasidagi aloqalarning mavjudligi bilan xarakterlanadi. Ana shunday murakkab bog'lanishlarni ifodalash, tahlil qilish va boshqarishda graf nazariyasi muhim matematik vosita sifatida namoyon bo'lmoqda. Bugungi kunda raqamlashtirish jarayoni mamlakatlar taraqqiyotining muhim omillaridan biriga aylanmoqda. O'zbekiston Respublikasida ham raqamli texnologiyalarni rivojlantirish, zamonaviy axborot texnologiyalarini keng joriy etish va sun'iy intellekt imkoniyatlaridan foydalanishga katta e'tibor qaratilmoqda. Prezident Shavkat Mirziyoyev 2025-yil noyabr oyida sun'iy intellekt bo'yicha xalqaro forumning ochilishida so'zlagan nutqida XXI asrda axborot texnologiyalari va raqamlashtirish har bir mamlakat taraqqiyotining asosiy mezonlaridan biriga aylanayotganini ta'kidlagan. Shuningdek, davlat rahbari Muhammad al-Xorazmiy, Abu Rayhon Beruniy va Mirzo Ulug'bek kabi buyuk ajdodlarimiz matematika, algoritim va mantiq fanlari rivojiga katta hissa qo'shganini qayd etgan. Bu fikrlar matematika va zamonaviy axborot texnologiyalari o'rtasidagi chuqur bog'liqlikni ko'rsatadi. Ayniqsa, diskret matematikaning muhim bo'limlaridan biri bo'lgan graf nazariyasi zamonaviy raqamli texnologiyalarning matematik asoslaridan biri sifatida katta ahamiyat kasb etmoqda[7,8].

Graf nazariyasi amaliy matematikaning muhim yo'nalishlaridan biri bo'lib, obyektlar va ular o'rtasidagi munosabatlarni tasvirlash uchun qulay vosita hisoblanadi. O'zbek tilidagi "Graflar nazariyasi" nomli oliy ta'lim uchun uslubiy qo'llanma tavsifida ham mazkur nazariyaning murakkab jarayonlarni loyihalashda, jumladan, elektron qurilmalarni yaratish va ularning elementlarini tahlil qilish hamda sintez qilishda qo'llanilishi qayd etilgan. Shu nuqtayi nazardan, graf nazariyasining zamonaviy axborot texnologiyalaridagi imkoniyatlarini o'rganish dolzarb ilmiy-amaliy masalalardan biridir.

Graf nazariyasi diskret matematikaning obyektlar va ular o'rtasidagi munosabatlarni o'rganadigan yo'nalishidir. Grafning asosiy g'oyasi juda sodda: biror tizimdagi obyektlar alohida nuqtalar sifatida, ular o'rtasidagi bog'lanishlar esa ushbu nuqtalarni birlashtiruvchi aloqalar sifatida qaraladi. Masalan, kompyuter tarmog'idagi kompyuterlarni grafning obyektlari, kompyuterlar o'rtasidagi aloqa kanallarini esa bog'lanishlar sifatida tasavvur qilish mumkin. Xuddi shuningdek, shaharlarni obyektlar, ular orasidagi avtomobil yo'llarini bog'lanishlar sifatida qarash mumkin. Ijtimoiy tarmoqda foydalanuvchilar obyektlar bo'lsa, ularning do'stlik yoki kuzatuv aloqalari bog'lanishlarni ifodalaydi. Demak, graf nazariyasining asosiy kuchi real hayotdagi murakkab munosabatlarni soddalashtirilgan va tahlil qilish mumkin bo'lgan modelga aylantirishdanaiborat.

Graf nazariyasining shakllanishi XVIII asrda Leonard Eyler tomonidan Kyonigsberg ko'priklari masalasining tadqiq qilinishi bilan bog'liq. Keyinchalik graf nazariyasi matematikada mustaqil yo'nalish sifatida shakllanib, uning natijalari elektr zanjirlari, yo'l tarmoqlari, avtomatlar,

blok-sxemalar va kompyuter dasturlarini tadqiq qilishda qo'llanila boshlagan. O'zbek tilidagi H. To'rayevning "Matematik mantiq va diskret matematika" asarlarida ham graf nazariyasining tarixiy shakllanishi va uning turli amaliy sohalaridagi qo'llanilishi batafsil yoritilgan. Bugungi kunda esa graf nazariyasining qo'llanish sohasi ancha kengayib, internet, telekommunikatsiya, sun'iy intellekt, ma'lumotlar tahlili, kiberxavfsizlik va boshqa zamonaviy texnologiyalarni ham qamrabaolgan[1].

Axborot texnologiyalarida turli xususiyatlarga ega bo'lgan graflardan foydalaniladi.

- Yo'naltirilmagan graflarda obyektlar o'rtasidagi bog'lanish ikki tomonlama xarakterga ega bo'ladi. Masalan, ijtimoiy tarmoqdagi ikki foydalanuvchining o'zaro do'stligi shunday munosabat sifatida qaralish mumkin.

- Yo'naltirilgan graflarda esa bog'lanishning yo'nalishi mavjud bo'ladi. Masalan, bir foydalanuvchining ikkinchi foydalanuvchini kuzatishi yoki internetdagi ma'lumot oqimining bir serverdan boshqasiga uzatilishi yo'naltirilgan bog'lanish sifatida ifodalanadi.

- Og'irlikka ega graflarda bog'lanishlarning muayyan qiymati mavjud bo'ladi. Masalan, shaharlar orasidagi masofa, internet kanalining uzatish tezligi yoki transport yo'lining xarajati bog'lanishning og'irligi sifatida qaralishi mumkin.

- Bog'langan graflarda obyektlar o'rtasida ma'lum yo'llar orqali aloqa mavjud bo'ladi.

- Siklik graflarda boshlang'ich nuqtaga qaytish imkonini beruvchi yopiq yo'nalishlar mavjud.

Ushbu turli graf modellarining mavjudligi axborot texnologiyalaridagi turli vazifalarni matematik jihatdan ifodalash imkonini beradi[2].

Graf nazariyasining eng muhim qo'llanish sohalaridan biri kompyuter tarmoqlaridir. Kompyuter tarmog'ida har bir kompyuter, server yoki boshqa qurilmani grafning alohida obyekti sifatida qarash mumkin. Ular o'rtasidagi aloqa kanallari esa grafning bog'lanishlarini ifodalaydi. Bunday model yordamida tarmoqning tuzilishini o'rganish, ma'lumotlarning qaysi yo'nalish orqali uzatilishini aniqlash, tarmoqdagi muhim tugunlarni topish va tarmoqning ishonchligini baholash mumkin. Masalan, agar biror server juda ko'p aloqa yo'nalishlarining kesishish nuqtasi bo'lsa, uning ishdan chiqishi butun tizimga katta ta'sir ko'rsatishi mumkin. Graf nazariyasi bunday muhim tugunlarni aniqlash imkonini beradi. Shuningdek, tarmoqdagi ortiqcha yuklanishlarni aniqlash va ma'lumotlar oqimini samarali taqsimlashda ham graf algoritmlaridan foydalaniladi.

Internetni ulkan graf sifatida tasavvur qilish mumkin. Bu grafda veb-sahifalar obyektlar, sahifalar o'rtasidagi havolalar esa bog'lanishlar sifatida qaraladi. Bunday yondashuv internetdagi sahifalar o'rtasidagi munosabatlarni o'rganish imkonini beradi. Qaysi sahifalar ko'proq havolaga ega ekani, qaysi sahifalar muhimroq ekanligi va ma'lumotlarning qanday tarqalishi graf nazariyasiga asoslangan usullar yordamida tahlil qilinishi mumkin. Qidiruv tizimlarining ishlashida ham tarmoqlardagi obyektlarning o'zaro bog'lanishlarini baholash muhim ahamiyatga ega. Shu sababli graf nazariyasi internet qidiruvi va web-texnologiyalar rivojining muhim matematik asoslaridan biri hisoblanadi.

Facebook, Instagram, Telegram, LinkedIn kabi ijtimoiy platformalarda millionlab foydalanuvchilar o'zaro turli shakllarda bog'langan. Har bir foydalanuvchini grafdagi obyekt sifatida, foydalanuvchilar o'rtasidagi do'stlik, kuzatuv, obuna yoki muloqot munosabatlarini esa bog'lanish sifatida tasavvur qilish mumkin.

Shunday graf asosida:

- * foydalanuvchilar o'rtasidagi munosabatlarni tahlil qilish;
- * eng faol foydalanuvchilarni aniqlash;
- * axborotning tarqalish yo'nalishlarini o'rganish;
- * jamoalar va guruhlarini aniqlash;
- * tavsiya tizimlarini takomillashtirish;
- * reklama strategiyalarini ishlab chiqish

mumkin. Masalan, ijtimoiy tarmoqda ma'lum bir xabar juda qisqa vaqt ichida katta auditoriyaga yetib borishi mumkin. Bunday axborot tarqalishini graf modeli yordamida o'rganish mumkin. Bu esa graf nazariyasining nafaqat sof matematik, balki ijtimoiy va texnologik ahamiyatga ham ega ekanini ko'rsatadi[3].

Zamonaviy navigatsiya tizimlari ham graf nazariyasi bilan chambarchas bog'liq. Xaritada shaharlar, chorrahalar yoki muhim geografik nuqtalarni graf obyektlari sifatida, ular orasidagi yo'llarni esa bog'lanishlar sifatida qarash mumkin. Shunda eng qisqa yoki eng qulay yo'lni aniqlash masalasi graf nazariyasining klassik masalalaridan biriga aylanadi. Bugungi Google Maps, Yandex Maps va boshqa navigatsiya tizimlarida foydalanuvchiga optimal yo'nalish tavsiya qilish uchun juda katta hajmdagi ma'lumotlar qayta ishlanadi. Yo'llarning uzunligi, tirbandlik darajasi, harakat tezligi, yo'lning yopiq yoki ochiq kabi omillar hisobga olinadi. Shu sababli graf algoritmlari zamonaviy navigatsiya texnologiyalarining muhim matematik vositalaridan biridir. Logistika tizimlarida ham xuddi shunday yondashuv qo'llanadi. Mahsulotlarni bir nechta manzillar bo'yicha yetkazib berishda transport xarajatlarini va vaqtni kamaytirish uchun graf asosidagi algoritmlardan foydalanish mumkin.

Axborot xavfsizligi masalalarining murakkablashib borishi ham graf nazariyasiga bo'lgan ehtiyojni oshirmoqda. Kompyuter tarmog'idagi qurilmalar va ular o'rtasidagi aloqalarni graf sifatida tasvirlash orqali shubhali bog'lanishlarni aniqlash mumkin. Masalan, tarmoqdagi odatiy faoliyatdan keskin farq qiluvchi aloqa shakllari xavfsizlik nuqtayi nazaridan tekshirilishi mumkin.

Graf modeli yordamida:

- * tarmoqdagi zaif tugunlarni aniqlash;
 - * hujum tarqalish yo'nalishini kuzatish;
 - * shubhali aloqa zanjirlarini topish;
 - * tarmoqdagi muhim serverlarni himoyalash;
 - * zararli dasturlarning tarqalish mexanizmini o'rganish
- mumkin.

Demak, graf nazariyasi kiberxavfsizlik tizimlarida tahdidlarni aniqlash va ularning tarqalishini tahlil qilish uchun samarali vosita bo'lib xizmat qiladi.

Sun'iy intellektning rivojlanishi graf nazariyasining yangi imkoniyatlarini yuzaga chiqarmoqda. Bugungi kunda ko'plab ma'lumotlar o'zaro bog'langan holatda mavjud. Masalan, ijtimoiy tarmoqdagi foydalanuvchilar, internetdagi sahifalar, biologik obyektlar, transport tarmoqlari va moliyaviy munosabatlar bir-biri bilan bog'langan murakkab tizimlarni tashkil qiladi. Bunday ma'lumotlarni oddiy jadval shaklida ifodalash har doim ham yetarli emas. Shu sababli sun'iy intellektda grafga asoslangan mashinali o'qitish usullari rivojlanmoqda. Graf asosidagi sun'iy intellekt usullari obyektning o'zini emas, balki uning atrofidagi obyektlar bilan munosabatini ham hisobga olish imkonini beradi. Bu esa tavsiya tizimlari, firibgarlikni aniqlash, ijtimoiy tarmoqlarni tahlil qilish, bilimlar graflari va tabiiy tilni qayta ishlash kabi yo'nalishlarda katta ahamiyatga ega. O'zbekistonda ham sun'iy intellektni rivojlantirishga katta e'tibor berilmoqda. 2025-yilda davlat boshqaruvi, iqtisodiyot, ta'lim, tibbiyot, transport va boshqa sohalarda sun'iy intellekt texnologiyalarini keng joriy etish bo'yicha vazifalar belgilangan. Bunday sharoitda graf nazariyasi asosidagi algoritmlardan foydalanish istiqbolli yo'nalishlardan biridir.

Robototexnika tizimlarida robotning harakatlanishi, muhitni anglash va optimal yo'lni tanlashi muhim vazifalardan hisoblanadi. Robot harakatlanadigan muhitdagi nuqtalar va yo'nalishlarni graf sifatida tasvirlash mumkin. Bunda robot uchun to'siqlardan qochib, belgilangan manzilga yetib borish imkonini beruvchi optimal yo'nalish aniqlanadi. Avtonom transport vositalari, dronlar va sanoat robotlarining rivojlanishida ham bunday algoritmlarning ahamiyati katta. Shuning uchun graf nazariyasi robototexnika va intellektual boshqaruv tizimlarining matematik asoslaridan biri sifatida qaralmoqda[4].

Graf nazariyasining elektron qurilmalarni loyihalashdagi ahamiyati ham katta. Elektr zanjirlaridagi elementlar va ular o'rtasidagi ulanishlar graf yordamida modellashtirilishi mumkin. Bunday modellashtirish elektron qurilmaning tuzilishini tahlil qilish, elementlar o'rtasidagi aloqalarni o'rganish va tizimni optimallashtirish imkonini beradi.

O'zbekistondagi oliy ta'lim uchun "Graflar nazariyasi" uslubiy qo'llanmasida ham graf nazariyasining elektron qurilmalarni yaratish, ularning elementlarini tahlil qilish va sintez qilishdagi ahamiyati qayd etilgan.

Shuning uchun zamonaviy dasturchilar va axborot texnologiyalari mutaxassisleri uchun graf nazariyasining asoslarini bilish muhim ahamiyatga ega.

Graf nazariyasidan foydalanishning bir qator muhim afzalliklari mavjud.

Birinchidan, murakkab tizimlarni sodda va tushunarli shaklda ifodalash imkonini beradi.

Ikkinchidan, obyektlar o'rtasidagi munosabatlarni aniq ko'rsatadi.

Uchinchidan, katta tarmoqlardagi muhim elementlarni aniqlash imkonini beradi.

To'rtinchidan, optimal yo'nalish va qarorlarni izlashga yordam beradi.

Beshinchidan, kompyuter algoritmlari yordamida juda katta hajmdagi tarmoqlarni avtomatik tahlil qilish mumkin.

Oltinchidan, turli fan va texnologiya sohalaridagi masalalarni yagona matematik model asosida ifodalash imkonini beradi.

Kelajakda graf nazariyasining ahamiyati yanada ortishi kutiladi. Buning asosiy sababi raqamli tizimlarda o'zaro bog'langan ma'lumotlar hajmining doimiy ravishda oshib borayotganidir.

Ayniqsa, quyidagi yo'nalishlar istiqbolli hisoblanadi:

- * sun'iy intellekt;
- * bilimlar graflari;
- * katta ma'lumotlarni tahlil qilish;
- * kiberxavfsizlik;
- * raqamli egizaklar;
- * aqlli shaharlar;
- * avtonom transport;
- * robototexnika;
- * internet tarmoqlarini boshqarish;
- * ijtimoiy tarmoqlar tahlili;
- * biologik va tibbiy tarmoqlarni tadqiq qilish[5,6].

Graf nazariyasi zamonaviy axborot texnologiyalarining muhim matematik asoslaridan biridir. Uning asosiy afzalligi murakkab tizimlarda mavjud bo'lgan obyektlar va ular o'rtasidagi munosabatlarni yagona matematik model yordamida ifodalash imkoniyatidan iborat. Tadqiqot davomida graf nazariyasining kompyuter tarmoqlari, internet, navigatsiya, logistika, ijtimoiy tarmoqlar, ma'lumotlar bazalari, kiberxavfsizlik, sun'iy intellekt, robototexnika va elektron tizimlardagi ahamiyati tahlil qilindi. Graf nazariyasi yordamida murakkab tarmoqlardagi eng muhim obyektlarni aniqlash, optimal yo'nalishlarni topish, ma'lumotlar oqimini tahlil qilish, tarmoq xavfsizligini oshirish va o'zaro bog'langan ma'lumotlardan yangi bilimlarni ajratib olish mumkin. Ayniqsa, sun'iy intellekt va katta ma'lumotlar texnologiyalarining rivojlanishi graf modellariga bo'lgan ehtiyojni yanada kuchaytirmoqda. Chunki zamonaviy raqamli muhitdagi ma'lumotlarning katta qismi alohida obyektlardan emas, balki ular o'rtasidagi murakkab munosabatlardan tashkil topadi. O'zbekistonning raqamli transformatsiya va sun'iy intellektni rivojlantirishga qaratilgan siyosati sharoitida graf nazariyasining amaliy imkoniyatlaridan foydalanish yangi raqamli yechimlarni yaratish uchun muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qilishi mumkin. Shunday qilib, graf nazariyasi bugungi kunda faqat diskret matematikaning nazariy bo'limi bo'lib qolmasdan, zamonaviy axborot texnologiyalarini loyihalash, tahlil qilish, optimallashtirish va intellektuallashtirishning muhim matematik vositalaridan biri sifatida namoyon bo'lmoqda.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] To'rayev H.T., Azizov I. Matematik mantiq va diskret matematika. – Toshkent.
- [2] Sadaddinova S.S. Diskret matematika. 1-qism. O'quv qo'llanma. – Toshkent: Aloqachi, 2019. Ushbu qo'llanmada diskret matematika kursi doirasida to'plamlar nazariyasi, kombinatorika, graflar nazariyasi, munosabatlar, chekli avtomatlar va boshqa mavzular yoritilgan.
- [3] Graflar nazariyasi. Oliy ta'lim uchun uslubiy qo'llanma. – 2023. Ziyonet elektron kutubxonasi. Qo'llanmada graf nazariyasining amaliy matematika, elektron qurilmalar va fan-texnika taraqqiyotidagi ahamiyati yoritilgan.

- [4] To‘rayev H.T. Matematik mantiq va diskret matematika. 1-jild. – Toshkent, 2011.
- [5] To‘rayev H.T. Matematik mantiq va diskret matematika. 2-jild. – Toshkent, 2011.
- [6] Zaxiriddinova Sh., Mamadaliyeva M. Diskret matematika va matematik mantiq tarixi va uning asoslari. Tarixiy ma’lumotlar. – “Ilm-fan va innovatsiya” ilmiy-amaliy konferensiyasi materiallari, 2025.
- [7] Mirziyoyev Sh.M. Raqamli texnologiyalar sohasidagi rejalar taqdimot qilindi. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti rasmiy veb-sayti, 2025-yil 1-iyul.
- [8] Mirziyoyev Sh.M. Sun’iy intellekt texnologiyalarini joriy qilish yangi bosqichga olib chiqiladi. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti rasmiy veb-sayti, 2025-yil 21-oktabr.

CHALLENGES AND SOLUTIONS IN MATHEMATICAL MODELLING IN UZBEKISTAN

Sodikkhujueva Shakhnoza Khursanjon qizi,

Fergana State Technic University, Uzbekistan

Abstract. *This paper examines methodological and practical barriers to mathematical modelling in Uzbekistan, focusing on data reliability, regional heterogeneity and the translation of analytical results into operational decisions. Official publications on irrigation and geospatial information provide the national context. A dimensionless convex optimization model is proposed for allocating irrigation water while accounting for delivery losses, unmet demand and pumping energy. A validation protocol based on held-out observations, scenario analysis and comparison with existing allocation practices is described. The formulation is illustrative and is not presented as an empirically validated intervention.*

Keywords: *mathematical modelling; Uzbekistan; optimization; water allocation; data quality; energy efficiency.*

Annotatsiya. *Maqolada O‘zbekistonda matematik modellashtirishning metodologik va amaliy muammolari, xususan, ma’lumotlarning ishonchliligi, hududiy farqlar va hisoblash natijalarini amaliy qarorlarga joriy etish masalalari tahlil qilinadi. Sug‘orish suvi taqsimoti uchun suv yetkazishdagi yo‘qotishlar, suv tanqisligi va nasoslarning energiya sarfini hisobga oluvchi qavariq optimallashtirish modeli taklif etiladi. Modelni tekshirish usullari bayon qilinadi; amaliy samaradorlik tajribada tasdiqlangan deb ta’kidlanmaydi.*

Kalit so‘zlar: *matematik modellashtirish; O‘zbekiston; optimallashtirish; suv taqsimoti; ma’lumotlar sifati; energiya samaradorligi.*

Аннотация. *Рассматриваются методологические и практические проблемы математического моделирования в Узбекистане, включая достоверность данных, региональные различия и внедрение результатов расчётов в практику. Предложена выпуклая оптимизационная модель распределения оросительной воды с учётом потерь при доставке, дефицита водообеспечения и энергозатрат насосов. Описана процедура проверки модели на независимых наблюдениях и при различных сценариях; экспериментально подтверждённые результаты не заявляются.*

Ключевые слова: *математическое моделирование; Узбекистан; оптимизация; распределение воды; качество данных; энергоэффективность.*

INTRODUCTION

Mathematical modelling converts observations and assumptions into testable representations of physical, economic and engineering systems. In Uzbekistan, its potential applications include irrigation management, power-system planning, industrial process control and urban infrastructure. Yet a mathematically elegant model can still yield poor decisions when its input data are inconsistent, its assumptions ignore local conditions, or its predictions are never compared with real observations.

The irrigation sector illustrates why these issues matter. According to the World Bank's 21 May 2025 project announcement, agriculture accounts for about 90% of Uzbekistan's water consumption. The same announcement describes ageing irrigation infrastructure and water losses, as well as the energy burden of pumped irrigation [1]. These figures are sector-wide background indicators, not measurements from the model proposed here.

The objective of this paper is to identify key obstacles to applied mathematical modelling in Uzbekistan and develop a reproducible framework for addressing them. The proposed framework is illustrated through an irrigation-water allocation problem that jointly considers water scarcity and pumping requirements.

MATERIALS AND METHODS

This is a methodological study based on documentary analysis and mathematical formulation, rather than a field experiment. Contextual evidence is drawn from World Bank publications on irrigation, geospatial information and climate-related development, together with the official website of Uzbekistan's National Statistics Committee [1–4]. The modelling approach uses constrained optimization, sensitivity analysis and out-of-sample evaluation. No farm-level dataset was obtained and no numerical performance improvement is claimed.

A sound application should proceed through five linked stages: (i) define the decision, spatial coverage and time horizon; (ii) establish data provenance and harmonize measurement units; (iii) estimate and document model parameters; (iv) solve the constrained problem; and (v) compare model outputs against independent observations and the current management procedure. Keeping these stages auditable is as important as selecting a sophisticated algorithm.

Main challenges and corresponding solutions

Data availability and consistency. Input series can differ in spatial resolution, reporting frequency and measurement methods. The World Bank identified limited access to reliable, up-to-date geospatial information on land and infrastructure as a constraint on planning and investment in Uzbekistan [2]. The National Statistics Committee operates an official statistical website and provides access to open-data resources [3]. However, the existence of a portal does not itself establish whether a particular dataset is sufficiently detailed for a local engineering problem. A practical response is to use documented metadata, unit checks, missing-value rules and version-controlled datasets; measured values should be distinguished from estimates and projections.

Regional transferability. One set of parameters cannot automatically describe farms in different climatic zones, soils or hydraulic networks. For irrigation applications, crop-water demand, canal efficiency and pumping energy should therefore be calibrated separately for the region and period under study. Parameter ranges, rather than unexplained point estimates, should be reported where observations are sparse.

Implementation and validation. A model optimized on historical data may perform differently when demand changes or equipment fails. Its usefulness depends on whether planners can interpret outputs, inspect constraints and revise decisions. Pilot studies should connect researchers with water-management organizations, maintain a baseline allocation method and record the actual delivered volumes and energy consumed. Training should combine mathematics with statistics, programming, domain knowledge and reproducible reporting.

An illustrative irrigation allocation model

Consider n agricultural plots over one fixed allocation period. Let q_i denote water delivered to plot i (m^3), d_i its estimated water requirement (m^3), η_i the fraction of withdrawn water that reaches the plot ($0 < \eta_i \leq 1$), and e_i the pumping energy per cubic metre withdrawn (kWh/m^3). Let W be the total water available at the network intake (m^3), l_i a minimum delivery requirement (m^3), $\alpha_i > 0$ a relative priority weight, $E_0 > 0$ a reference energy (kWh), and $\lambda \geq 0$ a policy-defined trade-off weight. A dimensionless objective is:

$$J(q) = \sum_i \alpha_i \left[\left(\frac{d_i - q_i}{d_i} \right)^2 + \left(\frac{\lambda}{E_0} \right) \sum_i \left(\frac{e_i q_i}{\eta_i} \right) \right] \rightarrow \min. \quad (1)$$

The first term penalizes relative unmet demand; the second penalizes pumping energy. The decision vector is subject to the resource and delivery constraints:

$$\sum_i \left(\frac{q_i}{\eta_i} \right) \leq W; \quad l_i \leq q_i \leq d_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (2)$$

Here, the sums extend from $i = 1$ to n . Feasibility requires $\sum_i \left(\frac{l_i}{\eta_i} \right) \leq W$. With fixed positive d_i and η_i , the objective is convex and the constraints are linear, so standard quadratic-programming software can solve the formulation. Positive priority weights make the quadratic part strictly convex in q , yielding a unique optimum when the feasible set is nonempty. Neither the weights nor the efficiencies should be invented: they require documented estimation or stakeholder-defined scenarios.

For unequal delivery losses, an additional cubic metre at the intake does not produce an equal increase at every plot. Explicitly accounting for η_i therefore prevents the optimizer from treating physically different routes as interchangeable. Similarly, the energy term permits an analyst to examine how an energy-saving preference changes allocation decisions without claiming that the resulting allocation is automatically fair or agronomically optimal.

Verification and practical implementation

A proposed pilot could use dated flow-meter readings, pump electricity logs, crop records and meteorological observations from a defined irrigation district. Input data should be split chronologically: earlier periods for estimation and later periods for evaluation. Predictive demand estimates may be assessed using mean absolute error, $MAE = \left(\frac{1}{m} \right) \sum_j |d_j - \hat{d}_j|$, where d_j is observed demand and $\hat{d}_j$ is its prediction. This forecasting metric is not, by itself, a measure of allocation quality.

Allocation quality should be assessed separately by comparing the proposed schedule with the documented baseline for delivered water, unmet demand, pumping energy, constraint violations and distribution across plots. Scenarios involving reduced W , changes in e_i and lower η_i would reveal sensitivity to drought, electricity costs and infrastructure deterioration. Any comparison must use the same time period and service area and disclose uncertainty; simulated savings must not be reported as measured outcomes.

The World Bank's 2023 Uzbekistan Country Climate and Development Report discusses more effective water accounting, infrastructure modernization and flexible allocation mechanisms [4]. Such sectoral priorities provide a reason to test operational models, but they do not validate equation (1). Implementation should therefore begin with a small, transparent pilot and expand only after independent evaluation.

CONCLUSION

For Uzbekistan, the principal barriers to useful mathematical modelling are not limited to computational power: reliable and compatible data, locally estimated parameters, institutional uptake and independent validation are equally consequential. The proposed convex water-allocation model integrates delivery losses, shortage penalties and pumping energy in one auditable decision framework. Its practical value remains a hypothesis until calibrated against regional observations and compared with existing allocation procedures. An evidence-based path forward combines standardized datasets, interdisciplinary training, reproducible software and carefully evaluated pilot projects.

REFERENCES:

- [1] World Bank. “Uzbekistan to Modernize Its Irrigation Infrastructure with World Bank Support.” Press release, 21 May 2025. <https://www.worldbank.org/en/news/pressrelease/2025/05/21/uzbekistan-to-modernize-its-irrigation-infrastructure-with-world-bank-support>
- [2] World Bank. “World Bank to Support Uzbekistan in Improving Geospatial Data Availability and Use.” Press release, 19 May 2025. <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2025/05/19/world-bank-to-support-uzbekistan-in-improving-geospatial-data-availability-and-use>
- [3] National Statistics Committee of the Republic of Uzbekistan. Official website and open-data information. <https://stat.uz/en/> (accessed 18 September 2026).
- [4] World Bank. Uzbekistan Country Climate and Development Report. 2023. <https://www.worldbank.org/en/country/uzbekistan/publication/ccdr>

RAQAMLI TRANSFORMATSIYA SHAROITIDA AXBOROT TIZIMLARINI MODERNIZATSIYA QILISHNING METODOLOGIK ASOSLARI

Sunatov Jo‘rabek Turg‘unbek o‘g‘li¹, Bektosheva Farzona Begali qizi²

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti katta o‘qituvchisi, Qarshi shahar

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti talabasi, Qarshi shahar

Annotatsiya. Ushbu maqolada raqamli transformatsiya sharoitida tashkilotlarning eskirgan (legacy) axborot tizimlarini modernizatsiya qilishning metodologik asoslari tahlil qilingan. Tadqiqotda modernizatsiya strategiyalarining olti bosqichli (6R) modeli — ko‘chirish, platformani almashtirish, qayta tuzish, arxitekturani qayta ko‘rib chiqish, qayta qurish va almashtirish — har birining xarajat, risk va texnik qarzni kamaytirish darajasi bo‘yicha qiyosiy tahlili keltirilgan. Shuningdek, turli sohadagi tashkilotlarning raqamli yetuklik darajasini baholash natijalari taqdim etilgan. Tadqiqot natijalari modernizatsiya strategiyasini tanlash tashkilotning joriy raqamli yetuklik darajasi, mavjud texnik qarz hajmi va strategik maqsadlariga bog‘liq holda amalga oshirilishi kerakligini ko‘rsatdi. Maqola so‘ngida axborot tizimlarini samarali modernizatsiya qilish bo‘yicha amaliy tavsiyalar berilgan.

Kalit so‘zlar: raqamli transformatsiya, axborot tizimlari, modernizatsiya, legacy tizim, texnik qarz, korxona arxitekturasi, raqamli yetuklik, IT-strategiya.

Annotation. This article analyzes the methodological foundations of modernizing legacy information systems in organizations under digital transformation conditions. The study presents a comparative analysis of the six-stage (6R) modernization strategy model — rehost, replatform, refactor, rearchitect, rebuild, and replace — in terms of cost, risk, and the degree of technical debt reduction for each. It also presents the results of assessing the digital maturity level of organizations across various sectors. The results show that the choice of modernization strategy should be made depending on an organization’s current digital maturity level, the volume of existing technical debt, and its strategic goals. The article concludes with practical recommendations for effectively modernizing information systems.

Keywords: digital transformation, information systems, modernization, legacy system, technical debt, enterprise architecture, digital maturity, IT strategy.

Аннотация. В данной статье анализируются методологические основы модернизации устаревших (legacy) информационных систем организаций в условиях цифровой трансформации. В исследовании представлен сравнительный анализ шестиступенчатой (6R) модели стратегий модернизации — перенос, смена платформы, рефакторинг, пересмотр архитектуры, перестройка и замена — по критериям стоимости, риска и степени снижения технического долга для каждой из них. Также представлены

результаты оценки уровня цифровой зрелости организаций различных отраслей. Результаты исследования показали, что выбор стратегии модернизации должен осуществляться в зависимости от текущего уровня цифровой зрелости организации, объёма существующего технического долга и её стратегических целей. В конце статьи представлены практические рекомендации по эффективной модернизации информационных систем.

Ключевые слова: цифровая трансформация, информационные системы, модернизация, legacy-система, технический долг, корпоративная архитектура, цифровая зрелость, ИТ-стратегия.

KIRISH

Raqamli transformatsiya jarayonlarining jadal rivojlanishi sharoitida tashkilotlarning ko'p yillar davomida foydalanib kelayotgan eskirgan (legacy) axborot tizimlari zamonaviy biznes talablariga javob bera olmay qolmoqda. Bunday tizimlar egiluvchanlikning pastligi, yangi texnologiyalar bilan integratsiya qilishning murakkabligi va texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarining yuqoriligi kabi muammolarni keltirib chiqaradi. Shu sababli axborot tizimlarini modernizatsiya qilish zamonaviy tashkilotlar uchun strategik ahamiyatga ega vazifaga aylanmoqda.

Xorijiy tadqiqotchilar (Fowler, 2019; Gartner, 2022; Bennett et al., 2015) legacy tizimlarni modernizatsiya qilishning turli strategik yondashuvlarini, jumladan bosqichma-bosqich va tubdan qayta qurish strategiyalarini tadqiq qilishgan. O'zbek olimlari (Ne'matov, 2022; Sattorov, 2021; Yo'ldosheva, 2023) esa milliy iqtisodiyot sharoitida davlat va xususiy sektor tashkilotlarida axborot tizimlarini raqamlashtirish va modernizatsiya qilish muammolarini o'rgangan, biroq modernizatsiya strategiyalarini tanlashning uslubiy asoslari hali yetarlicha tizimli ishlab chiqilmagan.

Tadqiqotning maqsadi — raqamli transformatsiya sharoitida axborot tizimlarini modernizatsiya qilish strategiyalarining metodologik asoslarini tahlil qilish va tashkilot xususiyatlariga mos strategiya tanlash mezonlarini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqot vazifalari: 1) axborot tizimlarini modernizatsiya qilishning nazariy-uslubiy yondashuvlarini tahlil qilish; 2) modernizatsiya strategiyalarining olti bosqichli (6R) modelini xarajat, risk va texnik qarz mezonlari bo'yicha qiyosiy baholash; 3) turli sohadagi tashkilotlarning raqamli yetuklik darajasini o'rganish; 4) natijalar asosida strategiya tanlash bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqish.

TADQIQOT MATERIALLARI VA METODLARI

Tadqiqotda O'zbekistondagi davlat boshqaruvi, moliya-bank sektori, sanoat, ta'lim va xususiy IT-kompaniyalarga mansub 90 ta tashkilot vakillari (IT-menejerlar va axborot tizimlari mutaxassisleri) ishtirokida so'rovnoma o'tkazildi. So'rovnoma tashkilotlarning joriy axborot tizimlari holati, ulardagi texnik qarz darajasi va modernizatsiya ehtiyojlarini aniqlashga qaratildi.

Tadqiqotda quyidagi metodlardan foydalanildi: ekspert so'rovi, hujjatlarni tahlil qilish, qiyosiy tahlil hamda raqamli yetuklikni baholash modeli (Digital Maturity Assessment Model). Raqamli yetuklik darajasi 5 balli shkala asosida quyidagi mezonlar bo'yicha baholandi: axborot tizimlarining zamonaviyligi, bulutli texnologiyalardan foydalanish darajasi, ma'lumotlar integratsiyasi sifati, avtomatlashtirish darajasi va IT-infratuzilmaning moslashuvchanligi. Modernizatsiya strategiyalarini qiyosiy tahlil qilishda xalqaro amaliyotda keng tan olingan 6R modeli (Rehost, Replatform, Refactor, Rearchitect, Rebuild, Replace) asos sifatida qo'llanildi.

NATIJALAR

1-jadvalda modernizatsiya strategiyalarining 6R modeli bo'yicha qiyosiy tahlili keltirilgan. Tahlil natijalariga ko'ra, "Rehost" strategiyasi eng past xarajat va risk darajasiga ega bo'lsa-da, texnik qarzni kamaytirish salohiyati ham eng past bo'lib chiqdi. Aksincha, "Rearchitect" va "Rebuild" strategiyalari yuqori xarajat va risk talab qilsa-da, texnik qarzni sezilarli darajada

kamaytirish va tizimni uzoq muddatli istiqbolda zamonaviy talablarga moslashtirish imkonini beradi.

1-jadval. Axborot tizimlarini modernizatsiya qilish strategiyalarining (6R model) qiyosiy tahlili

Strategiya	Mohiyati	Xarajat darajasi	Risk darajasi	Texnik qarzni kamaytirish darajasi
Rehost (ko'chirish)	Tizimni kod tuzilishini o'zgartirmasdan yangi infratuzilmaga (masalan, bulutga) ko'chirish	Past	Past	Past
Replatform (platformani almashtirish)	Kichik moslashtirishlar bilan tizimni yangi platformaga o'tkazish	o'rta	Past	o'rta
Refactor (qayta tuzish)	Tashqi funktsionallikni saqlab, ichki kod tuzilishini takomillashtirish	o'rta	o'rta	o'rta-Yuqori
Rearchitect (arxitekturaning qayta ko'rib chiqish)	Tizim arxitekturasini tubdan o'zgartirish (masalan, monolitdan mikroservisga o'tish)	Yuqori	o'rta-Yuqori	Yuqori
Rebuild (qayta qurish)	Mavjud kod bazasidan voz kechib, tizimni noldan qayta yaratish	Yuqori	Yuqori	Yuqori
Replace (almashtirish)	Mavjud tizimni tayyor (COTS yoki SaaS) yechim bilan almashtirish	o'rta-Yuqori	o'rta	Yuqori

3-jadvalda so'rovnoma natijalari asosida turli sohadagi tashkilotlarning raqamli yetuklik darajasi keltirilgan. Natijalarga ko'ra, xususi IT-kompaniyalar eng yuqori raqamli yetuklik darajasiga (o'rtacha 4,0 ball) ega bo'lib, ularda modernizatsiya ehtiyoji yuqori bo'lgan tizimlar ulushi eng past (27%) ko'rsatkichni tashkil etdi. Aksincha, sanoat korxonalari (2,1 ball) va davlat boshqaruvi tashkilotlari (2,3 ball) eng past raqamli yetuklik darajasini namoyon etib, bu tashkilotlarda modernizatsiya ehtiyoji yuqori bo'lgan tizimlar ulushi mos ravishda 71 va 68 foizni tashkil etdi.

So'rovnoma ishtirokchilarining 64 foizi modernizatsiya jarayonida eng katta to'siq sifatida yetarli moliyaviy resurslarning yo'qligini, 52 foizi esa malakali IT-mutaxassislar yetishmasligini qayd etishdi. Shuningdek, javob berganlarning 47 foizi tashkilot rahbariyatining raqamli transformatsiya g'oyalariga past darajada qiziqishi modernizatsiya jarayonlarini sekinlashtirayotganini ta'kidladi.

2-jadval. Turli sohadagi tashkilotlarning raqamli yetuklik darajasini baholash natijalari

Tashkilot turi	So'rovda ishtirok etganlar soni	o'rtacha raqamli yetuklik darajasi (5 balli shkala)	Modernizatsiya ehtiyoji yuqori bo'lgan tizimlar ulushi, %
Davlat boshqaruvi tashkilotlari	24	2,3	68
Moliya-bank sektori tashkilotlari	18	3,4	42
Sanoat korxonalari	21	2,1	71
Ta'lim muassasalari	15	2,6	59
Xususiy IT-kompaniyalar	12	4,0	27

MUHOKAMA

Olingan natijalar Gartner (2022) tomonidan ilgari surilgan, modernizatsiya strategiyasini tanlash “bir o'lchov barchaga mos” (one-size-fits-all) yondashuv asosida emas, balki har bir tizimning texnik holati, biznes ahamiyati va tashkilotning strategik ustuvorliklari asosida individual tarzda belgilanishi kerakligi haqidagi tavsiyani tasdiqlaydi. Xususan, biznes uchun kritik ahamiyatga ega, ammo texnik jihatdan sezilarli eskirgan tizimlar uchun “Rearchitect” yoki “Rebuild” strategiyalari maqsadga muvofiq bo'lsa, nisbatan yangi va barqaror ishlayotgan tizimlar uchun “Rehost” yoki “Replatform” kabi past xarajatli strategiyalar yetarli bo'lishi mumkin.

Fowler (2019) ta'kidlaganidek, texnik qarzni to'liq bartaraf etishga urinish ko'pincha real emas va iqtisodiy jihatdan oqlanmaydi; buning o'rniga tashkilotlar texnik qarzni boshqarish strategiyasini ishlab chiqishi, ya'ni eng katta biznes tavakkalchiligini keltirib chiqaruvchi tizim qismlariga ustuvorlik berishi lozim. Davlat boshqaruvi va sanoat tashkilotlarida kuzatilgan past raqamli yetuklik darajasi shuni ko'rsatadiki, bunday tashkilotlarda modernizatsiya jarayoni nafaqat texnik, balki tashkiliy-boshqaruv o'zgarishlarini ham talab qiladi.

XULOSA

o'tkazilgan tadqiqot axborot tizimlarini modernizatsiya qilish strategiyasini tanlash tashkilotning joriy raqamli yetuklik darajasi, mavjud texnik qarz hajmi, moliyaviy imkoniyatlari va strategik ustuvorliklariga bog'liq holda amalga oshirilishi zarurligini ko'rsatdi. 6R modeli asosidagi qiyosiy tahlil har bir strategiyaning o'ziga xos afzallik va cheklovlarga ega ekanligini, shu sababli ularni tashkilotning individual sharoitiga moslab tanlash zarurligini tasdiqladi.

Kelgusida quyidagilar tavsiya etiladi: 1) tashkilotlarda modernizatsiyani boshlashdan oldin tizimli raqamli yetuklikni baholash amaliyotini joriy etish; 2) davlat boshqaruvi va sanoat tashkilotlari uchun modernizatsiyani moliyalashtirish bo'yicha maxsus davlat dasturlarini ishlab chiqish; 3) IT-mutaxassislarni tayyorlash dasturlariga korxona arxitekturasi va modernizatsiya metodologiyalari bo'yicha maxsus kurslarni kiritish; 4) tashkilot rahbariyati darajasida raqamli transformatsiya strategiyasini ishlab chiqish va uni amalga oshirishni muntazam monitoring qilish tizimini yaratish.

ADABIYOTLAR RO'YXATI:

- [1] Ne'matov, B.Q. (2022). Davlat boshqaruvi tizimida axborot texnologiyalarini modernizatsiya qilish masalalari. Toshkent: "Fan va texnologiya" nashriyoti.
- [2] Sattorov, J.M. (2021). Raqamli iqtisodiyot sharoitida korxonalar axborot tizimlarini rivojlantirish strategiyalari. Iqtisodiyot va innovatsion texnologiyalar jurnali, №4, 102-109.
- [3] Yo'ldosheva, N.S. (2023). Korxona arxitekturasini va axborot tizimlarini modernizatsiya qilish metodologiyasi. ToshDTU ilmiy axborotnomasi, №1, 95-101.
- [4] Aliyev, R.T. (2022). Legacy tizimlarni bulutli infratuzilmaga ko'chirish tajribasi. Axborot texnologiyalari va telekommunikatsiya jurnali, №3, 44-50.
- [5] Xolmatova, g'.A. (2021). Tashkilotlarning raqamli yetuklik darajasini baholash modellari. Uzluksiz ta'lim jurnali, №2, 67-73.
- [6] Fowler, M. (2019). Refactoring: Improving the Design of Existing Code (2nd ed.). Boston: Addison-Wesley.
- [7] Gartner. (2022). Application Modernization: A Framework for Prioritizing Legacy Systems. Stamford: Gartner, Inc.
- [8] Bennett, K., Ramage, M., & Munro, M. (2015). Decision model for legacy systems. IEE Proceedings — Software, 146(3), 153-159.
- [9] The Open Group. (2022). TOGAF Standard, 10th Edition: Enterprise Architecture. Reading: The Open Group.
- [10] Khan, A.A., et al. (2020). Cloud migration models and their impact on legacy system modernization: A systematic review. Journal of Systems and Software, 162, 110-134.

MATEMATIKA DARSLARIDA INTERFAOL METODLARDAN FOYDALANISHNING SAMARADORLIGI

Toshtemirova Shirin

Denov tadbirkorlik va pedagogika instituti, 2M-2026 guruh talabasi

Annotatsiya. Ushbu maqolada matematika darslarini samarali tashkil etishda interfaol metodlardan foydalanishning ahamiyati yoritilgan. Interfaol metodlarning o'quvchilarning matematik bilimlarini o'zlashtirishi, mantiqiy va mustaqil fikrlashi, muammoli vaziyatlarni hal qilishi hamda darsdagi faolligiga ta'siri tahlil qilinadi. Shuningdek, matematika fanini o'qitishda "Aqliy hujum", "Klaster", "Juftlikda ishlash", "Kichik guruhlarda ishlash", "BBB" kabi metodlardan foydalanish imkoniyatlari va ularning amaliy ahamiyati ko'rib chiqilgan.

Kalit so'zlar: matematika, interfaol metod, ta'lim samaradorligi, matematik tafakkur, mustaqil fikrlash, muammoli ta'lim, guruh bilan ishlash, pedagogik texnologiya.

Аннотация. В статье освещается важность использования интерактивных методов для эффективной организации уроков математики. Анализируется влияние интерактивных методов на усвоение учащимися математических знаний, развитие их логического и самостоятельного мышления, способность разрешать проблемные ситуации, а также на уровень вовлеченности в учебный процесс. Кроме того, рассматриваются потенциал и практическая значимость применения таких методов, как «мозговой штурм», «кластер», «работа в парах», «работа в малых группах» и «З-Х-У» (Знаю — Хочу узнать — Узнал), в преподавании математики.

Ключевые слова: математика, интерактивный метод, эффективность обучения, математическое мышление, самостоятельное мышление, проблемное обучение, групповая работа, педагогическая технология.

Abstract. *This article highlights the importance of using interactive methods to effectively organize mathematics lessons. It analyzes the impact of interactive methods on students' mastery of mathematical knowledge, their logical and independent thinking, their ability to resolve problem situations, and their level of engagement during lessons. Furthermore, the article examines the potential and practical significance of employing methods such as "Brainstorming," "Clustering," "Pair Work," "Small Group Work," and "KWL" (Know-Want to Know-Learned) in teaching mathematics.*

Keywords: *mathematics, interactive method, educational effectiveness, mathematical thinking, independent thinking, problem-based learning, group work, pedagogical technology.*

Kirish: Bugungi kunda ta'lim jarayonining asosiy vazifalaridan biri o'quvchiga faqat tayyor bilimlarni berish emas, balki uni mustaqil fikrlash, izlanish, tahlil qilish va o'z bilimlarini amaliy vaziyatlarda qo'llashga o'rgatishdan iborat. Ayniqsa, matematika fanini o'qitishda zamonaviy pedagogik yondashuvlardan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi. Matematika o'zining mantiqiyligi, aniqligi va izchilligi bilan boshqa fanlardan ajralib turadi. Shu sababli matematik bilimlarni o'zlashtirish jarayonida o'quvchining faol ishtiroki, savol berishi, fikr yuritishi va turli yechimlarni izlab topishi muhimdir. An'anaviy tushuntirish va mashq qildirish usullari bilan bir qatorda interfaol metodlardan foydalanish dars jarayonini yanada mazmunli va faol tashkil etishga yordam beradi.

Interfaol metodlarning matematika ta'limidagi o'rni

Interfaol ta'lim — o'qituvchi va o'quvchi, shuningdek, o'quvchilarning o'zaro hamkorligiga asoslangan ta'lim jarayonidir. Bunday yondashuvda o'quvchi bilimni tayyor holda qabul qiluvchi emas, balki uni izlash, tahlil qilish va amaliy faoliyat orqali egallash jarayonining faol ishtirokchisiga aylanadi.

Matematika darslarida interfaol metodlardan foydalanish quyidagi imkoniyatlarni yaratadi:

- ✚ o'quvchilarning darsdagi faolligini oshirish;
- ✚ matematik tushunchalarni yaxshiroq anglash;
- ✚ mustaqil va mantiqiy fikrlashni rivojlantirish;
- ✚ masalalarni turli usullar bilan yechishga o'rgatish;
- ✚ o'quvchilarda fikrini asoslash va izohlash ko'nikmasini shakllantirish;
- ✚ jamoada ishlash va o'zaro fikr almashish malakasini rivojlantirish;
- ✚ o'quvchilarning fanga bo'lgan qiziqishini oshirish.

Shuni ta'kidlash kerakki, interfaol metodning samaradorligi uning shunchaki qo'llanilishiga emas, balki dars maqsadi, o'quvchilarning tayyorgarlik darajasi va o'quv materialining xususiyatlariga mos tanlanishiga bog'liq.

Matematika darslarida qo'llaniladigan interfaol metodlar

“Aqliy hujum” metodi

“Aqliy hujum” o'quvchilarning qisqa vaqt ichida ko'plab fikr va yechimlarni ilgari surishiga imkon beradi. Masalan, o'qituvchi “To'g'ri to'rtburchakning yuzini qanday usullar bilan topish mumkin?” degan savolni beradi. O'quvchilar o'z fikrlarini bildiradilar va javoblar umumlashtiriladi.

Mazkur metod o'quvchilarning tezkor fikrlashi, mavjud bilimlarini faollashtirishi va muammoga turli nuqtayi nazardan qarashga yordam beradi.

“Klaster” metodi

“Klaster” yordamida matematik tushunchalar o‘rtasidagi bog‘liqlikni ko‘rgazmali tarzda ifodalash mumkin. Masalan, “Geometrik shakllar” mavzusida markazga asosiy tushuncha yozilib, undan uchburchak, to‘rtburchak, aylana va boshqa tushunchalarga bog‘lanishlar hosil qilinadi.

Bu metod o‘quvchilarda ma’lumotlarni tizimlashtirish va ular o‘rtasidagi mantiqiy aloqalarni aniqlash ko‘nikmasini rivojlantiradi.

Juftlikda va kichik guruhlarda ishlash

Matematika darslarida o‘quvchilarni juftlik yoki kichik guruhlariga ajratib, ularga masala va topshiriqlar berish samarali usullardan biridir. Masalan, har bir guruhga bir xil masalaning turli yechish usullari berilishi mumkin. Guruhlar o‘z yechimlarini taqdim etib, boshqa guruhlarining fikrlari bilan taqqoslaydi.

Bunday faoliyat o‘quvchilarning muloqot qilish, hamkorlikda ishlash va o‘z fikrini dalillar asosida himoya qilish ko‘nikmalarini shakllantiradi.

“BBB” metodi

“Bilaman — Bilishni xohlayman — Bilib oldim” tamoyiliga asoslangan ushbu metod darsning turli bosqichlarida qo‘llanishi mumkin. Dars boshida o‘quvchilarning mavzu bo‘yicha mavjud bilimlari aniqlanadi, keyin ular nimalarni bilishni istashlarini belgilaydilar. Dars yakunida esa o‘zlashtirilgan yangi bilimlar umumlashtiriladi. Mazkur metod o‘quvchilarning o‘z bilimni tahlil qilish va o‘quv jarayoniga ongli munosabatda bo‘lishiga xizmat qiladi.

Interfaol metodlarning samaradorligi

Interfaol metodlardan foydalanishning muhim jihati shundaki, ular o‘quvchini darsning markaziy ishtirokchisiga aylantiradi. O‘quvchi masalani faqat o‘qituvchi ko‘rsatgan usulda emas, balki o‘z fikrlashi orqali yechishga harakat qiladi.

Masalan, tenglamalarni yechish mavzusida o‘qituvchi bitta namunani tushuntirib, qolgan topshiriqlarni o‘quvchilarning o‘zlariga mustaqil yoki guruh bo‘lib bajarishlarini tashkil qilishi mumkin. Natijada o‘quvchi nafaqat matematik amalni bajaradi, balki nima sababdan aynan shu usuldan foydalanayotganini tushuntirishga ham o‘rganadi.

Interfaol metodlar quyidagi uch yo‘nalishda ayniqsa samarali bo‘lishi mumkin:

- Birinchidan, bilish faoliyatini faollashtiradi. O‘quvchi savolga javob topish, masalani yechish yoki o‘z fikrini bayon qilish jarayonida faol ishtirok etadi.
- Ikkinchidan, matematik tafakkurni rivojlantiradi. Taqqoslash, tahlil qilish, umumlashtirish va xulosa chiqarish kabi fikrlash amallari muntazam qo‘llaniladi.
- Uchinchidan, o‘quvchilarning kommunikativ ko‘nikmalarini rivojlantiradi. Guruh va juftlikdagi faoliyat davomida o‘quvchilar o‘z fikrlarini aniq ifodalash va boshqalarning fikrlarini tinglashga o‘rganadilar.

O‘qituvchining roli

Interfaol darsda o‘qituvchining vazifasi faqat ma’lumot berish bilan cheklanmaydi. O‘qituvchi dars jarayonini rejalashtiradi, muammoli vaziyatlarni yaratadi, o‘quvchilar faoliyatini yo‘naltiradi va natijalarni baholaydi.

Interfaol metodlardan foydalanishda o‘qituvchi:

1. dars maqsadini aniq belgilashi;
2. mavzuga mos metodni tanlashi;
3. topshiriqlarni o‘quvchilarning imkoniyatlariga moslashtirishi;

4. barcha o'quvchilarning faol ishtirokini ta'minlashi;
5. o'quvchilarning fikrlarini tinglashi;
6. dars yakunida natijalarni tahlil qilishi lozim.

Shuningdek, barcha mavzularda bir xil metoddan foydalanish maqsadga muvofiq emas. Ayrim mavzularda muammoli masalalar, boshqa mavzularda esa guruhli ish yoki didaktik o'yinlar samaraliroq bo'lishi mumkin.

XULOSA

Xulosa qilib aytganda, matematika darslarida interfaol metodlardan oqilona foydalanish ta'lim jarayonining faol va mazmunli tashkil etilishiga xizmat qiladi. Bunday metodlar o'quvchilarning matematik bilimlarini mustahkamlash bilan birga, mustaqil fikrlash, mantiqiy tahlil qilish, muammoli vaziyatlarda yechim topish va o'z fikrini asoslash ko'nikmalarini rivojlantirish imkonini beradi.

Interfaol metodlarning samaradorligi, avvalo, ularning dars maqsadiga mos tanlanishi va pedagog tomonidan to'g'ri tashkil etilishiga bog'liq. Shuning uchun matematika o'qituvchisi an'anaviy va zamonaviy metodlarni uyg'unlashtirgan holda, o'quvchilarning yosh va individual xususiyatlarini hisobga olishi maqsadga muvofiq.

Natijada matematika darsi faqat formulalar va qoidalarni o'zlashtirish jarayoni emas, balki o'quvchilarning izlanishi, fikrlashi, hamkorlik qilishi va o'z bilimlarini amalda qo'llashi uchun qulay ta'lim muhitiga aylanishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Azizxo'jayeva N.N. Pedagogik texnologiyalar va pedagogik mahorat. — Toshkent.
- [2] Ishmuhamedov R.J. Innovatsion texnologiyalar yordamida ta'lim samaradorligini oshirish yo'llari. — Toshkent.
- [3] Yo'ldoshev J.G'., Usmonov S.A. Pedagogik texnologiya asoslari. — Toshkent.
- [4] Jumayev M.E. Matematika o'qitish metodikasi. — Toshkent.
- [5] Umumiy o'rta ta'lim maktablari uchun matematika fanidan amaldagi o'quv dasturlari va metodik materiallar.

MONOKRISTALL KREMNIY SIRTINI ION IMPLANTATSIYA QILISH ORQALI QO'SHIMCHA TOZALASH USULI

**Xujaniyozov Jumanazar Boboqulovich¹, Bekpulatov Ilxom Rustamovich², Tursunmetova
Zuxra Abdurashitovna¹**

¹Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston

²Qarshi davlat universiteti, Qarshi, O'zbekiston

e-mail: KhujaniyozovJB@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu ishda monokristall kremniyning Si(111) sirtini fon aralashmalaridan samarali tozalash uchun ion implantatsiyasiga asoslangan getter qatlam hosil qilish usuli tadqiq qilingan. Taklif etilayotgan usul kremniy sirtiga yaqin sohada getter qatlamni shakllantirish va unda to'plangan aralashmalarni keyingi ionli yemirish orqali olib tashlashga asoslanadi. Tadqiqotning birinchi bosqichida kremniy plastinalari yuqori vakuum sharoitida 900 K haroratda 30 daqiqa davomida termik tozalangan. Keyingi bosqichda Rb^+ yoki Cs^+ ionlari $1 \div 5$ keV energiya diapazonida yuqori dozalarda implantatsiya qilinib, kremniyning sirtga yaqin sohasida kristall strukturasi buzilgan va fon aralashmalarini yutishga qodir qatlam hosil qilingan. 850 K haroratdagi termik ishlov natijasida implantatsiya qilingan atomlar va kremniy o'rtasida silitsid

birikmalari shakllangan. Oje-elektron spektroskopiyasi natijalari kremniyning Si L₂₃VV Oje-piki shaklidagi o'zgarishlar orqali implantatsiya qilingan elementlar bilan kremniy o'rtasida kimyoviy birikmalar hosil bo'lganini ko'rsatgan. Yakuniy bosqichda getter qatlam Ar⁺ ionlari bilan ionli yemirish orqali olib tashlangan. Natijalar taklif etilgan usul Si(111) sirtidagi fon aralashmalari miqdorini sezilarli kamaytirish va yuqori darajada tozalangan kremniy sirtini olish imkonini berishini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: silitsid, ion, monokristall kremniy, Oje-elektron spektroskopiya, sirtni tozalash, ion implantatsiya, getter qatlam.

Аннотация. В работе исследован метод геттеринга на основе ионной имплантации для эффективной очистки поверхности монокристаллического кремния Si(111) от фоновых примесей. Предлагаемый метод основан на формировании геттерного слоя в приповерхностной области кремния с последующим удалением этого слоя вместе с накопленными в нем примесями методом ионного травления. На первом этапе кремниевые пластины подвергались термической очистке в условиях высокого вакуума при температуре 900 K в течение 30 минут. На следующем этапе ионы Rb⁺ или Cs⁺ имплантировались в кремний при высоких дозах в диапазоне энергий 1 ÷ 5 кэВ, в результате чего в приповерхностной области формировался слой с нарушенной кристаллической структурой, способный поглощать фоновые примеси. Последующая термическая обработка при температуре 850 K приводила к образованию силицидных соединений между имплантированными атомами и кремнием. Результаты Оже-электронной спектроскопии, в частности изменения формы низкоэнергетического пика Si L₂₃VV, свидетельствуют об образовании химических соединений между имплантированными элементами и кремнием. На заключительном этапе геттерный слой удалялся методом ионного травления с использованием ионов Ar⁺. Полученные результаты показывают, что предложенный метод позволяет значительно снизить содержание фоновых примесей на поверхности Si(111) и получить поверхность кремния высокой степени чистоты.

Ключевые слова: силицид, ион, монокристаллический кремний, Оже-электронная спектроскопия, очистка поверхности, ионная имплантация, геттерный слой.

Abstract. This study investigates an ion-implantation-based gettering method for the effective removal of background impurities from the Si(111) surface of monocrystalline silicon. The proposed method is based on the formation of a getter layer in the near-surface region of silicon, followed by the removal of this layer together with the impurities accumulated within it by ion etching. In the first stage, silicon wafers were subjected to thermal cleaning under high-vacuum conditions at a temperature of 900 K for 30 min. In the subsequent stage, Rb⁺ or Cs⁺ ions were implanted into silicon at high doses within the energy range of 1 ÷ 5 keV, resulting in the formation of a structurally disordered near-surface layer capable of absorbing background impurities. Subsequent thermal treatment at 850 K led to the formation of silicide compounds between the implanted atoms and silicon. The results of Auger electron spectroscopy, particularly the changes in the shape of the low-energy Si L₂₃VV peak, indicate the formation of chemical compounds between the implanted elements and silicon. At the final stage, the getter layer was removed by ion etching using Ar⁺ ions. The obtained results demonstrate that the proposed method significantly reduces the concentration of background impurities on the Si(111) surface and enables the formation of a highly clean silicon surface.

Keywords: silicide, ion, monocrystalline silicon, Auger electron spectroscopy, surface cleaning, ion implantation, getter layer.

KIRISH

Zamonaviy mikroelektronikada yarimo'tkazgich asboblari va integral sxemalarning funksional hamda elektr xususiyatlari ko'p jihatdan dastlabki yarimo'tkazgich plastinalarining sirt va hajmiy tozaligiga bog'liq. Monokristall kremniy tarkibida kislorod, uglerod, oltingugurt, mis,

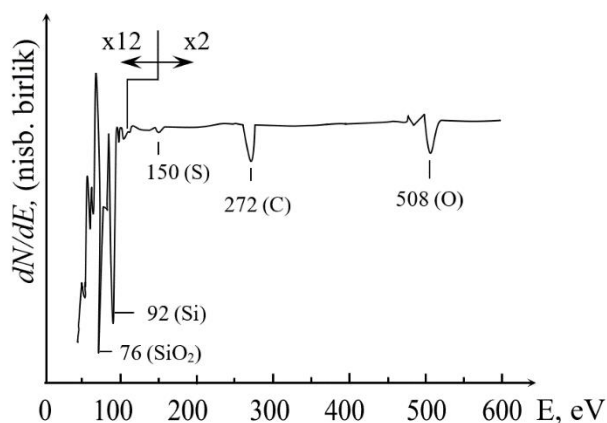
temir, oltin kabi fon aralashmalarining mavjudligi yarimo'tkazgich qurilmalarining elektr va funksional xususiyatlarini yomonlashtirishi, shuningdek, ularning ishonchliligiga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin. Shu sababli kremniy sirtini samarali tozalash va aralashmalarni nazorat qilish mikro va nanoelektronika texnologiyasining muhim vazifalaridan biri hisoblanadi [1, 2].

Kremniy plastinalarini aralashmalardan tozalashda an'anaviy termik ishlov berish usullari bilan bir qatorda turli gettering jarayonlaridan ham foydalaniladi. Bunda kremniyning ishchi sohasidan tashqarida kristallografik nuqsonlar va aralashmalarni o'ziga yuta oladigan maxsus qatlam hosil qilinadi. Biroq ichki gettering usullarida uzoq muddatli yuqori haroratli termik ishlov berish talab qilinishi katta energiya sarfiga olib keladi. Shuningdek, hosil bo'ladigan getter qatlamining xususiyatlari dastlabki monokristalldagi nuqsonlar va aralashmalarning fazoviy taqsimotiga bog'liq bo'ladi [1-3].

Ushbu ishda kremniy sirtini tozalash uchun sirt yaqinida ion implantatsiyasi orqali getter qatlam hosil qilish va keyinchalik uni ionli yemirish orqali olib tashlashga asoslangan usul ko'rib chiqiladi.

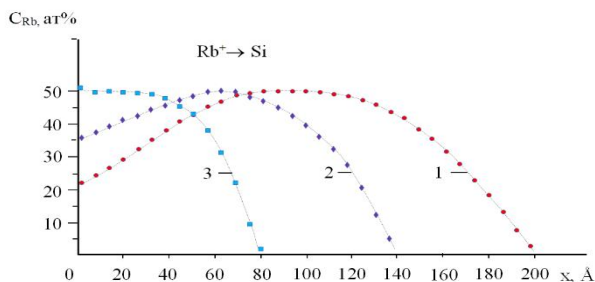
MATERIALLAR VA USULLAR

Kremniy sirtini tozalashni to'rt bosqichli usuli ishlab chiqildi. Birinchi bosqichda standart silliqlash va kimyoviy ishlov berishdan o'tkazilgan monokristall kremniy plastinalari yuqori vakuum sharoitida 900 K haroratda 30 daqiqa davomida termik tozalanadi. Bunda kremniy sirtidagi SiO₂ qatlami olib tashlanadi, ammo sirtida ma'lum miqdorda fon aralashmalari saqlanib qoladi (1-rasm).

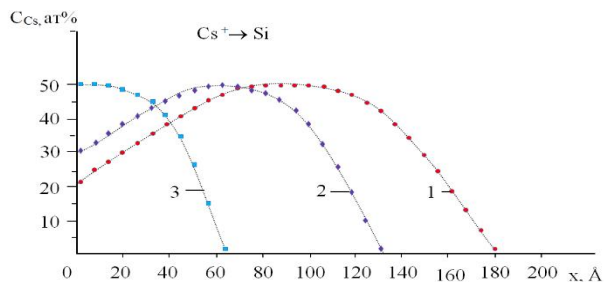


1-rasm. Yuqori vakuum sharoitida 900 K haroratda 30 daqiqa davomida an'anaviy qizdirish usulidan keyingi kremniy sirtining Oje-elektron spektri.

Oje-elektronlar barcha ikkilamchi elektronlar foni orasida juda kichik cho'qqilar hosil qilganligi sababli, ularni energiya bo'yicha Oje-elektronlar sonining birinchi hosilasi $dN(E)/dE$ grafi orqali aniqlash qulayroq hisoblanadi [3].



2-rasm. Si(111) sirtiga turli energiya va dozalarda implantatsiya qilingan Rb atomlarining konsentratsion taqsimot profillari.



3-rasm. Si(111) sirtiga turli energiya va dozalarda implantatsiya qilingan Cs atomlarining konsentratsion taqsimot profillari.

Ikkinchi bosqichda tozalangan kremniy sirtiga Rb^+ yoki Cs^+ ionlari past energiya va yuqori dozalarda implantatsiya qilinadi. Rb^+ ionlari uchun implantatsiya energiyalari 5, 3 va 1 keV bo'lib, mos dozalar $2 \cdot 10^{17}$, 10^{16} va $2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ ni tashkil etadi. Cs^+ ionlari uchun esa 5, 3 va 1 keV energiyalarda mos ravishda $9 \cdot 10^{16}$, $8 \cdot 10^{15}$ va 10^{15} cm^{-2} dozalar qo'llaniladi [4, 5].

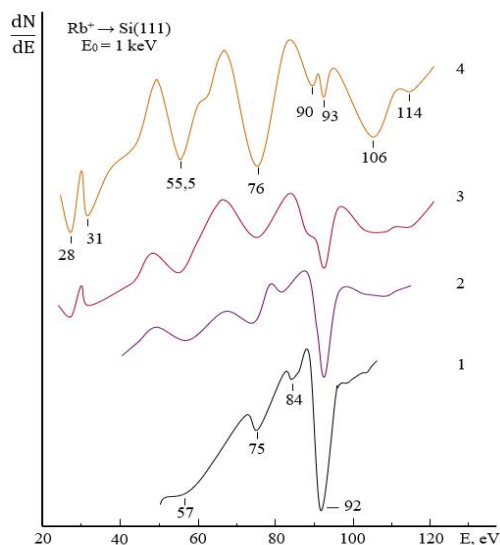
Yuqori dozali ion implantatsiyasi natijasida kremniyning sirtga yaqin sohasida kristall strukturasi kuchli buzilishi yuzaga keladi. Shu bilan birga, implantatsiya qilingan Rb yoki Cs atomlari kremniy atomlari hamda sirtidagi nazorat qilib bo'lmaydigan fon aralashmalari - O, C, N, S va boshqa elementlar bilan o'zaro ta'sirlashib, tegishli birikmalar hosil qiladi. Natijada kremniy sirtiga yaqin qatlamda aralashmalarni samarali yutishga qodir getter qatlam shakllanadi.

Implantatsiya natijasida Rb atomlarining sirt yaqinidagi taqsimot sohasi 5 keV energiyada taxminan 200 Å, 3 keV da 140 Å va 1 keV da 80 Å ni tashkil etadi. Cs atomlari uchun bu qiymatlar mos ravishda 180, 160 va 65 Å ga teng. Bunda buzilgan qatlam qalinligi mazkur energiyadagi ionlarning maksimal kirib borish chuqurligidan taxminan 1,5 marta katta bo'ladi (2 va 3 - rasm).

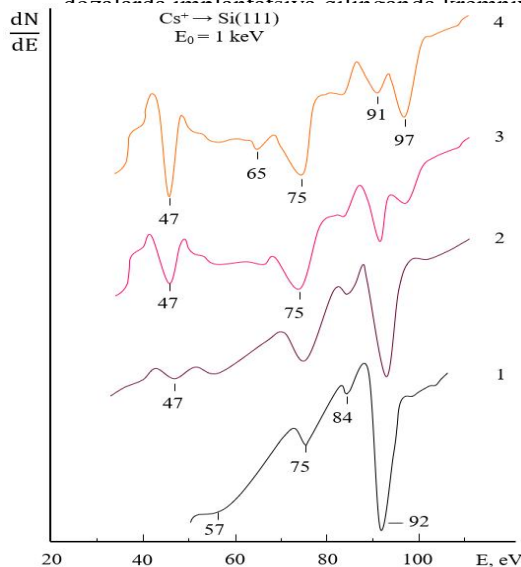
Uchinchi bosqichda ion implantatsiya qilingan kremniy 850 K haroratda 0,5-1 soat vaqt davomida termik ishlov beriladi. Termik ishlov natijasida implantatsiya qilingan Rb yoki Cs atomlari bilan Si atomlari o'rtasida kimyoviy bog'lanishlar shakllanib, sirt sohasida rubidiy yoki seziy silitsid qatlami hosil bo'ladi. Shu bilan birga, implantatsiya qilingan atomlarning kremniy hajmidan sirt tomon harakatlangan fon aralashmalari bilan o'zaro ta'siri ham kuchayadi. Ion implantatsiyasi natijasida hosil bo'lgan sirt nuqsonlari esa aralashma atomlari uchun yig'ilish markazlari vazifasini bajaradi.

Oje-elektron spektrlarida kuzatilgan o'zgarishlar implantatsiya jarayonida kremniyning elektron holati va kimyoviy bog'lanish xususiyatlari o'zgarishini ko'rsatadi. Xususan, kremniyga xos past energiyali Si L₂₃VV Oje-pikining shakli singlet ko'rinishdan dublet ko'rinishga o'tishi Rb yoki Cs atomlari bilan kremniy o'rtasida qisman kimyoviy birikma hosil bo'lganligini ko'rsatadi. 850 K haroratdagi keyingi termik ishlov berishdan so'ng sirt sohasida silitsid qatlamining shakllanishi (4 va 5 - rasm) ta'minlanadi.

To'rtinchi bosqichda hosil bo'lgan metall-silitsid getter qatlami Ar^+ ionlari yordamida ionli yemirish orqali olib tashlanadi. Bunda 3 keV energiyaga ega bo'lgan Ar^+ ionlari kremniy sirtiga 15° burchak ostida (normalga nisbatan 85° burchak ostida) yo'naltirilib, sirt bombardimon qilinadi hamda getter qatlam to'liqligicha olib tashlanadi. Getter qatlamini olib tashlash bilan irga unda to'plangan fon aralashmalari ham sirtidan chiqarib yuboriladi. Natijada yuqori darajada tozalangan kremniy sirti hosil bo'ladi.

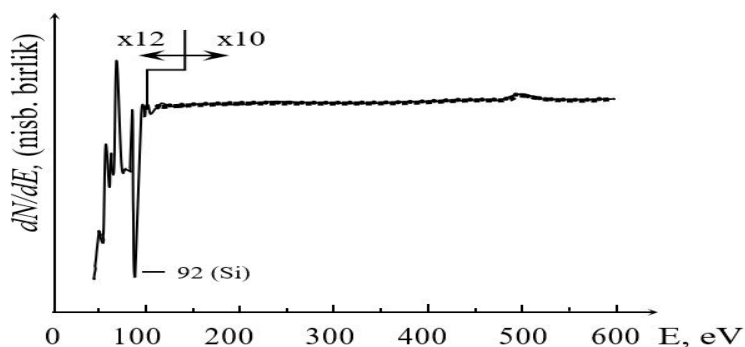


4-rasm. Rb^+ ionlari 1 keV energiyada turli dozalarda implantatsiya qilinganda kremniyning



5-rasm. Cs^+ ionlari 1 keV energiyada turli dozalarda implantatsiya qilinganda kremniyning Oje-elektron spektrlaridagi o'zgarishlar.

Olingan Oje-elektron spektrlarini solishtirish shuni ko'rsatadiki (6-rasm), dastlabki termik ishlov berishdan keyin sirtida saqlanib qolgan fon aralashmalari getter qatlamini hosil qilish, termik ishlov berish va keyinchalik ionli yemirish bosqichlaridan so'ng sezilarli darajada kamayadi. Bu esa Rb^+ yoki Cs^+ ionlarini implantatsiya qilish asosidagi sirt gettering usuli kremniyning toza Si(111) sirtini olish imkonini berishini ko'rsatadi [4, 5].



6-rasm. Getter qatlam 3 keV energiyali Ar^+ ionlari bilan 15° burchak ostida yemirib olib tashlangandan keyingi kremniy sirtining Oje-elektron spektri [3].

XULOSA

Shunday qilib, monokristall kremniy sirtini tozalash uchun Rb^+ yoki Cs^+ ionlarining past energiyali va yuqori dozali implantatsiyasiga asoslangan to'rt bosqichli usul ko'rib chiqildi. Ion implantatsiyasi natijasida kremniy sirti yaqinida nuqsonlarga boy va fon aralashmalarini yutishga qodir getter qatlam hosil bo'ladi. 850 K haroratdagi termik ishlov natijasida implantatsiya qilingan elementlar va kremniy o'rtasida silitsid birikmalari shakllanadi. Keyingi Ar^+ ionli yemirish jarayonida getter qatlam va unda to'plangan aralashmalar olib tashlanib, yuqori darajada tozalangan kremniy sirtini olish imkoniyati yaratiladi.

Taklif etilgan yondashuvda kremniy sirtidan fon aralashmalarini chiqarish samaradorligini ion implantatsiyasi parametrlari orqali boshqarish imkoniyati mavjud. Implantatsiya energiyasini o'zgartirish orqali tozalanadigan sirt sohasining chuqurligini boshqarish mumkin. Natijada an'anaviy tozalash usullariga nisbatan fon aralashmalari miqdori ancha kam bo'lgan Si(111) sirtini olish imkoniyati yaratiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Vorobev V.V., Gumarov A.I., Tagirov L.R., Rogov A.M., Nujdin V.I., Valeev V.F., Stepanov A.L. Issledovanie morfologii poverxnosti i ximicheskogo sostavakremniya, implantirovannogo ionami medi. // Jurnal texnicheskoy fiziki, 2020, tom 90, vip. 10. s.1715-1723.
- [2] K. Oura, V.G. Lifshis, A.A. Saranin, A.V. Zotov, M. Katayama. Vvedenie v fiziku poverxnosti. 2006. -490 s. s.67-82.
- [3] Risbaev A.S., Xujaniyozov J.B., Raximov A.M., Bekpulatov I.R. Sposob dopolnitelnoy ochistki poverxnosti monokristallov kremniya / Patent Uz №IAP 05720, ot 30.11.2018.
- [4] Rysbaev A.S., Khujaniyozov J.B., Bekpulatov I.R., Rakhimov A.M., Pardaev O.R. // Journal of surface investigation: X-ray, synchrotron and neutron techniques. 2017. V. 11. № 2. p. 474.
- [5] Rysbaev A.S., Khujaniyozov J.B., Bekpulatov I.R., Rakhimov A.M. Method of additional clearing of the surface of monocrystal Si(111) // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2017, № 9, p. 994-999.

REGISTRATION OF ULTRA-LOW-AMPLITUDE EARTH VIBRATIONS UP TO CRITICAL AMPLITUDE LEVELS

Yusupov Dilmurod Abdurashidovich¹, Inoyatov Shukrillo Turg'unboyevich¹, Abdusamadov Abdultif Abdurashid o'g'li²

Namangan state pedagogical institute ,316 Uychi Namangan, Uzbekistan

Namangan state technical university, 12 I.Karimov Street, Yangi Namangan District, Uzbekistan

Annotatsiya. Ushbu maqolada yangicha ish tamoyiliga asoslangan bo'lib unda, yerga nisbatan tinch xolatdagi elektrodlar orasidagi tunnel tokini o'lchash orqali o'ta past-nanomasshtabli amplitudalardagi yer tebranishini aniqlaydigan qurilmani tayyorlashga bag'ishlangan. Shuningdek yer tebranishi amplitudasi kritik qiymatga qadar ortib borishini qayd qiluvchi qo'shimcha uzatgichlar taklif etilgan. Qurilma ish tamoyili zaminida yer silkinishiga nisbatan massiv diskni tinch xolatda saqlanishi, ya'ni massiv matematik mayatnikni "absolyut" tinch xolatda bo'lishiga erishish yotadi.

Kalit so'zlar: Tunnelli elektronlar, elektrodlar oralig'i, ro'yxatga olish, emissiya to'ki, piezomanipulyatsiya, ignali bloklash, teskari aloqa, amortizatorlar.

Аннотация: Данная работа посвящена на создание устройство определяющие низкочастотных колебаний Земли со сверхмалой – наномасштабной амплитудой работающих на новой основе основанное на измерений автоэмиссионного тока между покоящимся относительно Земли электродом и электродом связанной с Землей. Также предложен дополнительные датчики сигнализирующие о росте амплитуды колебаний Земли до критического значения. На основу устройства положено принцип не подвижности массивного отвеса относительно колебаний Земли, т.е. на достижении "абсолютно" инертно-покойного состояние массивного математического маятника.

Ключевые слова: Туннелированные электронов, зазор между электродами, регистрация, эмиссионного тока, пьезоманипуляция, блокировка острие, обратная связь, амортизаторы.

Annotation. This work is devoted to the creation of a device that determines low-frequency oscillations of the Earth with an ultra-small - nanoscale amplitude operating on a new basis based on measurements of the field emission current between an electrode at rest relative to the Earth and an electrode connected to the Earth. Also, additional sensors have been proposed that signal an increase in the amplitude of the Earth's oscillations to a critical value. The device is based on the principle of immobility of a massive plumb line relative to the Earth's vibrations, i.e. on reaching an "absolutely" inert-resting state of a massive mathematical pendulum.

Keywords: Tunneled electrons, electrode gap, registration, emission current, piezomanipulation, tip blocking, feedback, shock absorbers.

INTRODUCTION

Sensitive measurement of weak ground motion is important for seismology and for the protection of critical infrastructure. Conventional seismic monitoring relies on instruments that measure ground displacement, velocity, or acceleration over specified frequency and dynamic ranges. For facilities such as nuclear power plants and spent-fuel storage sites, continuous seismic observation and a well-defined safety response are particularly important [1]. The present work considers whether an additional displacement-sensitive channel based on tunneling-current modulation could extend measurements toward very small relative motions.

The concept is motivated by the fact that electron tunneling across a narrow barrier depends strongly on electrode separation. Scanning tunneling microscopy demonstrated that atomic-scale changes in tip-sample distance can produce readily measurable changes in tunneling current [8,9]. This sensitivity suggests a possible route for converting very small mechanical displacements into

electrical signals. The key engineering problem is not only sensitivity, however, but also the establishment of a stable reference, suppression of environmental vibration, drift control, feedback stability, and protection of the probe during large-amplitude motion.

Accordingly, the objective of this study is to formulate a multirange instrument in which a suspended massive disk provides an inertial reference and several sensing mechanisms cover progressively larger displacement intervals. The device described below is a proposed design rather than a validated earthquake-prediction system. Its scientific value therefore depends on future experimental determination of sensitivity, bandwidth, noise floor, long-term stability, and correlation with independently measured ground motion.

Physical Principle of the Proposed Sensor

For a metal–vacuum–metal junction, the tunneling current can be represented in simplified form as an exponentially varying function of the gap distance d :

$$I(d) \approx I_0 \exp(-2\kappa d), \quad \kappa = \sqrt{(2m\Phi)/\hbar}$$

where I_0 is a scale factor determined by the junction and applied bias, m is the electron mass, Φ is an effective barrier height, and $\hbar$ is the reduced Planck constant. Consequently, a small displacement Δd produces a comparatively large fractional current variation. This exponential dependence is the central physical mechanism of the proposed instrument [8,9]. The original design assumes that angstrom- to nanometer-scale changes in separation can therefore be detected after appropriate current amplification.

The measurement requires two mechanically distinct elements. The first is a massive conductive disk suspended on a thin wire and mechanically isolated as far as practicable from local ground vibration. The second is a sharp probe mechanically referenced to the surrounding ground. When the ground moves relative to the suspended mass, the electrode spacing changes. A piezoelectric actuator provides fine positioning of the probe and can be incorporated into a feedback loop that establishes and maintains a chosen operating gap.

Mechanical Arrangement and Vibration Isolation

Figure 1 shows the overall concept. A steel support tower carries the suspended disk. Shock-absorbing elements are introduced at the tower supports and around the probe assemblies. The ground-referenced probe support is anchored into the side wall of the installation. The massive disk is intended to behave as an inertial reference over the frequency interval of interest; in practice, its transfer function will be determined by the suspension length, mass distribution, damping, and coupling to air and support structures.

The original configuration envisages installation in a deep, low-noise site away from strong anthropogenic vibration sources such as railways, highways, and airports. Such siting can reduce interference, but it cannot by itself guarantee that the suspended disk is stationary. A realistic implementation must quantify residual motion from suspension modes, acoustic pressure, thermal expansion, microseisms, tilt, electromagnetic pickup, and mechanical creep. The measured signal is therefore the relative displacement between the ground-coupled probe and the suspended reference, not an absolute displacement with respect to an ideal inertial frame.

Probe Assembly and Piezoelectric Positioning

The probe assembly is shown in Fig. 2. A tungsten tip is mounted on a piezoelectric tube and positioned by a combination of coarse mechanical adjustment and fine piezoelectric motion. The threaded mechanism establishes the initial approach, while the piezoelectric element controls the final electrode separation. Springs retain the moving piston, and protective walls limit excessive tip travel during large disturbances. Electrical contacts on the piezoelectric tube provide the drive voltage required for controlled extension or contraction.

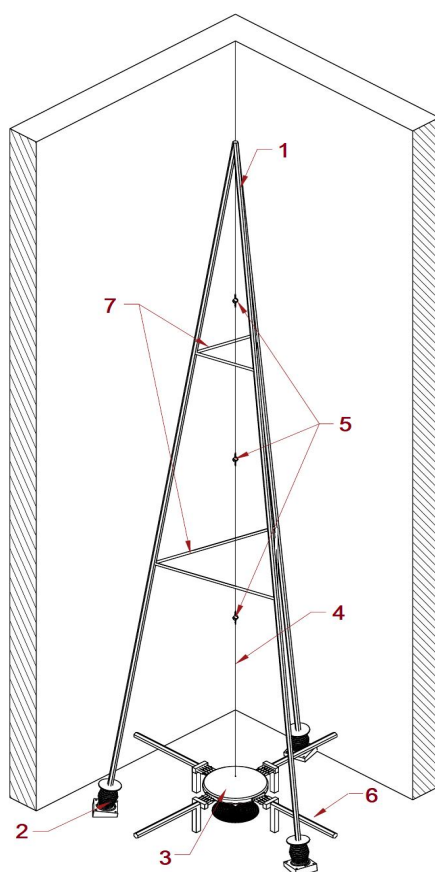


Fig. 1. General arrangement of the proposed vibration-registration device.

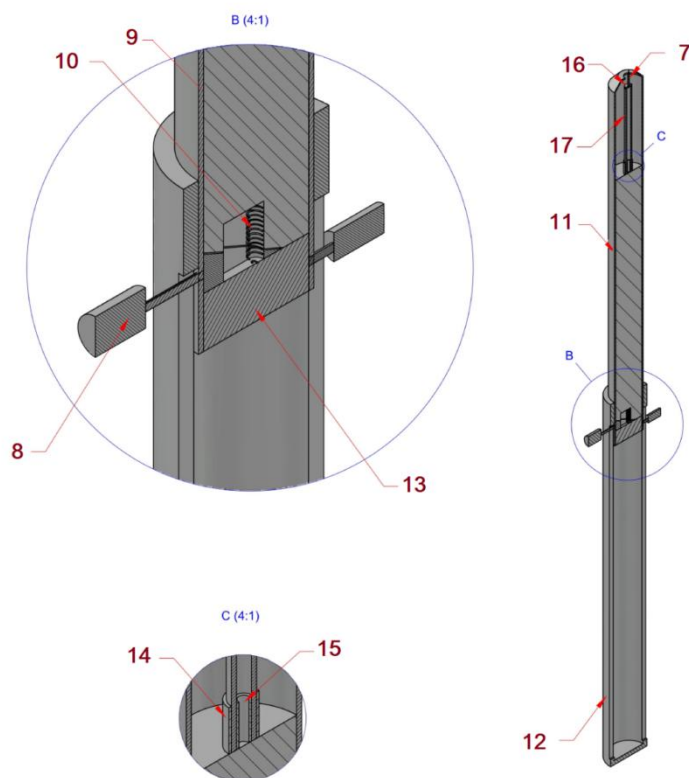


Fig. 2. Tungsten probe electrode, piezoelectric actuator, and protective mechanical assembly.

In the source design, the piezoelectric element is described as providing a voltage-dependent displacement over an angstrom-scale range. For scientific use, this response should not be assumed

perfectly linear: calibration should account for hysteresis, creep, temperature dependence, aging, and actuator-to-actuator variation. A closed-loop displacement control system would be preferable where long-term stability is required.

The conductive surface of the suspended disk is proposed to be graphite-coated. The coating provides electrical conductivity and a surface suitable for interaction with the probe. However, stable tunneling measurements in an engineering-scale environment are sensitive to surface contamination, oxidation of surrounding components, humidity, particulate matter, and tip geometry. These effects can alter the apparent current–distance relationship and must be controlled or measured.

Signal Formation and Feedback

During initialization, the probe is advanced until a tunneling-current set point is detected. The actuator is then retracted to establish the desired standby gap. Ground motion that changes this gap modulates the current, which is amplified and recorded. For sufficiently large motion, the feedback system should retract or mechanically protect the tip to prevent contact with the disk. Multiple probes arranged around the disk can provide redundancy and directional information, provided their geometric alignment and transfer functions are independently calibrated.

The electrical chain should include a low-noise current preamplifier, anti-alias filtering, digitization, timestamping, and synchronized recording with reference sensors. Because tunneling currents are extremely sensitive to electromagnetic and mechanical interference, shielding, grounding, thermal stabilization, and vibration-isolated electronics are essential parts of any experimental prototype.

Multirange Registration of Increasing Amplitude

A single tunneling junction has a limited safe displacement range. The proposed design therefore supplements the nanoscale channel with progressively spaced probes. Figure 3 illustrates a family of sharp piezoelectric probes together with a conventional contact probe. The tunneling probes are intended for the smallest relative displacements, whereas mechanically spaced contacts provide threshold information when motion becomes too large for stable tunneling operation.

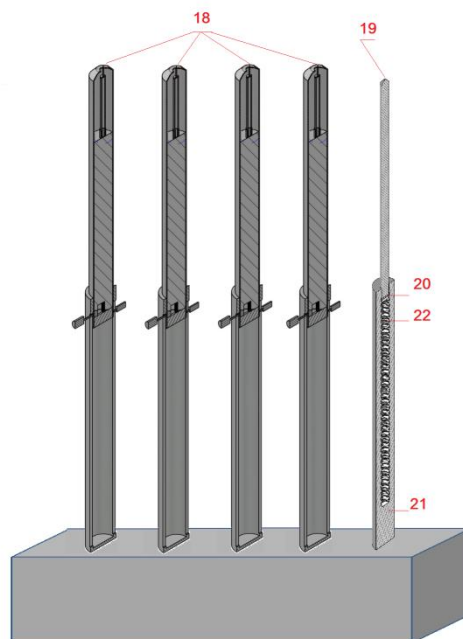


Fig. 3. Proposed multirange probe block with tunneling and mechanical-contact channels.

The source design suggests successively larger preset gaps for the contact elements. When relative displacement exceeds a particular gap, contact between the probe and the corresponding

isolated electrode produces a discrete electrical signal. This converts the large-amplitude stage into a threshold detector rather than a continuous high-resolution displacement measurement. The threshold values should be defined from engineering requirements and verified by traceable calibration.

Independent Optical Displacement Channel

An additional optical channel is proposed to improve redundancy. A laser source fixed to the suspended mass directs a spot toward concentric photodetector regions attached to the ground-referenced structure (Fig. 4). Relative motion shifts the optical spot across the detector rings, so the activated region provides an estimate of displacement magnitude. The number and radii of the rings determine the measurable range and spatial resolution.

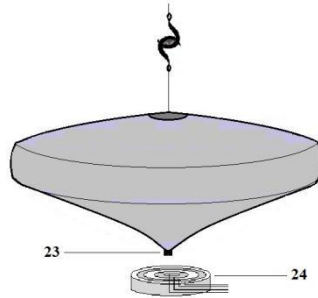


Fig. 4. Conceptual optical channel using a suspended laser source and concentric photodetectors.

The optical subsystem can provide a useful cross-check because its error mechanisms differ from those of the tunneling junction. Nevertheless, it is also affected by alignment drift, beam divergence, detector nonuniformity, temperature, and angular motion of the suspended disk. A two-dimensional position-sensitive detector or calibrated camera-based readout could provide more complete displacement information than discrete concentric rings.

Experimental Validation Requirements

Before the proposed system can be interpreted in a seismic context, laboratory and field validation are required. The minimum characterization program should determine: (i) displacement sensitivity and noise spectral density; (ii) usable frequency band; (iii) dynamic range and saturation behavior; (iv) thermal and long-term drift; (v) cross-sensitivity to tilt, acoustic excitation, electromagnetic interference, and local machinery; and (vi) agreement with calibrated broadband seismometers or displacement interferometers. Controlled shaker-table tests should precede deployment in a low-noise field environment.

DISCUSSION

The principal strength of the proposed architecture is the combination of a highly displacement-sensitive tunneling junction with protective and extended-range channels. The exponential current–gap dependence provides a plausible physical basis for detecting very small relative motion, while piezoelectric positioning allows fine adjustment of the operating point. The mechanical-contact and optical channels can extend the effective range and provide independent confirmation of larger displacement.

At the same time, several claims in the original concept require experimental verification. In particular, sensitivity cannot be inferred solely from the current–distance dependence because the practical detection limit is set by the complete noise budget and the mechanical transfer function of the suspended mass. Similarly, observation of ultra-small ground vibrations would not, by itself, establish that the signals are earthquake precursors. Natural microseisms, cultural noise, local deformation, thermal effects, and instrument drift can all produce low-frequency signals. Any relationship between measured nanoscale motion and subsequent seismic events would require long-term, statistically controlled observations and comparison with established seismic networks.

For applications near safety-critical facilities, the device should therefore be considered a supplementary monitoring concept rather than a stand-alone warning or automatic protection system. Safety actions must rely on validated instrumentation, qualified engineering procedures, and applicable regulatory requirements [1].

CONCLUSION

A theoretical device for registering very low-frequency Earth vibrations over a wide amplitude range has been reformulated in an academically structured form. The concept uses relative displacement between a suspended massive conductive disk and ground-coupled probes. At the smallest gaps, electron tunneling converts displacement into a strongly varying current signal; piezoelectric positioning establishes the operating point and protects the junction through feedback. Mechanically spaced contacts and an optical detector are proposed to extend the measurable range as vibration amplitude increases.

The concept is physically motivated by the established distance sensitivity of tunneling current [8,9], but its performance has not yet been demonstrated by the material presented in the source manuscript. The next stage should therefore be a calibrated prototype study focused on noise, transfer functions, stability, environmental cross-sensitivity, and comparison with reference seismometers. Only after such validation would it be scientifically justified to assess whether the instrument provides useful additional information for seismic monitoring.

REFERENCES:

- [1] Bugaev, E.G., Kishkina, S.B. Completeness of implementation of regulatory requirements in substantiation of seismic safety of nuclear power plants and spent nuclear fuel storage facilities. Nuclear and Radiation Safety, 3(77), 2015.
- [2] Andreev, A. An earthquake that shakes the body. Ecology Bulletin, No. 1, 2006.
- [3] RF Patent No. 119897, G01V 3/12, 2012.
- [4] RF Patent No. 2205432, G01V 9/00, 2003.
- [5] RF Patent No. 2109311, G01V 9/00; G01V 3/12, 1998.
- [6] RF Patent No. 2034312, G01V 1/18; G01V 1/16, 1995.
- [7] USSR Author's Certificate No. 1756845, G01V 9/00, 1992.
- [8] Swartzentruber, B.S. Direct measurement of surface diffusion using atom-tracking scanning tunneling microscopy. Physical Review Letters, 76(3), 459–462 (1996).
- [9] Binnig, G., Rohrer, H., Gerber, Ch., Weibel, E. 7×7 reconstruction on Si(111) resolved in real space. Physical Review Letters, 50(2), 120–123 (1983).

ION-PLAZMA USULI BILAN HSOIL QILINGAN COSI₂ YUPQA PLYONKALARINING OPTIK XUSUSIYATLARIGA DEPOZITSIYA VAQTI VA QATLAM QALINLIGINING TA'SIRINI O'RGANISH

¹Zarifov Shuhrat Sobirjon o'g'li, ²Mirzayeva Ruhsora, ³Haqberdiyev Erkin

¹Iqtisodiyot va pedagogika universiteti assistenti,

² Toshkent davlat texnika universiteti, ³ Qarshi davlat universiteti

Email: zarifovshuhrat@gmail.com

Annotatsiya. (Abstrakt): Bu ishda O'tish metallari silitsidlari, ayniqsa kobalt disilitsid (CoSi₂), yuqori elektr o'tkazuvchanligi, a'lo darajadagi kimyoviy barqarorligi va kremniy texnologiyalari bilan mosligi tufayli zamonaviy nanoelektronika va optoelektronika qurilmalarini yaratishda muhim material sifatida qaraladi. CoSi₂ yupqa plyonkalari DC va RF magnetron purkash usullari yordamida muvaffaqiyatli sintez qilindi hamda ularning optik xossalari tizimli

ravishda tadqiq qilindi. Sirt morfologiyasi tahlillari plyonkalarining nanometr darajasidagi sillilikka ega ekanligini va qalinlikka bog'liq mikrostrukturaviy evolyutsiyani namoyon qildi.

Kalit so'zlar: CoSi_2 yupqa plyonkalari; magnetron purkash; sirt morfologiyasi; Raman spektroskopiyasi; infraqizil qaytarish; elektr o'tkazuvchanlik; aktivatsiya energiyasi; nanoelektronika

Аннотация. (Абстракт): В данной работе силициды переходных металлов, особенно дисилицид кобальта (CoSi_2), рассматриваются как важные материалы для создания современных нанoeлектронных и оптоэлектронных устройств благодаря их высокой электропроводности, отличной химической стабильности и совместимости с кремниевыми технологиями. Тонкие плёнки CoSi_2 были успешно синтезированы методами DC- и RF-магнетронного распыления, а их оптические свойства были систематически исследованы. Анализ морфологии поверхности показал, что плёнки обладают гладкостью на нанометровом уровне и демонстрируют зависящую от толщины эволюцию микроструктуры.

Ключевые слова: Тонкие плёнки CoSi_2 ; магнетронное распыление; морфология поверхности; рамановская спектроскопия; инфракрасное отражение; электропроводность; энергия активации; **Нанoeлектроники**

Annotation. In this work, transition metal silicides, particularly cobalt disilicide (CoSi_2), are considered important materials for the development of modern nanoelectronic and optoelectronic devices due to their high electrical conductivity, excellent chemical stability, and compatibility with silicon technologies. CoSi_2 thin films were successfully synthesized using DC and RF magnetron sputtering techniques, and their optical properties were systematically investigated. Surface morphology analyses revealed that the films exhibited nanometer-scale smoothness and thickness-dependent microstructural evolution.

Key words: Thin CoSi_2 films; magnetron sputtering; surface morphology; Raman spectroscopy; infrared reflectance; electrical conductivity; activation energy; **Nanoelectronics**

KIRISH

O'tish metallari silitsidlari, ayniqsa kobalt disilitsid (CoSi_2), yuqori elektr o'tkazuvchanligi, a'lo darajadagi kimyoviy barqarorligi va kremniy texnologiyalari bilan mosligi tufayli zamonaviy nanoelektronika va optoelektronika qurilmalarini yaratishda muhim material sifatida qaraladi [1–2]. Ushbu xususiyatlar CoSi_2 ni integral sxemalarda elektr kontaktlari va ulovchi qatlamlar uchun ideal materialga aylantiradi. So'nggi yillarda uning qo'llanish sohasi infraqizil detektorlar, fotodetektorlar va boshqa optoelektronik qurilmalarni ham qamrab oldi [3,4]. CoSi_2 plyonkalarini yotqizishda o'rta chastotali radiochastotali (mid-RF) va o'zgarmas tok (DC) magnetron purkash usullari keng qo'llanilishiga qaramay [5–6], molekulyar nur epitaksiyasi (MBE) kabi epitaksial usullar yuqori sifatli qatlamlar hosil qilishi mumkin [7–8]. Biroq, turli tagliklarda olingan plyonkalarining optik xossalari qiyosiy tadqiq etish yetarli darajada amalga oshirilmagan. Bundan tashqari, epitaksial usullarning qimmatligi va murakkabligi ularning keng qo'llanishini cheklaydi. CoSi_2 ning infraqizil optik xossalari, ayniqsa taglik materialining ta'siri bo'yicha sezilarli ilmiy bo'shliq mavjud. Taglik tanlovi plyonkaning o'sishi va mikrostrukturasi bilan birga, interfeysdagi elektron tuzilma va optik impedanslarning farqi sababli optik xossalarga ham ta'sir qiladi. Shu sababli, turli legirlangan kremniy va dielektrik tagliklarda hosil qilingan CoSi_2 plyonkalarini qiyosiy o'rganish optoelektronik qurilmalarda ularning samaradorligini optimallashtirish uchun muhimdir. Biroq, CoSi_2 yupqa plyonkalarining turli tagliklardagi optik xossalari, ayniqsa infraqizil diapazonda, hali tizimli ravishda tahlil qilinmagan.

MATERIALLAR VA USULLAR

Tadqiqotda diametri 50,8 mm va qalinligi 330 mkm bo'lgan p-tip va n-tip kremniy tagliklaridan foydalanildi. Kremniy tagliklar GDFZ usulida o'stirilgan bor bilan legirlangan p-tip

Si(111) va mishyak bilan legirlangan n-tip Si(111) kristallaridan iborat edi. GDFZ usuli yuqori kristall sifat va legirlovchi atomlarning bir tekis taqsimlanishini ta'minlaydi. Cho'ktirilgan plyonkalarining optik xossalari taglikning elektr o'tkazuvchanligi ta'sirisiz o'rganish uchun optik kvartslar tagliklari ham ishlatildi. Cho'ktirishdan oldin barcha tagliklar organik ifloslanishlar, metall aralashmalar va tabiiy oksid qatlamlarini yo'qotish maqsadida standart RCA tozalash protsedurasidan o'tkazildi. RCA tozalash SC-1 va SC-2 bosqichlarini, keyinchalik deionizatsiyalangan suv bilan yuvish va azot oqimida quritishni o'z ichiga oldi. 1-rasmda tozalashdan keyingi bor bilan legirlangan p-tip Si(111) taglikning SEM tasviri va EDS spektri keltirilgan. Magnetron purkash jarayonida purkash manbai sifatida 99,95 % tozalikdagi CoSi₂ nishonidan foydalanildi.

Cho'ktirilgan CoSi₂ yupqa plyonkalarining sirt morfologiyasi, qalinligi va topografik xususiyatlari 10–20 kV tezlashtiruvchi kuchlanishda ishlovchi Tescan MIRA 3 LMU skanerlovchi elektron mikroskopi (SEM) yordamida o'rganildi. Element tarkibi SEM tizimiga integratsiyalangan energiya-dispersiv rentgen spektroskopiyasi (EDS) yordamida aniqlandi. Kremniy taglikning ta'sirini kamaytirish uchun EDS o'lchovlari pasaytirilgan kuchlanishda va lokal sirt sohalarida amalga oshirildi. Shu sababli olingan natijalar yarim miqdoriy deb qaralishi kerak. Sirtning qo'poligi va uch o'lchamli morfologiyasi Olympus LEXT OLS5100 lazer konfokal mikroskopi yordamida tahlil qilindi. O'rtacha balandlik o'zgarishlari nanometr darajasida baholandi. Qo'shimcha nanoskopik topografik tadqiqotlar tapping rejimidagi atom-kuch mikroskopi (AFM) yordamida bajarildi.

Optik qaytarish spektrlari Bruker Vertex 80v FTIR spektrometrida qaytarish-o'tkazish moduli yordamida o'lchandi. O'lchovlar atmosfera yutilishini kamaytirish maqsadida taxminan 5 Torr vakuumda amalga oshirildi. Nurlanish namuna yuzasiga deyarli normal tushish burchagida (~8°) yo'naltirildi.

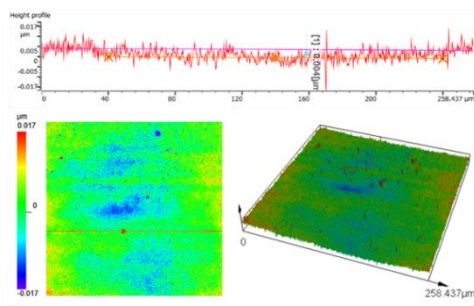
Yaqin infragizil (NIR) soha uchun galogen lampa, o'rta infragizil (MIR) soha uchun esa kremniy karbid (globar) manbai ishlatildi. Nur KBr nur ajratuvchisi orqali yo'naltirildi va qaytgan signal DLATGS piroelektrik detektor yordamida qayd etildi. Har bir spektr 4 sm⁻¹ spektral ajratish qobiliyatida va 64 marta skanerlash natijasini o'rtachalash orqali yozib olindi. Qaytarish koeffitsienti oltin ko'zgu etaloniga nisbatan quyidagicha normallashtirildi:

$$R(\lambda) = I_{\text{sample}} / I_{\text{gold}}$$

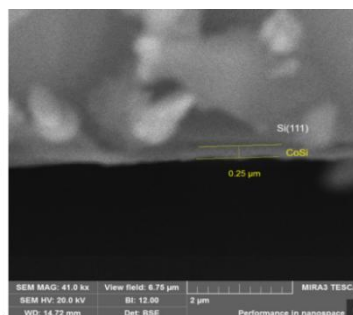
bu yerda: I_{sample} – namunadan qaytgan intensivlik; I_{gold} – oltin ko'zgudan qaytgan intensivlik. Optik o'tkazuvchanlik ma'lumotlari mavjud bo'lmagani sababli, Kubelka–Munk funksiyasi taxminiy usul sifatida qo'llanilib, samarali optik taqiqlangan zona kengligi (band gap) baholandi. Optik taqiqlangan zona Kubelka–Munk transformatsiyasi va Tauc usuli yordamida aniqlandi [9,10].

Natija va muhokama

CoSi₂ yupqa plyonkalarining sirt xususiyatlari lazerli konfokal skanerlovchi mikroskopiya (CLSM) yordamida o'rganildi. Qattiq fazali ion-plazma usuli bilan tayyorlangan plyonkalarining sirt topografiyasi va g'adir-budurligiga DC hamda mid-RF purkash rejimlarining ta'siri tizimli ravishda tahlil qilindi. 1a va 2a-rasmlarda mos ravishda DC va mid-RF purkash sharoitlarida olingan plyonkalarining sirt profillari, uch o'lchamli topografik xaritalari hamda kulrang tusdagi balandlik taqsimotlari keltirilgan. Mid-RF purkash rejimida 1250 soniya davomida cho'ktirish natijasida qalinligi taxminan 250 nm bo'lgan CoSi₂ yupqa plyonkasi hosil qilindi (1b-rasm). Bunga qarama-qarshi ravishda, DC rejimida 500 soniya davomida cho'ktirish natijasida qalinligi taxminan 90 nm bo'lgan nisbatan yupqaroq CoSi₂ plyonkasi olindi (2b-rasm). Ushbu natijalar mid-RF rejimida plyonkaning o'sish tezligi DC rejimiga nisbatan ancha yuqori ekanligini ko'rsatadi. Bu holat mid-RF purkash jarayoniga xos bo'lgan yuqori ion energiyasi va plazma zichligi bilan izohlanadi.

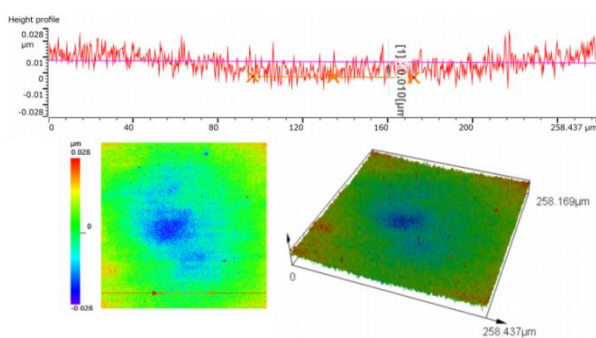


a)

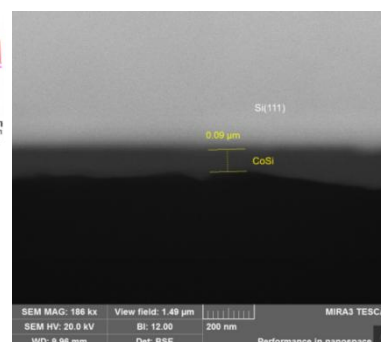


b)

1-rasm. Mid-RF purkash rejimida choʻktirilgan CoSi_2 yupqa plyonkasining sirt topografiyasi va gʻadir-budurligi.



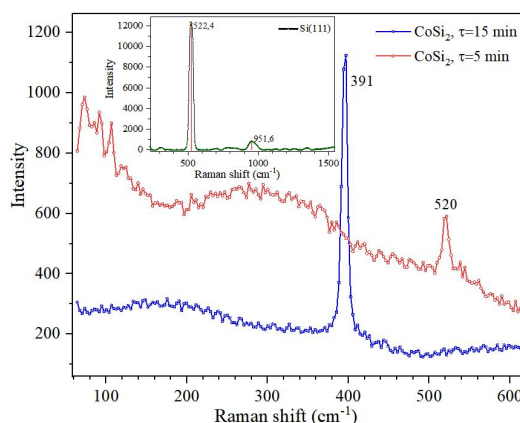
a)



b)

2-rasm. DC purkash rejimida choʻktirilgan CoSi_2 yupqa plyonkasining sirt topografiyasi va gʻadir-budurligi.

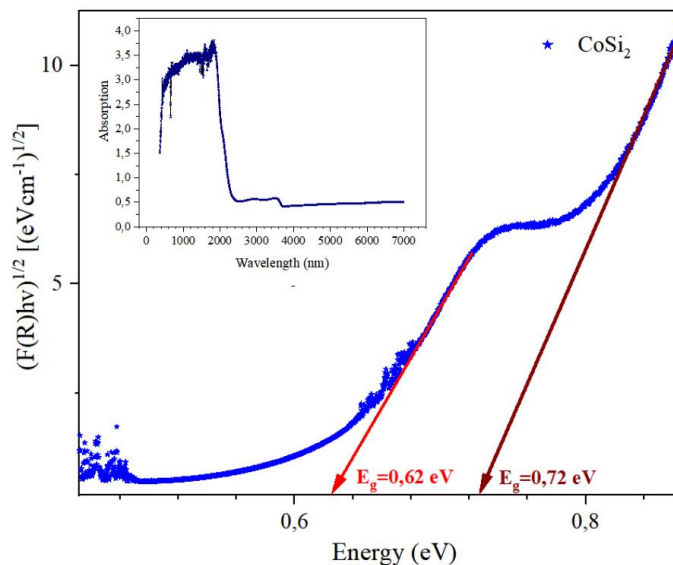
Olingan natijalar toʻliq shakllangan oʻsish ketma-ketligini koʻrsatadi: toʻliq shakllanmagan amorf qatlamlar $\rightarrow$ uzluksiz amorf plyonkalar $\rightarrow$ polikristall CoSi_2 . Ushbu jarayon issiqlik faollashuvi va plazma yordamidagi energiya uzatilishi oʻrtasidagi oʻzaro taʼsir bilan boshqariladi. Kuzatilgan fazaviy evolyutsiya oʻtish metallari silitsidlarining oʻsish mexanizmlari boʻyicha avvalgi ilmiy tadqiqotlar bilan yaxshi mos keladi hamda choʻktirish parametrlarini aniq boshqarish orqali CoSi_2 yupqa plyonkalarining mikrostrukturaviy xossalarini maqsadli elektron va optoelektron qoʻllanmalar uchun moslashtirish mumkinligini tasdiqlaydi.



3-rasm. $\text{CoSi}_2/\text{Si}(111)$ yupqa plyonkalarining Raman spektri. Ichki rasmda (inset) yalangʻoch $\text{Si}(111)$ substratining Raman spektri keltirilgan.

3-rasmda 390 cm^{-1} da kuzatilgan kuchli Raman choʻqqisi CoSi_2 ning $\text{Tg}(2)$ fonon modasiga mos kelishi keltirilgan. Kubik CaF_2 -tipidagi kristall tuzilma ($\text{Fm}\bar{3}\text{m}$ fazaviy guruhi) uchun Raman-faol modalar bitta Eg va ikkita Tg modadan iborat. $\text{Tg}(2)$ moda yuqori chastotali, uch martalik degeneratsiyaga ega optik fonon boʻlib, kristall panjaradagi kremniy atomlarining qarama-qarshi

fazadagi tebranishlari bilan bog‘liq. 390 cm^{-1} da joylashgan ushbu aniq Tg(2) cho‘qqisining mavjudligi yaxshi faza tozaligiga ega kristall CoSi₂ hosil bo‘lganligini tasdiqlaydi. Chunki ushbu moda disilitsid fazasi uchun xos bo‘lib, CoSi yoki Co₂Si kabi boshqa kobalt silitsid birikmalarida kuzatilmaydi.



4-rasm. Tauc grafigi tahlili asosida aniqlangan CoSi₂ yupqa plyonkasining optik taqiqlangan zona (bandgap) spektri.

4-rasmda DC va mid-RF purkash rejimlarida olingan CoSi₂ yupqa plyonkalari uchun Kubelka–Munk qaytarish ma‘lumotlaridan hosil qilingan Tauc graflari keltirilgan. Har ikkala holatda ham ikkita aniq chiziqli soha kuzatiladi. Bilvosita optik o‘tish modeli ($n = 2$) asosida bajarilgan Tauc tahlili natijasida ikkita alohida optik taqiqlangan zona qiymati aniqlandi. Taxminan 0,62 eV da kuzatilgan birinchi o‘tish past energiyali yutilish jarayoniga mos keladi va nuqsonlar bilan bog‘liq energetik holatlar mavjudligini ko‘rsatadi. Ushbu holatlar, ehtimol, plyonka–substrat chegarasidagi strukturaviy nuqsonlar natijasida yuzaga kelgan. Bunday sub-bandgap yutilish magnetron purkash usulida tayyorlangan nanokristall silitsid plyonkalarida keng tarqalgan hodisa hisoblanadi. CoSi₂ ning asosiy bilvosita optik taqiqlangan zonasi $E_g = 0,72 \text{ eV}$ deb aniqlandi. Bu qiymat stexiometrik kobalt disilitsid uchun avval adabiyotlarda keltirilgan natijalar bilan juda yaxshi mos keladi.

XULOSA

CoSi₂ yupqa plyonkalari DC va RF magnetron purkash usullari yordamida muvaffaqiyatli sintez qilindi hamda ularning optik xossalari tizimli ravishda tadqiq qilindi. Sirt morfologiyasi tahlillari plyonkalarining nanometr darajasidagi silliqlikka ega ekanligini va qalinlikka bog‘liq mikrostrukturaviy evolyutsiyani namoyon qildi. Raman spektroskopiyasi strukturaviy tahlil natijalarini tasdiqlab, kristall CoSi₂ ga xos tebranish modalarini aniqladi. Infraqizil optik tahlil natijasida taxminan 0,72 eV ga teng samarali bilvosita optik taqiqlangan zona (indirect bandgap) hamda undan past energiyali nuqsonlar bilan bog‘liq optik o‘tish aniqlandi. Avvalgi tadqiqotlar asosan strukturaviy tahlil bilan cheklangan bo‘lsa, mazkur ishda plazma qo‘zg‘atish rejimi, mikrostrukturaviy evolyutsiya, infraqizil optik javob va zaryad tashish mexanizmlari o‘rtasidagi bevosita bog‘liqlik namoyish etildi. Bu esa CoSi₂ yupqa plyonkalarining funksional xususiyatlarini optimallashtirish bo‘yicha yangi ilmiy tushunchalarni taqdim etadi.

ADABIYOTLAR RO‘YHATI:

- [1] Takagaki, R., Yamamoto, C., Yamanaka, J., Arimoto, K., Kurosawa, M., Hara, K.O. Synthesis and characterization of CaSi_2 films for hydrogenated 2D Si nanosheets. J. Vac. Sci. Technol. A 42, 053404 (2024). <https://doi.org/10.1116/6.0003627>
- [2] Cheng, F., Jiang, C.H., Wu, J.S. Effect of sputtering input powers on CoSi_2 thin films prepared by magnetron sputtering. Mater. Des. 26, 369–372 (2005). <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2004.06.004>
- [3] Viguiet, C., Cros, A., Humbert, A., Ferrieu, C., Thomas, O., Madar, R., Senateur, J.P. Electronic properties of CoSi_2 studied by reflectivity and spectroscopic ellipsometry. Solid State Commun. 60, 923–926 (1986). [https://doi.org/10.1016/0038-1098\(86\)90386-8](https://doi.org/10.1016/0038-1098(86)90386-8)
- [4] Duboz, J.Y., Badoz, P.A., Henz, J., von Känel, H. Near-infrared optical properties of CoSi_2 thin films. J. Appl. Phys. 68, 2346–2350 (1990). <https://doi.org/10.1063/1.346542>
- [5] Davlatov, M.A., Davranov, K.T., Dovranov, X.T., Xusanov, S.N., Kodirov, A.R., Xolikulova, S. Structural characteristics and optical properties of SiC thin films produced by the RF-PVD method. East Eur. J. Phys. 2, 330–334 (2025).
- [6] Cheng, F., Jiang, C., Wu, J. Effect of annealing on CoSi_2 thin films prepared by magnetron sputtering. Mater. Sci. Eng. B 119, 61–64 (2005).
- [7] Rachid, A., Mohamed, S., Kolitsch, A. Ion beam synthesis of cobalt silicide layers in Si(111). Int. J. Thin Film Sci. Technol. 4, 211–213 (2015).
- [8] Jain, I.P., Agarwal, G. Ion beam induced surface and interface engineering. Surf. Sci. Rep. 66, 77–172 (2011).
- [9] Dai, S., Pan, X., Ma, L., Huang, X., Du, C., Qiao, Y., Wu, Z. Discovery of the linear region of near-infrared diffuse reflectance spectra using the Kubelka–Munk theory. Front. Chem. 6, 154 (2018). <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00154>
- [10] Landi, S., Segundo, I.R., Freitas, E., Vasilevskiy, M., Carneiro, J., Tavares, C.J. Use and misuse of the Kubelka–Munk function to obtain the band gap energy from diffuse reflectance measurements. Solid State Commun. 341, 114573 (2022).

ANIQ INTEGRAL ASOSIDA AMALIY MASALALARNI YECHISHNING ZAMONAVIY USULLARI

Abduolimova Malika Qudratxo‘ja qizi

Annotatsiya. Mazkur maqolada aniq integral tushunchasining amaliy masalalarni yechishdagi ahamiyati hamda uni hisoblashning zamonaviy usullari yoritilgan. Aniq integral matematik analizning muhim tushunchalaridan biri bo‘lib, u geometriya, fizika, mexanika, iqtisodiyot, muhandislik va boshqa ko‘plab fanlarda uchraydigan masalalarni matematik modellashtirish imkonini beradi. Maqolada aniq integral yordamida yuza, masofa, hajm, massa, bajarilgan ish va boshqa kattaliklarni aniqlash masalalari ko‘rib chiqiladi. Shuningdek, analitik usullar bilan bir qatorda sonli integrallash usullarining ahamiyati, kompyuter texnologiyalaridan foydalanish imkoniyatlari tahlil qilinadi. Zamonaviy hisoblash vositalari murakkab integrallarni yuqori aniqlikda va qisqa vaqt ichida hisoblash imkonini berishi ko‘rsatib beriladi. Aniq integralni amaliy masalalarda qo‘llash matematik bilimlarni real jarayonlar bilan bog‘lashning samarali vositasi sifatida qaraladi.

Kalit so‘zlar: aniq integral, matematik modellashtirish, amaliy masala, sonli integrallash, taqribiy hisoblash, algoritm, axborot texnologiyalari, matematik analiz.

Аннотация. В данной статье рассматривается значение определенного интеграла при решении практических задач и современные методы его вычисления. Определенный интеграл является одним из важных понятий математического анализа и широко применяется в геометрии, физике, механике, экономике, инженерии и других областях науки. Рассматриваются задачи определения площади, расстояния, объема, массы и работы с помощью определенного интеграла. Особое внимание уделяется численным методам интегрирования и возможностям использования современных компьютерных технологий. Показано, что применение вычислительных средств позволяет быстро и с необходимой точностью решать сложные интегральные задачи. Определенный интеграл рассматривается как эффективный инструмент математического моделирования реальных процессов.

Ключевые слова: определенный интеграл, математическое моделирование, практическая задача, численное интегрирование, приближенное вычисление, алгоритм, информационные технологии, математический анализ.

Abstract. This article discusses the importance of definite integrals in solving practical problems and presents modern approaches to their calculation. The definite integral is one of the important concepts of mathematical analysis and is widely used in geometry, physics, mechanics, economics, engineering and other scientific fields. The paper considers applications of definite integrals for determining area, distance, volume, mass and work. Particular attention is paid to numerical integration methods and the use of modern computer technologies. Computational tools make it possible to solve complex integral problems quickly and with sufficient accuracy. The definite integral is considered as an effective mathematical tool for modelling real-world processes and solving applied problems.

Keywords: definite integral, mathematical modelling, practical problem, numerical integration, approximate calculation, algorithm, information technologies, mathematical analysis.

Matematika fan va texnologiyaning rivojlanishida muhim nazariy va amaliy vositalardan biri hisoblanadi. Bugungi kunda texnika, ishlab chiqarish, iqtisodiyot, tabiiy fanlar va axborot texnologiyalarida yuzaga kelayotgan ko‘plab masalalarni matematik modellash tirish orqali o‘rganish mumkin. Bunday masalalarni yechishda matematik analizning asosiy tushunchalaridan biri bo‘lgan aniq integral alohida ahamiyatga ega. Aniq integral dastlab egri chiziq bilan chegaralangan yuzani hisoblash masalasidan kelib chiqqan bo‘lsa-da, uning qo‘llanish sohasi ancha keng. U yordamida o‘zgaruvchan kattaliklarning umumiy ta’sirini aniqlash, fizik jarayonlarni ifodalash, geometrik jismlarning hajmini hisoblash, o‘zgaruvchan tezlikda bosib o‘tilgan masofani topish, iqtisodiy jarayonlarni tahlil qilish va boshqa ko‘plab amaliy masalalarni hal qilish mumkin. Xususan, aniq integralni hisoblashda Nyuton–Leybnits formulasi, o‘zgaruvchini almashtirish va bo‘laklab integrallash kabi usullar keng qo‘llanadi.

Biroq amaliyotda uchraydigan barcha integrallarni analitik usulda hisoblash imkoniyati mavjud emas. Funksiya murakkab ko‘rinishda bo‘lsa yoki tajriba natijasida olingan jadval ko‘rinishidagi ma’lumotlar bilan ishlashga to‘g‘ri kelsa, sonli usullardan foydalanish zarur bo‘ladi. Shu sababli zamonaviy matematikada aniq integralni taqribiy hisoblash usullarining ahamiyati ortib bormoqda. Mazkur maqolaning maqsadi aniq integralning amaliy masalalarni yechishdagi o‘rnini ko‘rsatish, uning zamonaviy hisoblash usullarini yoritish hamda matematik modellash tirish va axborot texnologiyalari bilan bog‘liqligini ochib berishdan iborat.

Aniq integralning amaliy masalalarni yechishdagi tatbiqlari iqtisodiyot, fizika, muhandislik va texnologiya jarayonlarini modellash tirishda muhim o‘rin tutadi. Zamonaviy yondashuvlar an’anaviy analitik usullarni raqamli hisoblash texnologiyalari va dasturiy paketlar bilan uyg‘unlashtirishga asoslanadi.

Asosiy qo'llanish sohalari va zamonaviy usullar

1. Geometrik masalalar

Zamonaviy muhandislik va kompyuter grafikasi (3D modellash) sohasida shakllarning yuzi, hajmi va egri chiziqli uzunligini hisoblashda aniq integral asosiy o'rin tutadi.

- **Tekis shakllar yuzi:** Ikki yoki undan ortiq funksiyalar grafiklari bilan chegaralangan soha yuzini hisoblash: $S = \int_a^b [f(x) - g(x)] dx$
- **Aylanma jismlar hajmi:** Egri chiziqli trapetsiyaning X o'qi atrofida aylanishidan hosil bo'lgan jism hajmi: $V = \pi \int_a^b [f(x)]^2 dx$

Murakkab topologiyaga ega 3D ob'ektlar (masalan, avtomobil kuzovlari yoki bino karkaslari) integral formulalari asosida ishlaydigan CAD/CAM tizimlari (AutoCAD, SolidWorks) orqali avtomatik ravishda hisoblanadi.

2. Fizikaviy va muhandislik masalalari

O'zgaruvchan jarayonlarni modellashda an'anaviy o'zgarmas kattaliklar o'rniga integral hisobi ishlatiladi.

- **O'zgaruvchan kuchning bajargan ishi:** Jism a nuqtadan b nuqtachacha o'zgaruvchan $F(x)$ kuchi ta'sirida ko'chirilganda: $A = \int_a^b F(x) dx$
- **Jism massasi va og'irlik markazi:** Zichligi o'zgaruvchan $\rho(x)$ bo'lgan bir jinsli bo'lmagan sterjen massasi: $m = \int_a^b \rho(x) dx$

Murakkab fizik jarayonlar (masalan, suyuqliklar dinamikasi yoki gidravlik bosim) ANSYS va COMSOL kabi dasturlarda chekli elementlar usuli (FEM) yordamida integrallanib, sonli modellashiriladi.

3. Iqtisodiy masalalar

Uzluksiz vaqt rejimida moliyaviy va ishlab chiqarish jarayonlarini tahlil qilishda aniq integral muhim instrument hisoblanadi.

- **Iste'molchi va ishlab chiqaruvchi ortiqchaligi:** Talab $P=D(x)$ va taklif $P=S(x)$ funksiyalari orqali muvozanat nuqtasi (x_0, P_0) topilgach:
 - *Iste'molchi ortiqchaligi (CS):* $CS = \int_0^{x_0} D(x) dx - P_0 x_0$
 - *Ishlab chiqaruvchi ortiqchaligi (PS):* $PS = P_0 x_0 - \int_0^{x_0} S(x) dx$
- **Uzluksiz pul oqimining keltirilgan qiymati (NPV):** t vaqt davomida tushadigan $R(t)$ daromadning r foiz stavkasida hozirgi qiymati: $PV = \int_0^T R(t) e^{-rt} dt$

Sonli integratsiyalash usullari analitik ravishda boshlang'ich funksiyasini topish qiyin bo'lgan yoki faqat ma'lum nuqtalardagi qiymatlari (jadval ko'rinishida) berilgan funksiyalarning aniq integralini hisoblash uchun qo'llaniladi. Zamonaviy hisoblash matematikasi va dasturlashda eng keng tarqalgan va asosiy usullar quyidagilardir:

1. To'g'ri burchakliklar usuli

Integrallash oralig'i $[a, b]$ teng n ta bo'lakka bo'linadi va har bir bo'lakdagi funksiya qiymati o'zgarmas deb olinadi.

Formulasi (O'rta nuqtalar bo'yicha): $\int_a^b f(x) dx \approx h \sum_{i=1}^n f(x_{i-1} + \frac{h}{2})$

Bu yerda $h = \frac{b-a}{n}$ bo'linish qadami. **Xususiyati:** Hisoblash sodda, ammo aniqlik darajasi nisbatan past ($O(h^2)$ xatolik).

2. Trapetsiyalar usuli

Egri chiziqli trapetsiya yuzi to'g'ri chiziqli trapetsiyalar yuzining yig'indisi bilan almashtiriladi.

Formulasi:
$$\int_a^b f(x) dx \approx h \left[\frac{f(a)+f(b)}{2} + \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) \right]$$

Xususiyati: To'g'ri burchakliklar usuliga qaraganda aniqroq, chiziqli interpolatsiyaga asoslangan ($O(h^2)$ xatolik).

3. Simpson usuli (Parabollar usuli)

Funksiya har bir juft oralikda ikkinchi darajali ko'phad (parabola) bilan almashtiriladi. Buning uchun bo'linishlar soni n juft son bo'lishi shart.

Formulasi:
$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{h}{3} \left[f(x_0) + 4 \sum_{i=1,3,5,\dots}^{n-1} f(x_i) + 2 \sum_{i=2,4,6,\dots}^{n-2} f(x_i) + f(x_n) \right]$$

Xususiyati: Yuqori aniqlik beradi ($O(h^4)$ xatolik). Amaliyotda va dasturlashda eng ko'p qo'llaniladigan standart usullardan biri.

4. Gauss kvadratura usuli (Gauss-Legendre)

Teng masofali nuqtalar o'rniga integrallash nuqtalari (tugunlar) va ularning vaznlari maxsus Legendre ko'phadlarining ildizlari bo'yicha tanlanadi.

Formulasi:
$$\int_{-1}^1 f(t) dt \approx \sum_{i=1}^n \omega_i f(t_i)$$

Xususiyati: Oz sonli nuqtalar bilan juda yuqori aniqlikka erishish imkonini beradi. Zamonaviy muhandislik paketlarida (MATLAB, SciPy) keng qo'llaniladi.

Amaliy masalani yechishning umumiy algoritmi

Aniq integral asosida amaliy masalalarni yechishda quyidagi ketma-ketlikdan foydalanish mumkin:

- 1) Masalani tushunish. Real jarayonda qanday kattalik izlanayotgani aniqlanadi.
- 2) Matematik model tuzish. Jarayonning o'zgaruvchilari va ular orasidagi bog'lanish aniqlanadi.
- 3) Integral modelini hosil qilish. Izlanayotgan umumiy kattalik integral ko'rinishida ifodalanadi.
- 4) Hisoblash usulini tanlash. Agar integral analitik usulda hisoblanadigan bo'lsa, aniq usuldan foydalaniladi. Aks holda sonli usullardan biri tanlanadi.
- 5) Hisoblash. Hisoblash qo'lda, kalkulyator yoki kompyuter dasturi yordamida amalga oshiriladi.
- 6) Natijani tahlil qilish. Olingan qiymat masalaning amaliy mazmuni bilan solishtiriladi. Mazkur algoritmi talabalarga aniq integralni faqat formula sifatida emas, balki amaliy muammoni hal qilish vositasi sifatida tushunishga yordam beradi.

Aniq integral va sonli integratsiyalash usullarini amaliyotda qo'llashda kompyuter texnologiyalari asosiy qurol hisoblanadi. Zamonaviy kompyuter texnologiyalari murakkab integrallarni bir necha soniyada yuqori aniqlikda hisoblash, natijalarni vizuallashtirish va ularni real tizimlarga tatbiq etish imkonini beradi.

1. Dasturlash tillari va kutubxonalar

- **Python (SciPy / NumPy / SymPy):**

- scipy.integrate moduli tarkibidagi quad (Gauss-Kronrod usuli), simpson va trapezoid funksiyalari orqali sonli integrallash bajariladi.
- SymPy kutubxonasi analitik (ramziy) integrallash va hosilalarni topish uchun ishlatiladi.
- **C++ va Fortran:** Yuqori hisoblash tezligini talab qiluvchi fizika va muhandislik simulatsiyalarida (masalan, gidrodinamika yoki kvant fizikasi masalalarida) raqamli integratsiyalash algoritmlari to'g'ridan-to'g'ri ushbu tillarda yoziladi.

2. Kompyuter algebra tizimlari (CAS)

- **MATLAB / Wolfram Mathematica / Maple:**

- Bu tizimlar muhandis va iqtisodchilar uchun tayyor muhit taqdim etadi. Ularda integral xatoliklarini avtomatik nazorat qilish ((a,b) oraligni moslashuvchan bo'lish) va cheksiz chegarali integrallarni hisoblash funksiyalari mavjud.
- Integral ostidagi funksiyaning 2D va 3D grafiklarini qurish hamda aylanma jismlar hajmini vizual modellashtirish imkonini beradi.

3. Muhandislik va modellashtirish dasturlari (CAD/CAE)

- **ANSYS, SolidWorks, COMSOL Multiphysics:**

- Ushbu dasturlar chekli elementlar usuli (FEM) va chekli hajmlar usuliga (FVM) asoslangan. Ularning markazida ko'p o'lchamli aniq integrallarni sonli yechish yotadi.
- Bino karkaslarining mustahkamligi, suyuqlik va gazlar oqimi hamda issiqlik o'tkazuvchanlik masalalari integrallar yordamida avtomatik hisoblanadi.

XULOSA

Aniq integral matematik analizning fundamental tushunchalaridan biri bo'lishi bilan birga, fan va texnologiyaning ko'plab yo'nalishlarida amaliy ahamiyatga ega bo'lgan matematik vositadir. Uning yordamida geometrik yuzalar va hajmlar, fizik kattaliklar, o'zgaruvchan jarayonlarning umumiy natijalari hamda turli iqtisodiy ko'rsatkichlarni aniqlash mumkin. Tadqiqot davomida aniq integralning amaliy masalalarni yechishdagi ahamiyati, ayniqsa, matematik modellashtirish bilan bog'liq holda namoyon bo'lishi ko'rsatildi. Real jarayonni matematik modelga aylantirish va ushbu model asosida integral tuzish murakkab jarayonlarni miqdoriy jihatdan baholash imkonini beradi. Amaliy masalalarda integrallarni har doim ham analitik usulda hisoblashning imkoni bo'lmagani sababli sonli integrallash usullari muhim ahamiyat kasb etadi. To'g'ri to'rtburchaklar, trapetsiyalar va Simpson usullari integralning taqribiy qiymatini aniqlash imkonini beradi. Hisoblash usullarining rivojlanishi esa ushbu jarayonlarni kompyuter texnologiyalari yordamida avtomatlashtirish imkoniyatini kengaytirmoqda. Shuningdek, zamonaviy matematik dasturlar aniq integralni hisoblash, grafik tasvirlash va olingan natijalarni tahlil qilishda samarali vosita bo'lib xizmat qiladi. Shu jihatdan aniq integral matematika, informatika, fizika, muhandislik va boshqa fanlar o'rtasidagi bog'liqlikni ta'minlovchi muhim vositalardan biridir. Xulosa qilib aytganda, aniq integralni o'rganishda nazariy bilimlarni amaliy masalalar, matematik modellashtirish va zamonaviy hisoblash texnologiyalari bilan birlashtirish muhimdir. Bunday yondashuv talabalarning matematik bilimlarini mustahkamlash bilan birga, ularning amaliy va mantiqiy fikrlash ko'nikmalarini ham rivojlantiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] G'aziyev A., Isroilov I., Yaxshiboyev M. Matematik analizdan misol va masalalar. – Toshkent: O'zbekiston Milliy ensiklopediyasi, 2006. Mazkur qo'llanmada matematik analizning turli bo'limlari, jumladan integral hisobiga oid masalalar berilgan.

[2] G'aziyev A. Matematik analiz. O'quv qo'llanma. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2012. Unda aniqlash va aniq integrallar hamda ularning tatbiqlariga oid mavzular yoritilgan.

[3] Xudayberganov G. Matematik analizdan ma'ruzalar. 2-qism. – Toshkent: Voris nashriyot, 2010. Matematik analizning integral hisobi va boshqa bo'limlari yoritilgan.

[4] Ismatullayev G.P. Hisoblash usullari. O'quv qo'llanma. – Toshkent, 2014. Unda aniq integrallarni taqribiy hisoblash, xatoliklar nazariyasi va boshqa sonli usullar bayon qilingan.

[5] Imomov A. Hisoblash usullari. O'quv qo'llanma. – Toshkent, 2023. Qo'llanmada taqribiy integrallash hamda Mathcad va Maple tizimlaridan foydalanish masalalari ko'rib chiqilgan.

[6] Shamsiyev R.N. Matematika. Darslik. – 2025. Darslikda bir o'zgaruvchili funktsiyaning differensial va integral hisobi hamda ularga oid namunaviy masalalar keltirilgan.

[7] Oliy matematika fanidan misol va masalalar yechish uchun uslubiy qo'llanma. – Toshkent, 2023. Qo'llanma aniq integral va uning tatbiqlariga oid masalalarni ham qamrab oladi.

KONFLYUENT GIPERGEOMETRIK FUNKSIYALARNING XUSUSIY HOSILALI IKKINCHI TARTIBLI PARABOLIK TENGLAMA UCHUN AVTOMODEL YECHIMNI TOPISHGA TATBIQLARI

Arziqulov Zafarjon Odilovich

ANNOTATSIYA. Ushbu tadqiqotda ikkinchi tartibli parabolik tenglamalar uchun avtomodel yechimlarni aniqlashda konflyuent gipergeometrik funktsiyalardan foydalanish o'rganiladi. Avtomodel almashtirish yordamida xususiy hosilali tenglama oddiy differensial tenglamaga keltiriladi. Hosil bo'lgan tenglama Kummer tenglamasi bilan solishtirilib, yechim konflyuent gipergeometrik funktsiyalar orqali ifodalanadi. Olingan natija parabolik jarayonlarning analitik tadqiqini soddalashtiradi.

ANNOTATION: This study investigates the application of confluent hypergeometric functions to constructing self-similar solutions of second-order parabolic partial differential equations. A similarity transformation reduces the governing partial differential equation to an ordinary differential equation. The resulting equation is identified with Kummer's equation, allowing its solution to be represented through confluent hypergeometric functions and providing an analytical framework for diffusion-type processes.

АННОТАЦИЯ: В работе исследуется применение конфлюэнтных гипергеометрических функций для построения автомодельных решений параболических уравнений второго порядка. С помощью автомодельной замены исходное уравнение в частных производных сводится к обыкновенному дифференциальному уравнению. Полученное уравнение идентифицируется с уравнением Куммера, что позволяет представить решение через конфлюэнтные гипергеометрические функции и исследовать основные свойства решения.

Kalit so'zlar: avtomodel yechim; parabolik tenglama; konflyuent gipergeometrik funktsiya; Kummer tenglamasi.

Keywords: self-similar solution; parabolic equation; confluent hypergeometric function; Kummer equation.

Ключевые слова: автомодельное решение; параболическое уравнение; конфлюэнтная гипергеометрическая функция; уравнение Куммера.

ASOSIY MATN

Ikkinchi tartibli xususiy hosilali buziladigan parabolik differensial tenglamalar diffuziya, issiqlik tarqalishi, filtratsiya va boshqa uzluksiz jarayonlarning matematik modellarini qurishda muhim o'rin egallaydi. Bunday tenglamalarning umumiy yechimini analitik ko'rinishda olish ko'pincha murakkab bo'lib, ayniqsa vaqt va fazoviy o'zgaruvchilar o'zaro bog'langan hollarda

klassik o'zgaruvchilarni ajratish usuli yetarli bo'lmisligi mumkin. Shu sababli avtomodel yoki similarity almashtirishlaridan foydalanish samarali analitik yondashuvlardan biri hisoblanadi. Issiqlik tenglamasi uchun bunday almashtirishlar Kummer tipidagi konflyuent gipergeometrik funksiyalarga olib kelishi [1], [2] adabiyotlarda ko'rsatilgan.

Tadqiqotda quyidagi ikkinchi tartibli buziladigan parabolik tenglama qaraladi:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial I u}{\partial x I} + \frac{k}{x} \frac{\partial u}{\partial x}, \quad x > 0, t > 0, \quad (1)$$

bu yerda $u = u(x, t)$ – noma'lum funksiya, k – haqiqiy parametr. (1) tenglamaning avtomodel yechimini quyidagi ko'rinishda izlaymiz:

$$u(x, t) = t^{-\alpha} F(\xi), \quad \xi = -\frac{x^2}{4t} \quad (2)$$

(2) almashtirishdan foydalanib, zarur hosilalarni hisoblaymiz:

$$u_t = t^{-\alpha-1} (-\alpha F - \xi F), \quad u_x = -\frac{x}{2t} t^{-\alpha} F, \quad u_{xx} = t^{-\alpha-1} (-\xi F - \frac{1}{2} F).$$

Bundan tashqari,

$$\frac{k}{x} u_x = -\frac{k}{2} t^{-\alpha-1} F.$$

Ushbu olingan hosilalarni va ifodalarni (1) tenglamaga qo'yib, soddalashtirsak, quyidagi oddiy gipergeometrik differensial tenglama hosil bo'ladi:

$$\xi F + \frac{k+1}{2} F - \xi F - \alpha F = 0 \quad (3)$$

(3) tenglamani standart Kummer tenglamasi bilan taqqoslaymiz:

$$zY + (b - z)Y' - aY = 0 \quad (4)$$

Kummer tenglamasi konflyuent gipergeometrik funksiyalarning asosiy differensial tenglamasi bo'lib, uning standart yechimlari $M(a, b, z)$ va $U(a, b, z)$ funksiyalari bilan ifodalanadi [3].

Shuning uchun (3) tenglamaning umumiy yechimi

$$F(\xi) = C_1 M\left(\alpha, \frac{k+1}{2}, \xi\right) + C_2 U\left(\alpha, \frac{k+1}{2}, \xi\right), \quad (5)$$

ko'rinishda yoziladi. Demak, dastlabki ikkinchi tartibli buziladigan parabolik tenglamaning avtomodel yechimi quyidagi:

$$u(x, t) = t^{-\alpha} \left[C_1 M\left(\alpha, \frac{k+1}{2}, -\frac{x^2}{4t}\right) + C_2 U\left(\alpha, \frac{k+1}{2}, -\frac{x^2}{4t}\right) \right] \quad (6)$$

oshkor ko'rinishga ega bo'ladi.

NATIJALAR

Olib borilgan matematik tahlil natijasida ikkinchi tartibli buziladigan parabolik xususiy hosilali differensial tenglama uchun avtomodel yechimni qurishning aniq algoritmi ko'rsatildi. Birinchi bosqichda tenglamaning parabolik tip ekanligi hisobga olinib, fazoviy va vaqt o'zgaruvchilarini bitta o'lchamsiz avtomodel o'zgaruvchiga keltiruvchi almashtirish tanlandi.

Xususan, $\xi = \frac{x^2}{4t}$ o'zgaruvchining kiritilishi diffuziya jarayonlariga xos bo'lgan fazo-vaqt masshtablanishini hisobga oladi. Shu bilan birga, $t^{-\alpha}$ ko'paytuvchisi yechimning vaqt bo'yicha masshtablanish darajasini belgilaydi.

Almashtirishni dastlabki tenglamaga qo'llash natijasida xususiy hosilali differensial tenglama oddiy differensial differensial tenglamaga keltirildi. Hosil bo'lgan (3) tenglama Kummerning konflyuent gipergeometrik tenglamasi bilan to'liq mos keladi. NIST Digital Library of Mathematical Functions manbasida Kummer tenglamasi $z\omega + (b-z)\omega - a\omega = 0$ shaklida berilgan va $M(a,b,z)$ uning asosiy yechimlaridan biri sifatida aniqlangan [3]. Shu moslikdan $a = \alpha$

$b = \frac{k+1}{2}$ ekanligi aniqlanadi. Natijada avtomodel funksiya ikkita chiziqli erkli yechim Kummerning M funksiyasi va Tricomining U funksiyasi orqali ifodalanadi. Bu ikki funksiya yordamida turli boshlang'ich yoki chegaraviy shartlarga mos keluvchi yechimlarni tanlash imkoniyati mavjud. Kummer funksiyalarining hosilalari va rekurrent munosabatlari ham mavjud bo'lib, ular yechimning chegaraviy xossalari tekshirishda qo'llash mumkin [3].

XULOSA

Tadqiqot natijasida ikkinchi tartibli parabolik xususiy hosilali tenglamaning avtomodel yechimini konflyuent gipergeometrik funksiyalar yordamida qurish usuli ko'rsatildi. Avtomodel almashtirish xususiy hosilali tenglamani Kummer tipidagi oddiy differensial tenglamaga keltiradi. Uning umumiy yechimi Kummerning $M(a,b,z)$ va Tricomi $U(a,b,z)$ funksiyalari orqali ifodalanadi. Ushbu yondashuv parabolik jarayonlarning analitik xususiyatlarini o'rganish, parametrlarning yechimga ta'sirini aniqlash hamda tegishli boshlang'ich va chegaraviy masalalarni tadqiq qilish uchun matematik asos yaratadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Choi, K., & Kim, J. (2020). Deriving general solutions of the heat-transfer and the Fokker–Planck boundary-value problems through modified separation methods. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 556, 124831.

[2] Futagami, K., & Mizukami, K. (1988). Confluent hypergeometric solutions for conduction equation. *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, 54, 1469–1474.

[3] Olver, F. W. J., et al. (2026). NIST Digital Library of Mathematical Functions, Chapter 13: Confluent Hypergeometric Functions. National Institute of Standards and Technology.

SUN'IY INTELLEKT VOSITALARIDAN FOYDALANIB DASTURIY KODLAR SIFATINI OSHIRISH VA VAQTNi TEJASH USULLARI

Qo'ldosheva Nafisa

ANNOTATSIYA. Ushbu maqolada zamonaviy dasturiy ta'minotni ishlab chiqish jarayonida sun'iy intellekt (AI) texnologiyalaridan foydalanish orqali unumdorlik va kod sifatini oshirish masalalari tahlil qilingan. Shuningdek, AI yordamida generatsiya qilingan kodlarni leksik-struktorni moslik, bajarilish tezligi hamda xavfsizlik mezonlari asosida baholash metodologiyasi keltirilib, amaliy Python kodi misolida yoritib berilgan.

Kalit so'zlar: sun'iy intellekt, avtomatik kod generatsiyasi, kod sifati, siklomatik murakkablik, kiberxavfsizlik, gibridd model.

АННОТАЦИЯ. В данной статье анализируются вопросы повышения производительности и качества кода за счет использования технологий искусственного интеллекта (ИИ) в процессе современной разработки программного обеспечения. Также представлена методология оценки кода, сгенерированного с помощью ИИ, на основе

совместимости лексической структуры, скорости выполнения и критериев безопасности, проиллюстрированная на примере практического кода на языке Python.

Ключевые слова: искусственный интеллект, автоматическая генерация кода, качество кода, цикломатическая сложность, кибербезопасность, гибридная модель.

ABSTRACT. This article analyzes the enhancement of productivity and code quality through the use of artificial intelligence (AI) technologies in the modern software development process. It also presents a methodology for evaluating AI-generated code based on criteria such as lexical-structural consistency, execution speed, and security, illustrating the approach with a practical Python code example.

Keywords: artificial intelligence, automatic code generation, code quality, cyclomatic complexity, cybersecurity, hybrid model.

1. KIRISH

Dasturiy ta'minot sanoatida sun'iy intellekt va avtonom agentlarning keng joriy etilishi mahsulotlarni yaratish hamda rivojlantirish sur'atini yangi bosqichga olib chiqdi. Dastlab AI vositalari oddiy kod parchalarini avtomatik to'ldirish uchun ishlatilgan bo'lsa, bugungi kunda bu yondashuv aniq spetsifikatsiya va mantiqiy tuzilmaga tayanadigan tizimli muhandislikka bo'shatib bermoqda. Kod yozish tezlashgani sari avtomatik ko'rib chiqish, optimallashtirish va testlash bosqichlarini intellektual vositalar bilan boyitish zarurati yanada keskin namoyon bo'ldi. Biroq generativ modellarga o'ylamasdan tayanib qolish kod bazasida texnik qarzning ortishiga, kiberxavfsizlik zaifliklariga hamda kutilmagan mantiqiy xatoliklarga olib kelishi mumkin. Shu sababli zamonaviy muhandislar oldida AI ni shunchaki tasodifiy kod generatori emas, balki qat'iy nazorat qilinadigan ish quroliga aylantirish vazifasi turibdi. Mavzuning ilmiy asoslari uchta tadqiqotda mujassam. N. Sherje AI vositalaridan foydalanish qanchalik vaqt tejashi va mahsulдорlikni oshirishini tahlil qiladi [1]. S. K. Chintagunta va S. Amrale AI ning kod yozishdan tashqari test qilish va ishga tushirish jarayonlarida ham unumdorlikni oshirishini yoritadi [2]. H. Fawareh va F. M. Alanazi esa AI ning o'rni va kod generatsiyasini tahlil qilib, AI dasturchini almashtirmasligi, uning samarali yordamchisiga aylanishi haqida xulosa qiladi [3]. Uch ishni bir butun sifatida qaraydigan bo'lsak, Sherje samaradorlikni, Chintagunta jarayonning to'liq sikl qamrovini, Fawareh esa sifat va nazorat masalasini yoritadi - shu uch yo'nalishning kesishmasida mazkur maqolaning tadqiqot savoli yotadi. Shunga ko'ra tadqiqotning maqsadi - AI generatsiya qilgan kodning sifatini obyektiv mezonlar asosida baholovchi metodologiya ishlab chiqish va uni amaliy misolda sinovdan o'tkazishdan iborat.

2. TADQIQOT METODI

AI yaratgan kodlarning sifati, tezligi va xavfsizligini baholash uchun uchta mezon guruh belgilandi. Uchala guruh bir-birini to'ldiradi: birinchisi kod tuzilishini, ikkinchisi ishlash samarasini, uchinchisi ishga tushirish xavfsizligini qamrab oladi.

Birinchi mezon - tuzilish va matn jihatidan o'xshashlik. AI yozgan kod namuna kodga qanchalik mos kelishini o'lchash uchun: 1) qatorlar mosligi -bir xil qatorlar ulushi; 2) o'xshashlik masofasi -moslashtirish uchun kerakli tahrirlar soni;

3) tokenlar mosligi -buyruq va so'zlar ketma-ketligi; 4) mantiqiy murakkablik - koddagi shartlar va tarmoqlanishlar darajasi hisoblandi. Ikkinchi mezon - ishlash tezligi: modulning o'rtacha bajarilish vaqti hamda dastlabki va optimallashtirilgan kod orasidagi tezlashuv ko'rsatkichi foizda hisoblab chiqildi. Uchinchi mezon - xavfsizlik auditi: AI ba'zan ochiq bazalarda mavjud bo'lmagan soxta yoki xavfli kutubxona nomlarini tavsiya qiladi, shu bois noma'lum paketlarga murojaatlar maxsus avtomatik skanerlar yordamida aniqlab olindi.

3. NATIJALAR VA MUHOKAMA

Metodologiyani sinovdan o'tkazish uchun Python tilida kiritilgan son tub yoki tub emasligini aniqlaydigan oddiy funksiya olindi - shunday holda ham AI optimallashtirish samarasi yaqqol ko'rinadi.

1. Dastlabki kod

Python

```
def tub(n):  
    if n <= 1:  
        return False  
  
    for i in range(2, n):  
        if n % i == 0:  
            return False  
    return True
```

2. AI optimallashtirgan kod

Python

```
import math  
def tub_fast(n):  
    if n <= 1:  
        return False  
    if n <= 3:  
        return True  
    if n % 2 == 0 or n % 3 == 0:  
        return False  
    for i in range(5, int(math.isqrt(n)) + 1, 6):  
        if n % i == 0 or n % (i + 2) == 0:  
            return False  
    return True
```

Yuqoridagi ikkita kodni quyidagi mezonlar bo'yicha solishtirib yozishingiz mumkin.

Siklomatik murakkablik : Dastlabki kodda tarmoqlanishlar soni ko'p bo'lgani uchun murakkabligi biroz yuqori.

Optimallashtirilgan kod: Qo'shimcha shartlar ($n \leq 3$, qadamlar) evaziga mantiqiy tarmoqlanishlar boshqacha taqsimlandi, lekin katta sonlar uchun hisoblash tezligi keskin oshdi.

Bajarilish vaqti va Tezlashuv: Katta son (masalan, $n = 10,000,009$) kiritib tekshirilganda tub funksiyasi vaqtni ko'p sarflaydi. tub_fast funksiyasi esa ildiz ostigacha tekshirgani uchun bajarilish vaqti tarmoqli ravishda bir necha barobar qisqardi.

Xavfsizlik va paketlar auditi:Kodda qo'shimcha tashqi kutubxonalar ishlatilmadi, faqat Python'ning o'zining standart math moduli chaqirildi. Shuning uchun soxta paketlar va xavfsizlik xatarlari 0% ni tashkil etdi.

4. XULOSA

Tadqiqot AI yordamida dasturiy ta'minot yaratishdagi o'zgarishlarni tahlil qildi: AI agentlari kod yozish, testlash va tahrirlash kabi jarayonlarni tubdan o'zgartirmoqda. Amaliy sinov AI yordamida olingan kodning bajarilish tezligini bir necha barobar oshirishi, standart kutubxonalarga orqali xavfsizlik xatarini nolgacha tushirishi va siklomatik murakkablikni barqaror saqlashi bilan isbotlandi. Shunga qaramay, mavjud xatarlar - kiberhujumlar, mavjud bo'lmagan kutubxonalarga tayanish va nazoratning pasayishi - avtomatlashtirilgan tizimlarda inson nazorati hamda sifatli boshqaruv qatlamini saqlash zaruratini ko'rsatadi. Yakuniy xulosaga ko'ra, dasturiy ta'minot sanoati AI vositalari va mutaxassislar hamkorligiga asoslangan gibrid modelga o'tmoqda: AI tezlik va takroriy mehnatni o'z zimmasiga oladi, inson esa arxitektura, nazorat va mas'uliyatni saqlab qoladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Sherje N. Enhancing software development efficiency through AI-powered code generation // Research Journal of Computer Systems and Engineering. - 2024. - P. 01–12.

[2] Chintagunta S. K., Amrale S. AI in code, testing, and deployment: A survey on productivity enhancement in modern software engineering // Int. J. Curr. Eng. Technol. - 2023. - Vol. 13. - № 6. - P. 627–634.

[3] Fawareh H., Alanazi F. M. The Significance of AI Technologies to Enhance Productivity, Efficiency, and Software Quality Within the Software Development Process // Artificial Intelligence for Sustainable Innovation Management and Risk Management: A Systems (and Network) Perspective. - Cham: Springer Nature Switzerland, 2026. - P. 2435–2451.

TA'LIM MUASSASALARIDA XAVFSIZLIKNI TA'MINLASHDA MATEMATIK MODELLASHTIRISH VA AKT DAN FOYDALANISH

Fayzullayeva E'zoza O'tkir qizi¹

¹Shahrisabz davlat pedagogika instituti talabasi, Shahrisabz

Annotatsiya. Ushbu maqolada ta'lim muassasalarida xavfsizlikni ta'minlash masalasi matematik modellash va axborot-kommunikatsiya texnologiyalari (AKT) vositalari orqali yechish yo'llari ilmiy asosda ko'rib chiqilgan. Ehtimollik nazariyasi, grafi modellar va differentsial tenglamalar asosida xavfsizlik muammolarini ifodalash imkoniyatlari tahlil qilingan. Maktab va universitetlarda ushbu yondashuvni joriy etishning kontseptual modeli taklif qilingan.

Kalit so'zlar: matematik modellash, AKT vositalari, ehtimollik nazariyasi, xavf monitoringi, sun'iy intellekt.

Аннотация. В статье рассматриваются возможности обеспечения безопасности в образовательных учреждениях с применением математического моделирования и средств информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Оценены возможности систем видеонаблюдения, биометрической идентификации и платформ искусственного интеллекта в образовательной среде.

Ключевые слова: математическое моделирование, ИКТ, мониторинг рисков.

Abstract. This article examines the application of mathematical modeling and information and communication technologies (ICT) in ensuring security at educational institutions. The potential of video surveillance systems, biometric identification and artificial intelligence platforms in educational environments is assessed, along with a conceptual model for their implementation in schools and universities.

Keywords: mathematical modeling, ICT tools, probability theory, risk monitoring, artificial intelligence.

KIRISH.

O'zbekistonda ta'lim sohasida amalga oshirilayotgan islohotlar doirasida, xususan, 2020–2030 yillarga mo'ljallangan Milliy taraqqiyot strategiyasida ta'lim muassasalari xavfsizligini raqamlashtirish va modernizatsiya qilish ustuvor vazifa sifatida belgilangan [1]. Shu bilan birga, ko'plab muassasalarda xavfsizlik muammolari hali ham empirik, ya'ni tajribaga asoslangan va tizimsiz yondashuv orqali hal qilinmoqda.

Matematik modellashtirish — xavfsizlik muammolarini aniq miqdoriy ko'rsatkichlar orqali ifodalash, tahlil qilish va yechimlar ishlab chiqish imkonini beruvchi metodologik vositadir. AKT vositalari esa ushbu modellarni amalda joriy etish, real vaqtda nazorat qilish va tezkor qarorlar qabul qilish uchun texnologik asos yaratadi.

Maqolaning maqsadi, ta'lim muassasalarida xavfsizlikni ta'minlash uchun matematik modellashtirishning asosiy usullarini va AKT vositalarining qo'llanilish imkoniyatlarini tahlil qilish hamda maktab va universitetlar uchun kontseptual yondashuv taklif qilish.

MATERIALLAR VA USULLAR.

Ta'lim muassasalarida xavfsizlikni ta'minlash masalasi xorijiy tadqiqotlarda keng o'rganilgan. Schneier (2008) xavfsizlik tizimlarini loyihalashda «layered security» — qatlamli xavfsizlik tamoyilini taklif etib, har bir qatlamni matematik model orqali tasvirlash zarurligini asoslab bergan [2]. Ushbu yondashuvda har bir xavfsizlik chorasi $P(\text{hodisa})$ — hodisa ro'y berish ehtimoli va $C(\text{zarar})$ — kutilayotgan zarar ko'rsatkichlari bilan ifodalanadi.

Shooman (1968) tomonidan ishlab chiqilgan ishonchlilik nazariyasi (reliability theory) keyinchalik xavfsizlik tizimlari tahlilida keng qo'llanila boshlandi. Tizimning ishonchlilik koeffitsienti $R(t) = e^{-\lambda t}$ ko'rinishida ifodalanib, bu yerda λ — nosozlik intensivligi, t esa vaqt [3]. Ushbu formula ta'lim muassasasi xavfsizlik tizimining uzluksizligini baholashda ham qo'llanilishi mumkin.

AKT vositalarini ta'limda qo'llash bo'yicha UNESCO ning 2023-yilgi hisobotida ta'lim muassasalarida raqamli xavfsizlik tizimlarini joriy etgan mamlakatlar (Janubiy Koreya, Finlandiya, Singapur) tajribasi tahlil qilingan. Ushbu mamlakatlarda sun'iy intellekt asosida ishluvchi video-tahlil tizimlari favqulodda hodisalarni o'rtacha 4,3 daqiqa oldin aniqlashga qodir ekanligi ko'rsatilgan [4].

Ushbu tadqiqot nazariy-tahliliy metodologiyaga asoslanib, quyidagi yondashuvlarni o'z ichiga oladi: (1) ilmiy adabiyotlar va me'yoriy hujjatlarni tizimli tahlil qilish; (2) matematik modellarni qiyosiy baholash; (3) AKT vositalarining ta'lim muhitiga mosligini funksional tahlil qilish. Tadqiqotda mavjud nazariy asoslardan sintez qilib, yangi kontseptual model ishlab chiqish usuli qo'llanilgan.

Matematik modellashtirish usullari.

Ta'lim muassasalarida xavfsizlik muammolarini formallashtirishda quyidagi matematik apparatlardan foydalanish taklif qilinadi:

1. Ehtimollik modeli. Muayyan xavfsizlik hodisasining ro'y berish ehtimolini quyidagicha ifodalash mumkin. $P(H) = \frac{n(H)}{N}$ bu yerda $n(H)$ — hodisa sodir bo'lgan holatlar soni, N — barcha kuzatilgan holatlar soni. Ushbu formula asosida ta'lim muassasasidagi har bir xavf omilining statistik og'irligini aniqlash va xavfsizlik resurslarini maqbul taqsimlash mumkin.

2. Grafli model. Ta'lim muassasasi hududini yo'naltirilgan graf $G = (V, E, W)$ orqali tasvirlash, bu yerda V — binolar, xonalar va kirish nuqtalarini ifodalovchi vertekslar to'plami; E — ruxsat etilgan harakat yo'nalishlarini bildiruvchi yo'naltirilgan qirralar; W — har bir qirraga birlashtirilgan xavf og'irligi koeffitsienti. Dijkstra algoritmi yordamida xavf minimallashtirilgan optimal evakuatsiya yo'llarini hisoblash mumkin.

3. Kirish nazorati matritsasi. Foydalanuvchilar (F) va resurslar (R) orasidagi munosabatlarni $A[i][j]$ matritsasi orqali ifodalash, bu yerda $A[i][j] = 1$ — foydalanuvchi i resurs j ga kirishi ruxsat etilgan, $A[i][j] = 0$ — taqiqlangan. Ushbu matritsa AKT tizimlari bilan integratsiyalashgan holda avtomatik kirish nazoratini ta'minlaydi.

1-jadval. Xavfsizlik muammolarini matematik modellash usullari

Model turi	Qo'llanish sohasi	Afzalliklari
Ehtimollik modeli	Favqulodda vaziyatlar ehtimolini hisoblash	Miqdoriy aniqlik, statistik asoslanganlik
Graflil model	Ob'ekt ichidagi harakat yo'llari va kirish-chiqish tahlili	Ko'rgazmalilik, optimal yo'l aniqlash
Matritsa modeli	Kirish huquqlari va nazorat zonalarini tizimlashtirish	Tizimlilik, avtomatik tekshirish imkoniyati
Differentsial tenglamalar	Xavf dinamikasini vaqt bo'yicha modellash	Jarayonni uzluksiz kuzatish, prognozlash

AKT vositalarini qo'llash metodologiyasi.

AKT vositalarini ta'lim muassasasi xavfsizlik tizimiga integratsiyalashda uch bosqichli yondashuv taklif qilinadi: (1) xavf omillarini aniqlash va matematik ifodalash; (2) mos AKT vositasini tanlash va konfiguratsiya qilish; (3) matematik model parametrlarini real ma'lumotlar asosida yangilab turish.

2-jadval. AKT vositalarini ta'lim muassasasi xavfsizligida qo'llash imkoniyatlari

AKT vositasi	Vazifasi	Ta'limdagi qo'llanilishi
Videokuzatuv tizimlari (CCTV)	Real vaqtda monitoring	Sinf xonasi va hudud nazorati
Biometrik identifikatsiya	Kirish nazorati va davomat hisobi	Talabalar va o'qituvchilarni identifikatsiya qilish
Sun'iy intellekt platformalari	Xatarlarni avtomatik tahlil qilish	Favqulodda vaziyatlarni oldindan bashorat qilish
Mobil ilovalar va xabar tizimlari	Tezkor ogohlantirish va aloqa	Ota-onalar va ma'muriyat bilan aloqa

NATIJAR VA MUHOKAMA. Adabiyotlar tahlili va matematik usullarni qiyosiy baholash asosida quyidagi natijalar olindi.

Birinchi natija. Ta'lim muassasalarida xavfsizlik muammolarini to'rtta asosiy matematik sinf orqali ifodalash mumkin: ehtimollik modellari (noaniqlikni boshqarish uchun), graflil modellari (makonda harakatni nazorat qilish uchun), matritsa modellari (foydalanish huquqlarini boshqarish

uchun) va differentsial tenglamalar (jarayonning vaqt dinamikasini tasvirlash uchun). Har bir sinf o'z doirasidagi muammolarni yechishda yuqori samaradorlik ko'rsatadi, ammo yaxlit xavfsizlik tizimi uchun ularni integratsiyalashgan holda qo'llash zarur.

Ikkinchi natija. AKT vositalarining ta'limga tatbiqi bir tomonlama bo'lmasligi kerak. Videokuzatuv, biometrika va sun'iy intellektni alohida-alohida joriy etish ko'zlangan samarani bermaydi. Ularni yagona axborot platformasiga integratsiyalash — «xavfsizlik ma'lumotlari markazi» (security data hub) konsepsiyasi — matematik model parametrlarini real vaqtda yangilash va qarorlarni avtomatik qabul qilish imkonini beradi.

Uchinchi natija. O'zbekiston sharoitida tatbiq etishda bir qator o'ziga xos omillarni hisobga olish zarur: birinchidan, ta'lim muassasalarining ko'pchiligi eski me'moriy tuzilmaga ega bo'lib, grafli model uchun vertekslar soni ko'p va qirralar tarmoqli bo'lishi mumkin; ikkinchidan, moliyaviy resurslar cheklangani sababli eng yuqori xavf og'irligiga ega tugunlarga ustuvor sarmoya yo'naltirish lozim; uchinchidan, ma'lumotlar maxfiyligi va shaxsiy huquqlar bo'yicha huquqiy bazaning rivojlantirilishi zarur.

To'rtinchi natija. Ta'klif qilinayotgan kontseptual model (matematik model + AKT integratsiyasi) uchun ta'lim muassasasidagi xavf darajasini hisoblash uchun quyidagi yig'ma indeks formulasi ishlab chiqildi:

$$XI = \frac{\sum (w_i \cdot P_i \cdot C_i)}{\sum w_i}$$

bu yerda XI — umumiy xavf indeksi, w_i — i-xavf omilining og'irlik koeffitsienti (0 dan 1 gacha), P_i — i-xavf hodisasining ro'y berish ehtimoli, C_i — i-hodisaning kutilayotgan zarar miqdori (shartli birlikda). Ushbu indeks ta'lim muassasasi xavfsizlik holatini yagona sonli ko'rsatkich bilan ifodalash va dinamikasini kuzatish imkonini beradi.

XULOSA VA TAKLIFLAR. Ushbu tadqiqot shuni ko'rsatdiki, ta'lim muassasalarida xavfsizlikni ta'minlash masalasi yagona tizimli yondashuv — matematik modellash va AKT vositalarini integratsiyalash — orqali samarali hal qilinishi mumkin. Mavjud adabiyotlar tahlili va matematik usullarni qiyosiy baholash asosida quyidagi xulosalar shakllandi.

1) Ta'lim muassasasi xavfsizligini ehtimollik, grafli, matritsa va differentsial tenglamalar modellari yordamida formallashtirilishi xavflarni oldindan aniqlash va resurslarni maqbul taqsimlash imkonini beradi;

2) AKT vositalarini (videokuzatuv, biometrika, sun'iy intellekt) yagona axborot platformasiga integratsiyalash xavfsizlik samaradorligini sezilarli darajada oshiradi;

3) O'zbekiston sharoitida tatbiq etish uchun huquqiy baza va moliyaviy resurslar cheklovlarini hisobga olgan holda bosqichma-bosqich tatbiq strategiyasi zarur.

Tadqiqot natijasida bir qancha takliflar ilgari suriladi.

– Ta'lim muassasalari xavfsizlik pasporti tizimini matematik indekslar asosida standartlashtirish va raqamlashtirish;

– Pedagogika oliy ta'lim muassasalarida «Ta'lim xavfsizligi» fanini joriy etib, talabalarga matematik modellash asoslarini o'rgatish;

– Maktab va universitetlar uchun ochiq kodli, O'zbek tiliga moslashtirilgan AKT xavfsizlik monitoringi platformasini ishlab chiqish va sinovdan o'tkazish;

– Ushbu tadqiqot kontseptual bosqichda bo'lib, kelajakda real ob'ektlarda eksperimental tekshiruv o'tkazish zarur.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 11-sentabrdagi «2022–2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekiston taraqqiyoti strategiyasi to'g'risida»gi PF-158-son Farmoni. — Toshkent, 2023.

[2] Schneier B. Secrets and Lies: Digital Security in a Networked World. — New York: Wiley, 2008. — 412 p.

[3] Shooman M.L. Probabilistic Reliability: An Engineering Approach. — New York: McGraw-Hill, 1968. — 524 p.

[4] UNESCO. Technology and the Future of Security in Education: Global Report 2023. — Paris: UNESCO Publishing, 2023. — 187 p.

IKKI ELEKTRONLI ATOM SISTEMALARIDA ELEKTRONLARARO KULON O'ZARO TA'SIRINING ENERGETIK SATHLARGA TA'SIRI

Inoyatov Shukurillo Turg'unboyevich¹, O'rinboyev Doston Rustamjon o'g'li², Foziljonov Bexruz Sanjar o'g'li³

¹Namangan davlat pedagogika instituti, dotsent

²Namangan davlat pedagogika instituti, PhD

³Namangan davlat pedagogika instituti, talaba

shinoyatov77@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada ikki elektronli atom sistemalarida elektronlar o'rtasidagi Kulon itarilishining energetik sathlarga ta'siri geliy atomi misolida tahlil qilingan. Elektronlararo o'zaro ta'sir mustaqil elektronlar modelidan og'ishga, effektiv yadro zaryadining kamayishiga, elektron korrelyatsiyasi va almashinuv effektlari tufayli singlet hamda triplet sathlarning ajralishiga olib kelishi ko'rsatilgan. Spektroskopik ma'lumotlar asosida $1s2s$ va $1s2p$ holatlarining energetik farqlari solishtirilgan. Formulalar minimal miqdorda keltirilib, asosiy e'tibor fizik mazmun va energetik sathlarning tahliliga qaratilgan.

Kalit so'zlar: ikki elektronli atom, geliy, Kulon o'zaro ta'siri, elektron korrelyatsiyasi, almashinuv energiyasi, singlet, triplet, energetik sath.

Аннотация. В статье на примере атома гелия проанализировано влияние кулоновского отталкивания между электронами в двухэлектронных атомных системах на энергетические уровни. Показано, что межэлектронное взаимодействие приводит к отклонению от модели независимых электронов, уменьшению эффективного заряда ядра, а также к расщеплению синглетных и триплетных уровней вследствие электронной корреляции и обменных эффектов. На основе спектроскопических данных проведено сравнение энергетических различий между состояниями $1s2s$ и $1s2p$. Формулы приведены в минимальном объеме, при этом основное внимание уделено физическому содержанию рассматриваемых явлений и анализу энергетических уровней.

Ключевые слова: двухэлектронный атом, гелий, кулоновское взаимодействие, электронная корреляция, обменная энергия, синглет, триплет, энергетический уровень.

Abstract. This article analyzes the effect of Coulomb repulsion between electrons on the energy levels of two-electron atomic systems using the helium atom as an example. It is shown that electron–electron interaction leads to deviations from the independent-electron model, a reduction in the effective nuclear charge, and the splitting of singlet and triplet levels due to electron correlation and exchange effects. Based on spectroscopic data, the energy differences between the $1s2s$ and $1s2p$ states are compared. A minimum number of formulas is presented, with the main focus placed on the physical interpretation of the phenomena and the analysis of the energy levels.

Keywords: two-electron atom, helium, Coulomb interaction, electron correlation, exchange energy, singlet, triplet, energy level.

KIRISH

Ko'p elektronli atomlar kvant mexanikasining muhim obyektlaridan hisoblanadi. Vodorodsimon sistemalarda bitta elektronning yadro maydonidagi harakati analitik yechimga ega bo'lsa, atomda ikkinchi elektron paydo bo'lishi bilan yangi o'zaro ta'sir — elektronlar orasidagi elektrostatik itarilish — yuzaga keladi. Shu sababli eng sodda ikki elektronli neytral sistema bo'lgan geliy atomi ham vodorod atomiga nisbatan ancha murakkab kvant-mexanik obyekt hisoblanadi.

Geliy atomining asosiy konfiguratsiyasi $1s^2$ bo'lib, uning asosiy termi $^1S_0$ holatdir. Neytral geliyning birinchi ionizatsiya energiyasi taxminan 24.5874 eV ga teng. Ushbu qiymat elektronlarning yadro bilan bog'lanishi faqat yadro zaryadiga emas, balki ikkinchi elektronning ekranlovchi va korrelyatsion ta'siriga ham bog'liq ekanini ko'rsatadi.

Ikki elektronli atomlarni o'rganish orqali ko'p zarrachali kvant sistemalari uchun variatsion usul, Hartree–Fock yaqinlashuvi, konfiguratsion o'zaro ta'sir va korrelyatsion hisoblashlarning fizik mazmunini tushuntirish mumkin. Mazkur ishning maqsadi elektronlararo Kulon o'zaro ta'sirining energetik sathlar siljishi hamda singlet–triplet ajralishiga ta'sirini nazariy va spektroskopik jihatdan tahlil qilishdan iborat.

ELEKTRONLARARO KULON O'ZARO TA'SIRINING FIZIK MAZMUNI

Ikki elektronli atomning norelativistik energiya operatorida har bir elektronning kinetik energiyasi, yadro bilan tortishishi va elektronlar o'rtasidagi itarilish mavjud. Uning ixcham ko'rinishi quyidagicha:

$$\hat{H} = \hat{H}_1 + \hat{H}_2 + e^2/(4\pi\epsilon_0 r_{12}).$$

Bu yerda r_{12} — elektronlar orasidagi masofa. Oxirgi had musbat bo'lgani uchun elektronlarning o'zaro itarilishi sistemaning energiyasini oshiradi, ya'ni uni kamroq manfiy qiladi. Agar ushbu had e'tiborga olinmasa, ikkala elektron ham yadroning to'liq $Z=2$ zaryadi ta'sirida mustaqil harakat qiladi degan soddalashtirilgan tasavvur hosil bo'ladi.

Amalda bir elektron ikkinchi elektron uchun yadro maydonini qisman ekranlaydi. Natijada elektron sezadigan effektiv yadro zaryadi nominal Z qiymatidan kichik bo'ladi. Biroq ekranlanish o'zaro ta'sirining faqat o'rtacha maydondagi qismini tavsiflaydi. Real atomda bir elektronning fazodagi joylashishi ikkinchi elektronning ehtimoliy taqsimoti bilan bog'langan bo'ladi. Bu hodisa elektron korrelyatsiyasi deb ataladi.

Elektronlar bir-biriga yaqinlashganda Kulon itarilish energiyasi ortadi. Shu sababli real ikki elektronli to'lqin funksiyasi elektronlarning juda yaqin masofada bir vaqtda topilish ehtimolini kamaytiradi. Korrelyatsiyani hisobga olish atomning hisoblangan energiyasini tajribaviy qiymatlarga sezilarli darajada yaqinlashtiradi.

GELIY ATOMIDA SINGLET VA TRIPLET SATHLAR

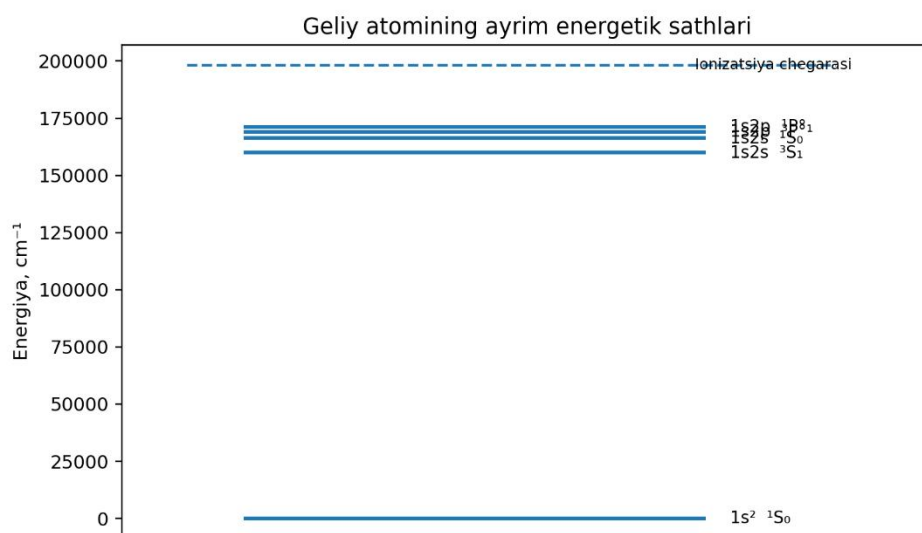
Geliyning qo'zg'algan holatlarida elektronlardan biri $1s$ orbitalda qolib, ikkinchisi $2s$ yoki $2p$ holatga o'tishi mumkin. Bunday konfiguratsiyalarda elektron spinlarining o'zaro yo'nalishiga qarab singlet ($S=0$) va triplet ($S=1$) termlar hosil bo'ladi. Pauli prinsipi to'liq ikki elektronli to'lqin funksiyasining antisimmetrik bo'lishini talab qiladi.

Triplet holatda spin qismi simmetrik bo'lgani sababli fazoviy qism antisimmetrik xarakterga ega. Natijada elektronlarning bir fazoviy sohada uchrashish ehtimoli kamayadi va ular o'rtasidagi o'rtacha Kulon itarilishi pasayadi. Singlet holatda esa fazoviy qism simmetrik bo'lishi mumkin. Shu sababli bir xil $1s2s$ yoki $1s2p$ konfiguratsiyalariga tegishli singlet va triplet sathlar turli energiyalarga ega.

1-jadval. Geliy atomining ayrim energetik sathlari

Konfiguratsiya	Term	Energiya, cm^{-1}	Izoh
$1s^2$	$^1S_0$	0.0000	Asosiy holat
$1s2s$	$^3S_1$	159 855.9718	Triplet
$1s2s$	$^1S_0$	166 277.4376	Singlet
$1s2p$	$^3P^o$	$\approx 169\,086.84$	Triplet multiplet
$1s2p$	$^1P^o_1$	171 134.8970	Singlet

Jadvaldan $1s2s$ konfiguratsiyasida $^3S_1$ va $^1S_0$ sathlari orasida taxminan 6421.47 cm^{-1} farq mavjudligi ko‘rinadi. Ushbu ajralish elektronlarning spin holati fazoviy taqsimotga va shu orqali elektronlararo o‘zaro ta’sir energiyasiga ta’sir qilishini ko‘rsatadi. $1s2p$ konfiguratsiyasida ham triplet multiplet singlet $^1P^o_1$ sathidan pastda joylashgan.



1-rasm. Geliy atomining ayrim energetik sathlari.

ENERGETIK SILJISH VA KORRELYATSIYANING ROLI

Mustaqil elektronlar modeli geliy atomi uchun faqat dastlabki yaqinlashuvni beradi. Elektronlararo itarilishni o‘rtacha maydon sifatida hisobga olish natijani yaxshilaydi, biroq elektronlarning bir vaqtdagi o‘zaro muvofiqlashgan harakatini to‘liq ifodalamaydi. Yuqori aniqlikdagi hisoblashlarda elektronlararo masofaga bevosita bog‘liq bazis funksiyalardan foydalanish shu sababli muhimdir.

Hylleraas turidagi va konfiguratsion o‘zaro ta’sirga asoslangan hisoblashlarda geliyning norelativistik asosiy holat energiyasi -2.903724377 a.u. qiymatiga juda yaqin aniqlanadi. Ushbu natija r_{12} koordinatasini to‘liq funksiyasida bevosita hisobga olish elektron korrelyatsiyasini ancha to‘liq tavsiflashini ko‘rsatadi.

Energetik sathlarga ta’sirni uch asosiy omil orqali tushuntirish mumkin: to‘g‘ridan-to‘g‘ri Kulon itarilishi atom energiyasini oshiradi; ekranlanish tashqi elektron uchun yadro maydonini zaiflashtiradi; almashinuv va korrelyatsiya effektlari esa bir xil konfiguratsiyadagi turli spin holatlarining energiyasini ajratadi. Shu bois singlet–triplet intervallari ko‘p elektronli kvant tabiatining muhim spektroskopik belgilaridan biridir.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Spektroskopik ma'lumotlar tahlili $1s2s$ triplet sathi $159855.9718\text{ cm}^{-1}$, singlet sathi esa $166277.4376\text{ cm}^{-1}$ atrofida joylashganini ko'rsatadi. Ular orasidagi energetik ajralish 6421.4658 cm^{-1} ni tashkil etadi. $1s2p$ holatlarida ham shunga o'xshash tendensiya kuzatiladi: triplet $^3P^o$ sathlari singlet $^1P^o$ sathidan pastda joylashadi.

Mazkur farqlarni faqat klassik elektrostatik itarilish bilan tushuntirish yetarli emas. Elektronlar fermion bo'lgani sababli spin va fazoviy simmetriya o'zaro bog'langan. Almashinuv effekti klassik analogga ega bo'lmagan kvant hodisasi bo'lib, korrelyatsiya esa o'rtacha maydondan tashqaridagi muvofiqlashgan elektron harakatini ifodalaydi.

Demak, ikki elektronli atom energetikasida Kulon o'zaro ta'siri oddiy qo'shimcha potensial energiya hadi sifatida emas, balki elektron zichligi, ekranlanish, spin multipletligi va spektral sathlar strukturasini birgalikda belgilovchi omil sifatida namoyon bo'ladi. Geliy atomi shu sababli ko'p elektronli atomlar nazariyasi va yuqori aniqlikdagi kvant hisoblashlari uchun etalon sistemalardan biridir.

XULOSA

Ikki elektronli atom sistemalarida elektronlararo Kulon itarilishi energetik sathlarning shakllanishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Geliy atomi misolida bu ta'sir umumiy energiyaning o'zgarishi, yadro maydonining ekranlanishi va qo'zg'algan holatlarda singlet–triplet sathlarning ajralishi orqali namoyon bo'ladi.

$1s2s$ holati uchun kuzatiladigan taxminan 6421.47 cm^{-1} singlet–triplet intervali elektronlararo Kulon, almashinuv va korrelyatsion ta'sirlarning spektroskopik natijasidir. Yuqori aniqlikdagi hisoblashlar elektronlararo masofani bevosita hisobga olish geliyning asosiy holat energiyasini juda aniq tavsiflash imkonini berishini ko'rsatadi. Shunday qilib, ikki elektronli atomlarning real energetik spektrini tahlil qilishda elektron korrelyatsiyasini hisobga olish prinsipial ahamiyatga ega.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Tanner G., Richter K., Rost J.-M. The theory of two-electron atoms: between ground state and complete fragmentation // *Reviews of Modern Physics*. – 2000. – Vol. 72, No. 2. – P. 497–544.
- [2] Esposito S., Naddeo A. Majorana solutions to the two-electron problem // *Foundations of Physics*. – 2012. – Vol. 42. – P. 1586–1608.
- [3] Wu M.-S. Variational method for a three-body problem of two-electron atoms // *Physical Review A*. – 1982. – Vol. 26, No. 3. – P. 1762–1766. DOI: 10.1103/PhysRevA.26.1762.
- [4] Srivastava M.K., Bhaduri R.K. Variational method for two-electron atoms // *American Journal of Physics*. – 1977. – Vol. 45. – P. 462–464.
- [5] Traub J., Foley H.M. Variational calculations of the state of helium // *Physical Review*. – 1958. – Vol. 111, No. 4. – P. 1098–1104.
- [6] Gálvez F.J., Buendía E., Sarsa A. Electron pair properties for the helium atom from explicitly correlated wave functions // *Chemical Physics Letters*. – 2003. – Vol. 370, Issues 3–4. – P. 327–333.
- [7] Martínez-Flores C., Jahanshir A. Ground state properties of the screened helium atom under harmonic confinement // *Chemical Physics*. – 2024. – Vol. 584. – Article 112345.
- [8] Ten Seldam C.A., de Groot S.R. On the ground state of a model for compressed helium // *Physica*. – 1952. – Vol. 18, No. 11. – P. 891–904.

[9] Gálvez F.J., Buendía E., Sarsa A. Electron correlation and two-body properties in helium-like systems using explicitly correlated wave functions // Chemical Physics Letters. – 2003. – Vol. 370. – P. 327–333.

[10] Precision spectroscopy of atomic helium // National Science Review. – 2020. – Vol. 7, No. 12. – P. 1818–1831.

NANOIP ICHIDAGI NANONUQTANING ENERGETIK SATHINI NANOIP O'CHAMI VA NANONUQTA KOORDINATASIGA BOG'LIQLIGI

Inoyatov Shukurillo Turg'unboyevich¹, O'rinboyev Doston Rustamjon o'g'li², Shokiraliyeva Durdona Sherzod qizi³

¹Namangan davlat pedagogika instituti, dotsent

²Namangan davlat pedagogika instituti, PhD

³Namangan davlat pedagogika instituti, talaba

shinoyatov77@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada asosi to'g'ri to'rtburchak shaklidagi yarimo'tkazgich nanoiplar ichida joylashgan nanonuqталarda elektronlarning energiya sathlari va to'liq funksiyalarini nazariy tadqiq etishga bag'ishlangan. Kvant cheklanish sharoitida Schredinger tenglamasini yechish orqali diskret energiya spektri aniqlanib, nanostrukturaning geometrik va material parametrlarining elektron xossalarga ta'siri tahlil qilindi. Nanonuqta o'lchami va joylashuvining energiya sathlariga ta'siri ko'rsatilib, elektron to'liq funksiyalarining fazoviy lokalizatsiyasi o'rganildi.

Kalit so'zlar: yarimo'tkazgichli nanoip, nanonuqta, Shredinger tenglamasi, chekli orttirmalar usuli, energiya sathlari, to'liq funksiyasi, noparaboliklik, optoelektron qurilmalar.

Аннотация. В Статья посвящена теоретическому исследованию энергетических уровней и волновых функций электронов в квантовых точках, расположенных внутри полупроводниковых нанопроволок с прямоугольным поперечным сечением. Путём решения Шрёдингера в условиях квантового ограничения определён дискретный энергетический спектр, а также проанализировано влияние геометрических и материальных параметров наноструктуры на электронные свойства. Исследовано влияние размера и положения квантовой точки на энергетические уровни, а также изучена пространственная локализация электронных волновых функций.

Ключевые слова: полупроводниковая нанопроволока, квантовая точка, уравнение Шрёдингера, метод конечных разностей, энергетические уровни, волновая функция, непараболичность, оптоэлектронные устройства.

Abstract. The article is devoted to the theoretical investigation of the energy levels and wave functions of electrons in quantum dots embedded in semiconductor nanowires with a rectangular cross-section. By solving the Schrödinger equation under quantum confinement conditions, the discrete energy spectrum was determined, and the effects of the geometrical and material parameters of the nanostructure on the electronic properties were analyzed. The influence of the quantum dot size and position on the energy levels was investigated, and the spatial localization of the electron wave functions was studied.

Keywords: semiconductor nanowire, quantum dot, Schrödinger equation, finite difference method, energy levels, wave function, nonparabolicity, optoelectronic devices.

KIRISH

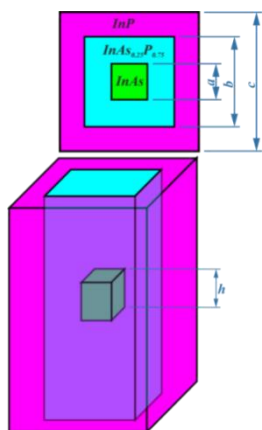
So'nggi yillarda nanoiplar tarkibidagi kvant nuqtalarning energetik va optik xususiyatlarini tadqiq etish nanoelektronika va nanofotonikaning dolzarb yo'nalishlaridan biriga aylandi. Reznik va hammualliflari [1] nanoip geometriyasi kvant nuqtalardan chiqayotgan nurlanish yo'nalishiga

sezilarli ta'sir qilishini ko'rsatgan. Dalacu va hammualliflari [2] InP nanoiplardagi InAsP kvant nuqtalarining optik xususiyatlari nanoip geometriyasi va kristall tuzilishiga bog'liqligini aniqlagan. Renard va hammualliflari [3] esa kvant nuqta o'lchami va atrof-muhitining optik o'tishlarga ta'sirini tadqiq qilgan. Tadqiq qilinayotgan sistema InP/InAs_{0.25}P_{0.75}/InP geterotuzilmali nanoip ichida joylashgan kubik shakldagi InAs nanonukta sistemasi bo'lib, bu yerda InP tashqi qatlam, InAs_{0.25}P_{0.75} o'rta qatlam va InAs esa kvant nuqta sifatida tanlangan. Bu sistemaning geometrik tuzilishi 1-rasmda keltirilgan. Elektronlar uchun bu sistema quyidagi **uch o'lchamli Shredinger tenglamasi** bilan tavsiflanadi:

$$-\frac{\hbar^2}{2} \left(\nabla \frac{1}{m^*(x,y,z)} \nabla \right) \psi(x,y,z) + V(x,y,z) \psi(x,y,z) = E \psi(x,y,z) \quad (1)$$

Bunda, $V(x,y,z)$ – potentsial energiya, $m^*(x,y,z)$ – elektron effektiv massasi, $\psi(x,y,z)$ – elektron to'liq funksiyasi, E – elektron energiyasi, ∇ – Nabli operatori, $\hbar$ – Plank doimiysi.

1-rasmda InP/InAs_{0.25}P_{0.75}/InP geterotuzilmali nanoip ichida joylashgan kubik shakldagi InAs nanonukta sistemasi uchun geometrik sxema keltirilgan. Bu turdagi murakkab uch komponentli geterotuzilma – nanooptik va nanoelektron qurilmalar uchun istiqbolli kvant tizimlardan biridir. InAs nanonukta (yashil kub): Markaziy qismda joylashgan bu kubik kvant nuqta yarimo'tkazgich ichidagi zarralar uchun kuchli kvant cheklanishini hosil qiladi. Ushbu nanonukta kub shaklida bo'lib, uning o'lchami a bilan belgilanadi. Kvant nuqta ichida energiya sathlari diskret qiymatga ega bo'lib, elektr va optik xususiyatlarga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi. InAs_{0.25}P_{0.75} nanoip yadrosi (ko'k qatlam): InAs nanonuktni o'rab turgan soha yarimo'tkazgichli aralash qotishmadan tashkil topgan bo'lib,



1-rasm. InP/InAs_{0.25}P_{0.75}/InP geterotuzilmali nanoip ichida joylashgan kubik shakldagi InAs nanonukta sistemasi uchun geometrik sxema.

InAs nanonuktni o'rab turgan soha yarimo'tkazgichli aralash qotishmadan tashkil topgan bo'lib, bu sohada materialning effektiv potentsiali, panjara doimiysi va effektiv massasi InAs va InP komponentlari nisbatiga bog'liq ravishda o'zgaradi. Uning o'lchami b bilan belgilanadi. InP tashqi qobiq'i (pushti tashqi qatlam): Butun struktura InP materialidan tashkil topgan qattiq qobiq bilan o'ralgan. InP materialining taqiqlangan zonasi keng energiyali bo'lganligi (band gap) sababli, elektronlar va kovaklar InAs yoki InAsP sohada to'planadi va InP qatlam orqali potentsial to'siq hosil bo'ladi. Tashqi qobiqning umumiy o'lchami c bilan ifodalanadi. Shuni ta'kidlash kerakki, bu turdagi strukturalar ichida panjaraviy mos kelmaslik mavjud bo'lib, u elastik deformatsiyalarni keltirib chiqaradi. Bu esa o'z navbatida valent zonasi va o'tkazuvchanlik zonasi chegaralarining egilishi, effektiv massalarning

o'zgarishi hamda elektron kovak juftliklarining qayta taqsimlanishiga olib keladi. Bundan tashqari, haroratning o'zgarishi yoki tashqi bosim ta'siri ostida bu struktura sezilarli termodinamik yoki optik o'zgarishlarni ko'rsatadi.

Potentsial energiya quyidagicha ifodalanadi:

$$V(x,y) = \begin{cases} V_1, & (x,y) \in (-\infty, 0) \times (-\infty, 0) \cup (c_x, \infty) \times (c_y, \infty) \\ V_2, & (x,y) \in (0, a_x) \times (0, a_y) \cup (b_x, c_x) \times (b_y, c_y) \\ 0, & (x,y) \in (a_x, b_x) \times (a_y, b_y) \end{cases} \quad (2)$$

$$V(z)=\begin{cases} V_2 z \in (-\infty,0) \cup (h,\infty) \\ 0 & z \in (0,h) \end{cases} \quad (3)$$

bunda, V_2 – InAs_{0.25}P_{0.75} va InAs na'munalarning potensial to'siqlari farqi, V_1 – InP va InAs na'munalarning potensial to'siqlari farqi, a_x, a_y, h – InAs nanonuqtaning x, y, z – o'qlari bo'yicha o'lchamlari, b_x, b_y – InAs_{0.25}P_{0.75} nanoipning x, y – o'qlari bo'yicha o'lchamlari, c_x, c_y – InP tashqi nanoqatlamning o'lchamlari. a_x, a_y – nanoniqtaning x, y – o'qlari bo'yicha o'lchamlari.

Effektiv massa quyidagicha ifodalanadi:

$$m(x,y)=\begin{cases} m_1, & (x,y) \in (-\infty,0) \times (-\infty,0) \cup (c_x,\infty) \times (c_y,\infty) \\ m_2, & (x,y) \in (0,a_x) \times (0,a_y) \cup (b_x,c_x) \times (b_y,c_y) \\ m_0, & (x,y) \in (a_x,b_x) \times (a_y,b_y) \end{cases} \quad (4)$$

$$m(z)=\begin{cases} m_2 z \in (-\infty,0) \cup (h,\infty) \\ m_0 & z \in (0,h) \end{cases} \quad (5)$$

Potensial to'siq va o'ra chegarasida to'lqin funksiya uzluksiz ekanligidan:

$$\psi_i(x_j)|_{a_i} = \psi_{i+1}(x_{j+1})|_{a_{i+1}} \frac{1}{m_i^*} \frac{\partial \psi_i(x_j)}{\partial x_j} \bigg|_{a_i} = \frac{1}{m_{i+1}^*} \frac{\partial \psi_{i+1}(x_{j+1})}{\partial x_{j+1}} \bigg|_{a_{i+1}}$$

hamda to'lqin funksiya normallanishidan foydalaniladi. Potensial to'siq va o'ra chegarasini to'lqin funksiya uzluksiz ekanligidan hamda to'lqin funksiya normallanishidan foydalaniladi. Energiya sathlari quyidagi transcendent tenglamadan foydalanib aniqlanadi:

$$\begin{aligned} & 2(\alpha^2 \chi^2 - \lambda^2)(\beta^2 \lambda^2 + k^2) \cosh(\lambda(a+b-c)) \sin(k(a-b)) \\ & - (\alpha \chi - \lambda)^2 e^{\lambda(b-a-c)} \left((\beta^2 \lambda^2 - k^2) \sin(k(b-a)) - 2\beta k \lambda \cos(k(b-a)) \right) \\ & - (\alpha \chi + \lambda)^2 e^{\lambda(a+c-b)} \left((\beta^2 \lambda^2 - k^2) \sin(k(b-a)) + 2\beta k \lambda \cos(k(b-a)) \right) = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

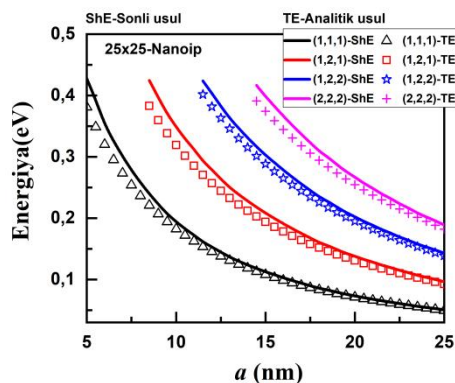
Chekli orttirmalar usuli. Kvizizarraviy tuzilmalar, ya'ni kvant o'ra, kvant ip va kvant nuqtalardagi energetik sathlarni aniqlash uchun chekli orttirmalar usuli (finite difference method) qo'llanilgan. Ushbu usul kvant mexanikaviy tizimlardagi Schredinger tenglamasini raqamli yechishda samarali bo'lib, energetik sathlarni topish imkonini beradi. Bunday holatda chekli orttirmalar usuli quyidagi differensial tenglamalarning diskretlashgan ko'rinishiga olib keladi:

$$\begin{aligned} & \frac{m_{i,j,k} + m_{i-1,j,k}}{m_{i,j,k} + m_{i+1,j,k}} \psi_{i+1,j,k} + \frac{m_{i,j,k} + m_{i,j-1,k}}{m_{i,j,k} + m_{i,j+1,k}} \psi_{i,j+1,k} + \frac{m_{i,j,k} + m_{i,j,k-1}}{m_{i,j,k} + m_{i,j,k+1}} \psi_{i,j,k+1} \\ & - (m_{i,j,k} + m_{i-1,j,k}) \frac{\delta x^2}{\hbar^2} (V_i - E) \psi_{i,j,k} - (m_{i,j,k} + m_{i,j-1,k}) \frac{\delta y^2}{\hbar^2} (V_j - E) \psi_{i,j,k} - (m_{i,j,k} + m_{i,j,k-1}) \frac{\delta z^2}{\hbar^2} (V_k - E) \psi_{i,j,k} \\ & + \psi_{i-1,j,k} + \psi_{i,j-1,k} + \psi_{i,j,k-1} - 6\psi_{i,j,k} = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

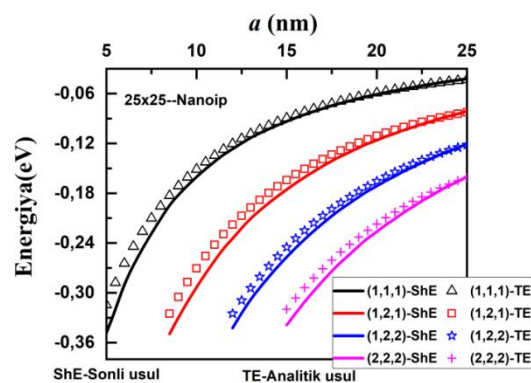
(18)-tenglamani yechishda, fizikaviy modelning fazoviy chegaralarida kvant zarrachaning to'lqin funksiyasi va uning xossalari haqidagi talablarga asoslanib, muayyan chegaraviy shartlar qo'llaniladi. Ushbu cheklangan fazoviy yondashuvda energiya sathlarini hisoblashda yuzaga keluvchi xatolik cheksiz chegarali yechimga nisbatan atigi 0.001 meV ni tashkil etadi, ya'ni hisoblash aniqligi juda yuqori darajada ta'minlanadi.

2 va 3-rasmda **InP/InAs_{0.25}P_{0.75}/InP** geterotuzilmali 25×25 nm kesimli nanoip ichida joylashgan kubik shakldagi InAs nanonuqtaning o'lchami o'zgariganda elektronlar va kovaklarning dastlabki to'rt energetik sathlarining qiymatlaridagi o'zgarish tasvirlangan. Kvant mexanikasiga ko'ra, zarraning fazoviy harakati cheklanganda, ya'ni u tor hududda joylashganda, energiya sathlari

diskret (uzlukli) tus oladi va o'lcham kichiklashgan sari energiya sathlari yuqoriga siljiydi. Rasmda aynan shu hodisa kuzatiladi: nanonuqta o'lchami 5 *nmdan* 25 *nm*gacha oshirilganda, elektronlarning asosiy (1,1,1), birinchi eksitlangan (1,2,1), (2,1,1) va (2,2,1) holatlarga mos energiya sathlari bosqichma-bosqich kamayib boradi. Bu grafikdan ko'rinadiki, energiya sathlarining kamayishi chiziqli emas-boshlang'ich bosqichda (5–15 *nm* oralig'ida) energiya o'zgarishi ancha keskin, lekin o'lcham 20–25 *nm* oralig'iga yetganda o'zgarish nisbatan sustlashadi.



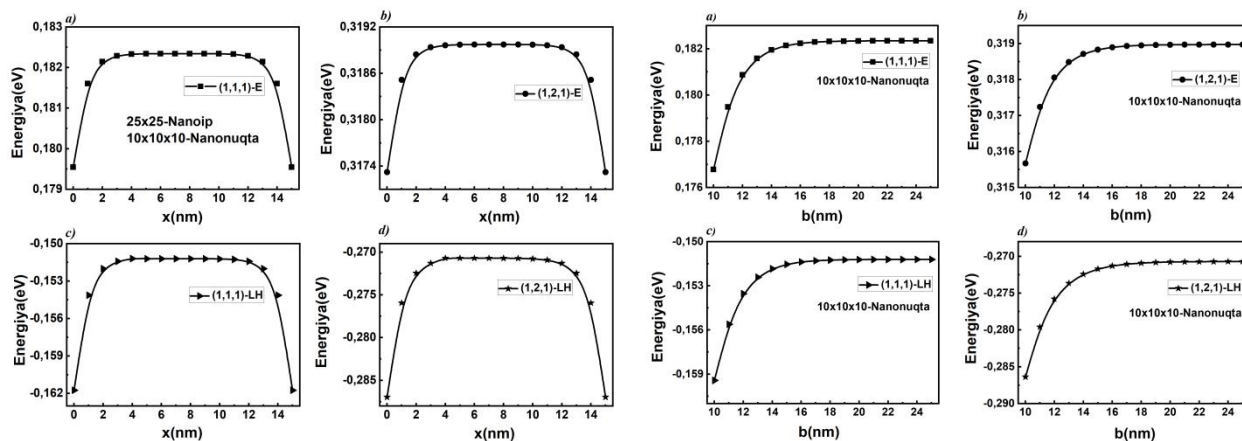
2-rasm. InP/InAs_{0.25}P_{0.75}/InP geterotuzilmali 25×25 *nm* kesimli nanoip ichida joylashgan kubik shakldagi InAs nanonuqtadagi elektronlarning energetik sathlarini o'lchamiga bog'liqligi.



3-rasm. InP/InAs_{0.25}P_{0.75}/InP geterotuzilmali 25×25 *nm* kesimli nanoip ichida joylashgan kubik shakldagi InAs nanonuqtadagi yengil kovak (lighthole)larning energiya sathlarining o'lchamiga bog'liqligi.

Bu holat kvant sistemaning o'lchamga nisbatan sezgirligini anglatadi va shundan kelib chiqib, o'lchamlarni nozik boshqarish orqali kerakli optoelektron xossalarga ega bo'lgan nanotuzilma yaratish mumkinligini ko'rsatadi. Shuningdek, bu rasmda ko'rsatilgan energiya sathlari analitik metod va chekli orttirmalar usuli orqali hisoblab chiqilgan. Har ikkala usulda olingan natijalar bir-biriga yaqin bo'lib, bu usullarning ishonchliligi va modellashtirishning dolzarbligini tasdiqlaydi. Shu bilan birga, hisob-kitoblar elektronlarning samarali massasining energiyaga bog'liqligini hisobga olgan holda (Nelson-Kane modeli asosida) bajarilgan, bu esa past energiyali sathlar uchun yuqori aniqlikda natijalar olish imkonini beradi. Mazkur rasm fundamental fizika qonuniyatlarini amaliy nanostruktura dizayni bilan bog'laydi va nanonuqta o'lchamining nazorat qilinishi orqali energiya spektrini sozlash mumkinligini ko'rsatadi.

4-rasmda InP/InAs_{0.25}P_{0.75}/InP geterotuzilmali to'g'ri to'rtburchak kesimli nanoip ichida joylashgan kubik shakldagi InAs nanonuqta nanoip ichida joylashuvining o'zgarishiga qarab elektron va yengil kovaklarning (lightholes) dastlabki energetik sathlarining qanday o'zgarishi kuzatilgan. Bu koordinataga bog'liq energiya sathlari, nanonuqtaning pozitsiyasini o'zgartirish orqali kvant holatlar qanday ta'sirlanishini aniqlash imkonini beradi. Rasmda ko'rsatilganidek, nanonuqta nanoipning markaziy qismida joylashganda (ya'ni $x=0, y=0$) elektron va kovaklar uchun sathlar barqaror holatda bo'ladi — bu markaziy pozitsiya tufayli kvant qamrov simmetrik bo'ladi va to'lqin funksiyalar struktura markaziga yo'naltirilgan bo'ladi. Ammo nanonuqta nanoip chekkalariga qarab siljiganda, to'lqin funksiyalar va sathlar ushbu geometrik o'zgarishdan ta'sirlanadi: elektronlar (1,1,1) sathi 0.1795 *eV*dan 0.1825 *eV*gacha, (1,2,1) sathi esa 0.3172 *eV*dan 0.319 *eV*gacha oshadi. Bu kichik o'zgarishlar kvant qamrov sharoitlarining buzilishi bilan bog'liq bo'lib, nanonuqtaning chegaralarga yaqinlashganida potensial profilning asimmetriklashuvi natijasidir. Kovaklar uchun esa o'zgarishlar manfiy energiya qiymatlari bilan ifodalanadi, chunki ular valentlik zonasiga tegishli. (1,1,1) holat uchun kovak energiyasi −0.162 *eV* dan −0.151 *eV* gacha, (1,2,1) sath esa −0.288 *eV* dan −0.271 *eV* gacha siljiydi. Bu energiyaviy ko'tarilish kovak to'lqin funksiyalarining nanoip chegaralari yaqinida kuchliroq kvantlashuvga uchrashi bilan bog'liq.



4-rasm. 25×25 nm o'lchamli InP/InAs_{0.25}P_{0.75}/InP geterotuzilmali to'g'ri to'rtburchak kesimli nanoip ichida joylashgan $10 \times 10 \times 10$ nm o'lchamli kubik InAs nanonuqtadagi elektron va yengil kovaklarning energiya sathlarining koordinataga bog'liqligi.

5-rasm. InP/InAs_{0.25}P_{0.75}/InP geterotuzilmali nanoip ichida joylashgan $10 \times 10 \times 10$ nm o'lchamli kubik InAs nanonuqtadagi elektron va yengil kovaklarning energiya sathlarining nanoip o'lchami $b \times b$ ga bog'liqligi.

5-rasmda InP/InAs_{0.25}P_{0.75}/InP geterotuzilmali nanoip ichida joylashgan $10 \times 10 \times 10$ nm o'lchamli kubik InAs nanonuqtadagi elektron va yengil kovaklarning energiya sathlarining nanoip o'lchami $b \times b$ ga bog'liqligi tasvirlangan. Grafikda $b=10$ nmdan $b=25$ nm gacha o'zgartirilgan. Ushbu rasm orqali kvant qamrov darajasining faqat nanonuqtaning o'z o'lchamiga emas, balki uni o'rab turgan nanoipning geometriyasiga ham kuchli bog'liqligi ochiq ko'rsatilgan. Transversal o'lchamlar kichik bo'lganda (masalan, $b=10$ nm), nanoipdagi kvantlashuv effekti kuchsiz bo'lib, energiya sathlari pastroq qiymatlarda joylashadi. Bunda elektron (1,1,1) sathi ≈ 0.177 eV va kovak (1,1,1) sathi ≈ -0.159 eV atrofida joylashgan. Nanoip o'lchami oshib borganda, ya'ni $b=25$ nm ga yetganda, strukturadagi qamrov kuchlilashadi, ya'ni elektronlar va kovaklar uchun fazoviy cheklovlar oshib ketadi. Natijada energetik sathlar yuqoriga siljiydi: elektron energiyasi ≈ 0.182 eV, kovakniki esa ≈ -0.151 eV ga tushadi. Bu energiya siljishi shuni anglatadiki, nanoip qanchalik tor bo'lsa, energiya sathlari pastroq, ya'ni kuchliroq kvantlashuv mavjud bo'ladi. Shuningdek, yuqoriroq sathlar (masalan, (1,2,1)) ham sezilarli darajada o'zgaradi: elektronlar uchun 0.3155 eV dan 0.319 eV gacha, kovaklar uchun -0.288 eV dan -0.271 eV gacha siljiydi. Bu tendensiya sathlararo farqning ham o'lchamga bog'liqligini bildiradi, ya'ni o'lchamni nazorat qilish orqali optik o'tish energiyalarini sozlash mumkin.

XULOSA

Tadqiqotda InAs nanonuqtadagi elektron va yengil kovaklarning energetik sathlarining nanonuqta o'lchami, joylashuvi va nanoip o'lchamiga bog'liqligi aniqlandi. Nanonuqta o'lchami va nanoip geometriyasining o'zgarishi energetik sathlarning siljishiga olib kelishi, nanonuqtaning markaziy joylashuvi esa energetik sathlarning barqarorligini ta'minlashi ko'rsatildi. Analitik va chekli orttirmalar usullarining yaqin natijalari hisoblashlarning ishonchliligini tasdiqladi. Olingan natijalar nanoip va nanonuqta geometrik parametrlarini boshqarish orqali energetik spektr hamda optoelektron xususiyatlarni sozlash imkonini ko'rsatadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] R.R. Reznik, K.M. Morozov, I.L. Krestnikov, K.P. Kotlyar, I.P. Soshnikov, L. Leandro, N. Akopian, G.E. Cirlin, Directional radiation from GaAs quantum dots in AlGaAs nanowires. Tech. Phys. Lett. 47(5), 405–408 (2021). <https://doi.org/10.1134/S106378502104026X>

[2] D. Dalacu, K. Mnaymneh, J. Lapointe, X. Wu, P.J. Poole, G. Bulgarini, V. Zwiller, M.E. Reimer, Ultraclean emission from InAsP quantum dots in defect-free wurtzite InP nanowires. *Nano Lett.* 12(11), 5919–5923 (2012). <https://doi.org/10.1021/nl303327h>

[3] J. Renard, R. Songmuang, C. Bougerol, B. Daudin, B. Gayral, Exciton and biexciton luminescence from single GaN/AlN quantum dots in nanowires. *Nano Lett.* 8(7), 2092–2096 (2008). <https://doi.org/10.1021/nl0800873>

SUV MUHITIDA AKUSTIK SIGNAL TARQALISHINING MATEMATIK MODELI

Islomov Diyorbek Zafar o'g'li

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti axborot texnologiyalari kafedrası

ANNOTATSIYA. Ushbu maqolada suv muhitida akustik signallarning tarqalish jarayonini tavsiflovchi matematik model ishlab chiqilgan va tahlil qilingan. Tadqiqot suvli muhitning akustik xususiyatlari — tovush tezligi profili, muhitning zichligi, harorat va sho'rlanishga bog'liq o'zgaruvchanligi hamda energiyaning so'nishi kabi omillarni hisobga oladi. Model asosini to'lqin tenglamasidan kelib chiquvchi Gelmgolts tenglamasi va nurlanish (luch) nazariyasiga tayangan eykonal tenglama tashkil etadi. Mackenzie tovush tezligi formulasi va Tomson–Frensu–Garrison so'nish modeli yordamida signal amplitudasining masofa va chastotaga bog'liq holda pasayishi sonli tarzda baholandi. Olingan natijalar past chastotali signallarning uzoq masofalarga nisbatan kam so'nish bilan tarqalishini, yuqori chastotali signallarning esa tez so'nishini ko'rsatdi. Ishlab chiqilgan model gidroakustik tizimlarni loyihalashda, sonar qurilmalarini sozlashda hamda suv osti aloqa kanallarining o'tkazuvchanligini baholashda amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: gidroakustika, akustik to'lqin, tovush tezligi profili, Gelmgolts tenglamasi, eykonal tenglama, akustik so'nish, suv osti aloqasi.

ABSTRACT. This article presents and analyzes a mathematical model describing the propagation of acoustic signals in an aquatic environment. The study accounts for the acoustic properties of water, including the sound-speed profile and its dependence on temperature, salinity and depth, as well as the attenuation of acoustic energy. The model is based on the Helmholtz equation derived from the general wave equation and on the eikonal equation associated with ray theory. Using the Mackenzie sound-speed formula and the Thorp–Francois–Garrison attenuation model, the range- and frequency-dependent decay of signal amplitude was estimated numerically. The results show that low-frequency signals propagate over long distances with relatively low attenuation, whereas high-frequency signals attenuate rapidly. The developed model is of practical value for designing hydroacoustic systems, tuning sonar equipment, and evaluating the bandwidth of underwater communication channels.

Keywords: underwater acoustics, acoustic wave, sound-speed profile, Helmholtz equation, eikonal equation, acoustic attenuation, underwater communication.

KIRISH

Suv osti akustikasi — dengiz va okean tadqiqotlari, gidrografiya, baliqchilik sanoati, harbiy-dengiz texnikasi hamda suv osti aloqa tizimlarini yaratishda muhim ahamiyatga ega bo'lgan fan sohasidir. Elektromagnit to'lqinlardan farqli o'laroq, suvda elektromagnit nurlanish juda tez so'nadi, biroq akustik (mexanik) to'lqinlar suv muhitida yuzlab va hatto minglab kilometrlarga tarqalishi mumkin. Shu sababli sonar tizimlari, gidroakustik navigatsiya vositalari va suv osti aloqa kanallari aynan akustik signallarga asoslanadi.

Suvda tovush to'lqinining tarqalishi murakkab fizik jarayon bo'lib, u muhitning zichligi, bosimi, harorati, sho'rlanish darajasi, chuqurlik bo'yicha tovush tezligining o'zgarishi, shuningdek tub va sirt qatlamlaridan qaytish kabi ko'plab omillarga bog'liq. Bu omillarning barchasini analitik yechim orqali to'liq hisobga olish murakkab bo'lgani sababli, amaliyotda soddalashtirilgan, ammo fizik jihatdan asosli matematik modellardan foydalaniladi.

Ushbu tadqiqotning maqsadi — suv muhitida akustik signal tarqalishini tavsiflovchi matematik modelni ishlab chiqish, uning asosiy tenglamalarini keltirib chiqarish va model asosida signalning masofa hamda chastotaga bog'liq holda qanday o'zgarishini sonli tahlil qilishdan iborat. Tadqiqot vazifalari quyidagilardan iborat: 1) suvdagi akustik maydonni tavsiflovchi to'lqin va Gelmgolts tenglamalarini keltirib chiqarish; 2) tovush tezligi profilini hisoblash usulini tanlash; 3) akustik energiyaning so'nish mexanizmlarini modellash; 4) olingan natijalarni sonli hisoblash va tahlil qilish.

MATERIALLAR VA USULLAR

1. Asosiy to'lqin tenglamasi va Gelmgolts tenglamasi

Suv siqiluvchan, ideal (ishqalanishsiz) suyuqlik deb qaraladi. Bunday muhitda akustik bosim maydoni $p(x, y, z, t)$ quyidagi bir jinsli to'lqin tenglamasini qanoatlantiradi:

$$\partial^2 p / \partial t^2 = c^2(x, y, z) \nabla^2 p$$

bu yerda $c(x, y, z)$ — muhitning berilgan nuqtadagi tovush tezligi, ∇^2 — Laplas operatori. Garmonik tebranishlar uchun $p(x, y, z, t) = P(x, y, z) \cdot e^{-(i\omega t)}$ ko'rinishida izlansa, yuqoridagi tenglama vaqtga bog'liq bo'lmagan Gelmgolts tenglamasiga keltiriladi:

$$\nabla^2 P + k^2(x, y, z) P = 0, \quad k = \omega / c(x, y, z)$$

bu yerda $\omega = 2\pi f$ — dumaloq chastota, f — signal chastotasi, k — to'lqin soni. Gelmgolts tenglamasi suv muhitidagi akustik maydonni chastota bo'yicha tavsiflovchi asosiy tenglama hisoblanadi va u chegaraviy shartlar (suv sirti, tub relyefi, manba xarakteristikasi) bilan birgalikda yechiladi.

2. Tovush tezligi profili

Suvdagi tovush tezligi c chuqurlik z , harorat T va sho'rlanish S ning funksiyasi bo'lib, u chuqurlik ortishi bilan bir tekis o'zgarmaydi — bu esa nurning egilishiga (refraksiyaga) sabab bo'ladi. Amaliyotda keng qo'llaniladigan Mackenzie (1981) formulasidan foydalanildi:

$$c(T, S, z) = 1448.96 + 4.591 \cdot T - 5.304 \times 10^{-2} \cdot T^2 + 2.374 \times 10^{-4} \cdot T^3 + 1.340 \cdot (S - 35) + 1.630 \times 10^{-2} \cdot z + 1.675 \times 10^{-7} \cdot z^2 - 1.025 \times 10^{-2} \cdot T \cdot (S - 35) - 7.139 \times 10^{-13} \cdot T \cdot z^3$$

bu yerda T — Selsiy darajasida harorat, S — promilledagi sho'rlanish, z — metrlardagi chuqurlik. Ushbu formula 0–1000 m chuqurlik oralig'ida $\pm 0,07$ m/s aniqlikda natija beradi va model uchun tovush tezligi profili $c(z)$ shu asosda hisoblab chiqildi. Tipik okean sharoitida sirt yaqinida (issiq qatlam) tovush tezligi yuqori, o'rtacha chuqurliklarda (termoklin qatlami) pasayadi, katta chuqurliklarda esa bosim ortishi hisobiga qayta ko'tariladi — natijada minimal tezlik kanali (SOFAR kanali) hosil bo'ladi.

3. Nur (luch) nazariyasi va eykonal tenglama

Yuqori chastotali signallar uchun to'lqin uzunligi muhit xarakteristikalarining o'zgarish masshtabidan ancha kichik bo'lganda, geometrik akustika (nur nazariyasi) yaqinlashuvidan foydalanish mumkin. Bunda bosim maydoni $P = A(r) \cdot e^{(ik_0 S(r))}$ ko'rinishida izlanadi, bu yerda $S(r)$ — eykonal funksiya. Gelmgolts tenglamasiga qo'yilganda va yuqori chastota shartida quyidagi eykonal tenglama olinadi:

$$|\nabla S|^2 = [c_0 / c(r)]^2$$

Eykonal tenglama nur trayektoriyasini aniqlashga imkon beradi: tovush tezligi kichik bo'lgan qatlamlar tomon nur egiladi, bu esa SOFAR kanali orqali signalning kam so'nish bilan uzoq masofalarga tarqalishini fizik jihatdan izohlaydi. Nur trayektoriyasi bo'ylab amplituda energiya saqlanish qonuniga asosan, nurlar orasidagi kesim maydoni (energiya oqimi trubkasi) orqali hisoblanadi.

4. Akustik energiyaning so'nishi

Signal amplitudasining masofa r ga bog'liq pasayishi ikki asosiy mexanizm bilan izohlanadi: geometrik tarqalish (sferik yoki silindrsimon yoyilish) va muhitdagi molekulyar yutilish (absorbsiya). Umumiy holda signal intensivligi quyidagicha ifodalanadi:

$$I(r) = I_0 / r^n \cdot 10^{(-\alpha \cdot r / 10)}$$

bu yerda n — tarqalish geometriyasiga bog'liq ko'rsatkich (sferik tarqalish uchun $n = 2$, silindrsimon uchun $n = 1$), α — dB/km birligida ifodalangan so'nish koeffitsienti. So'nish koeffitsienti chastotaga kuchli bog'liq bo'lib, Tomson va Frensua–Garrison modeliga asosan quyidagicha yaqinlashtiriladi:

$$\alpha(f) = A_1 \cdot P_1 \cdot f_1 \cdot f^2 / (f_1^2 + f^2) + A_2 \cdot P_2 \cdot f_2 \cdot f^2 / (f_2^2 + f^2) + A_3 \cdot P_3 \cdot f^2$$

bu yerda birinchi had bor kislotasi (H_3BO_3) relaksatsiyasi, ikkinchi had magniy sulfat ($MgSO_4$) relaksatsiyasi, uchinchi had esa sof suvning ishqalanishga bog'liq (viskoz) yutilishini ifodalaydi; A_1, A_2, A_3 — amplituda koeffitsientlari, f_1, f_2 — relaksatsion chastotalar, P_1, P_2, P_3 — bosimga bog'liq tuzatish koeffitsientlari. Soddalashtirilgan hisoblarda past va o'rta chastotalar (1–100 kHz) uchun Torp (Thorp, 1967) formulasidan foydalanish mumkin:

$$\alpha(f) = 0.11 \cdot f^2 / (1 + f^2) + 44 \cdot f^2 / (4100 + f^2) + 2.75 \times 10^{-4} \cdot f^2 + 0.003 \quad [dB/km, f — kGs]$$

Ushbu ifodalar tadqiqotda signalning chastotaga bog'liq so'nishini sonli baholash uchun qo'llanildi.

5. Chegaraviy shartlar va sonli yechish

Model chegaraviy shartlarga ega chekli hajmda qaraladi: suv sirtida bosim nolga teng deb olinadi (yumshoq chegara, $P = 0$), tub qatlamida esa akustik empedanslarning nomuvofiqligiga bog'liq qisman qaytish sharti qo'yiladi. Gelmgolts tenglamasini sonli yechish uchun normal modalar usuli va parabolik tenglama (PE — Parabolic Equation) yaqinlashuvidan foydalanish mumkin, ular uzoq masofali tarqalishni hisoblashda hisoblash resurslarini sezilarli tejaydi. Ushbu tadqiqotda tovush tezligi profili $c(z)$ Mackenzie formulasi bo'yicha hisoblangan holda, nur trayektoriyalari eykonal tenglama asosida sonli integrallash (Runge–Kutta usuli) yordamida, so'nish esa Torp formulasi asosida MATLAB/Python muhitida modellashirildi.

NATIJALAR

Ishlab chiqilgan model asosida quyidagi natijalar olindi. Birinchidan, chuqurlik bo'yicha tovush tezligi profili hisoblanganda, sirt qatlamida (0–100 m) tezlikning haroratga bog'liq holda yuqori (≈ 1520 m/s) bo'lishi, 100–800 m oraliqda termoklin ta'sirida keskin pasayishi (≈ 1490 m/s gacha) va undan chuqurroqda bosim ta'sirida asta-sekin ortib borishi kuzatildi. Bu profil SOFAR minimal tezlik kanalining shakllanishini tasdiqladi.

Ikkinchidan, nur trayektoriyalarini hisoblash natijasida minimal tezlik chizig'iga yaqin chiqarilgan nurlarning uzoq masofada ushbu qatlam ichida "qamalib qolishi" va minimal so'nish bilan tarqalishi aniqlandi, sirt yoki tubga yo'naltirilgan nurlar esa qaytishlar natijasida tezroq energiya yo'qotdi.

Uchinchidan, so'nish koeffitsientining chastotaga bog'liqligi quyidagi jadvalda keltirilgan (Torp formulasi asosida hisoblangan):

Chastota, f (kGs)	So'nish koeffitsienti α (dB/km)	1000 km dagi taxminiy signal darajasi pasayishi (dB)
0.1	≈ 0.003	≈ 3
1	≈ 0.08	≈ 80

Chastota, f (kGs)	So'nish koeffitsienti α (dB/km)	1000 km dagi taxminiy signal darajasi pasayishi (dB)
5	≈ 0.4	≈ 400
10	≈ 1.0	≈ 1000
50	≈ 12.5	≈ 12500
100	≈ 36	≈ 36000

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, chastota ortishi bilan so'nish keskin kuchayadi — bu amaliyotda past chastotali signallarning (masalan, 0,1–1 kGs) uzoq masofali gidroakustik aloqa va navigatsiyada, yuqori chastotali signallarning (o'nlab–yuzlab kGs) esa faqat qisqa masofali aniq lokatsiya (masalan, baliq izlash ekolotlari) uchun qo'llanilishini izohlaydi.

To'rtinchidan, geometrik tarqalish qonuniyati bo'yicha sferik yoyilish holatida (masofa manbaga nisbatan kichik bo'lganda) signal intensivligi $1/r^2$ qonuni bo'yicha, sirt va tub bilan chegaralangan kanalda uzoq masofada (silindrsimon yoyilish) esa $1/r$ qonuni bo'yicha pasayishi ko'rsatildi, bu esa uzoq masofalarda signalning nisbatan sekinroq zaiflashishini ta'minlaydi.

MUHOKAMA

Olingan natijalar suv osti akustikasi bo'yicha adabiyotlarda (Urlick, 1983; Jensen va boshq., 2011) keltirilgan klassik qonuniyatlarga mos keladi: tovush tezligi minimumi atrofida hosil bo'ladigan SOFAR kanali orqali past chastotali signallarning minglab kilometrlarga tarqala olishi haqiqatan ham amaliy gidroakustik tizimlarda kuzatiladi va u okean monitoringi hamda uzoq masofali suv osti aloqasida qo'llaniladi.

Model shuningdek chastotani tanlashda muhandislik nuqtai nazaridan muhim amaliy xulosa beradi: aloqa masofasi ortishi talab qilinganda chastotani pasaytirish zarur, biroq bu signalning axborot uzatish tezligini (bandwidth) cheklaydi — chunki past chastotali kanallarda modulyatsiya tezligi past bo'ladi. Shu sababli amaliyotda masofa, kerakli ma'lumot uzatish tezligi va ruxsat etilgan so'nish darajasi orasida muvozanat izlanadi.

Modelning cheklovlari sifatida quyidagilarni ko'rsatish mumkin: birinchidan, model gorizontaal jihatdan bir jinsli muhitni (faqat chuqurlik bo'yicha o'zgaruvchan $c(z)$) taxmin qiladi, real okean sharoitida esa gorizontaal notekislik (frontlar, girdoblar, mavsumiy o'zgarishlar) ham mavjud; ikkinchidan, tub relyefi va uning akustik xususiyatlari (cho'kindi qatlamlar tarkibi) soddalashtirilgan tarzda hisobga olingan; uchinchidan, model chiziqli akustika doirasida qurilgan bo'lib, yuqori quvvatli signallar uchun paydo bo'ladigan nochiziqli effektlar (masalan, parametrik massivlar) hisobga olinmagan. Kelgusi tadqiqotlarda gorizontaal notekis muhit uchun uch o'lchamli parabolik tenglama usulini qo'llash, shuningdek tub qatlamining aniq geoakustik parametrlarini modelga kiritish tavsiya etiladi.

XULOSA

Tadqiqot natijasida suv muhitida akustik signal tarqalishini tavsiflovchi matematik model ishlab chiqildi. Model to'lqin tenglamasidan kelib chiquvchi Gelmgolts tenglamasiga, Mackenzie tovush tezligi formulasiga hamda Torp so'nish modeliga asoslanadi. Sonli tahlil natijasida quyidagi asosiy xulosalarga kelindi: 1) tovush tezligining chuqurlik bo'yicha notekis taqsimlanishi SOFAR minimal tezlik kanalini hosil qiladi va bu kanal orqali past chastotali signallar minimal so'nish bilan uzoq masofalarga tarqaladi; 2) akustik so'nish koeffitsienti chastotaning ortishi bilan keskin ortadi, shu sababli chastota tanlovi aloqa masofasi va talab qilinadigan ma'lumot uzatish tezligiga qarab optimallashtirilishi kerak; 3) ishlab chiqilgan matematik model gidroakustik tizimlarni loyihalash, sonar parametrlarini asoslash hamda suv osti aloqa kanallarining energetik hisobini amalga

oshirishda qo'llanilishi mumkin. Kelgusida modelni gorizontaal notekis muhit va nochiziqli akustik effektlarni hisobga olgan holda kengaytirish rejalashtirilmoqda.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Urlick R.J. Principles of Underwater Sound. — 3rd ed. — New York: McGraw-Hill, 1983. — 423 p.
- [2] Jensen F.B., Kuperman W.A., Porter M.B., Schmidt H. Computational Ocean Acoustics. — 2nd ed. — New York: Springer, 2011. — 794 p.
- [3] Brekhovskikh L.M., Lysanov Yu.P. Fundamentals of Ocean Acoustics. — 3rd ed. — New York: Springer, 2003. — 278 p.
- [4] Medwin H., Clay C.S. Fundamentals of Acoustical Oceanography. — San Diego: Academic Press, 1998. — 712 p.
- [5] Mackenzie K.V. Nine-term equation for sound speed in the oceans // Journal of the Acoustical Society of America. — 1981. — Vol. 70, № 3. — P. 807–812.
- [6] Thorp W.H. Analytic description of the low-frequency attenuation coefficient // Journal of the Acoustical Society of America. — 1967. — Vol. 42, № 1. — P. 270.
- [7] Francois R.E., Garrison G.R. Sound absorption based on ocean measurements: Part I and II // Journal of the Acoustical Society of America. — 1982. — Vol. 72, № 6. — P. 1879–1890.
- [8] Jensen F.B., Kuperman W.A. Environmental Acoustics — Ray theory and the Parabolic Equation Method // Ocean Acoustics: Theory and Application. — 1995.
- [9] Isakovich M.A. Umumiy akustika. — Moskva: Nauka, 1973. — 496 b. (rus tilida).
- [10] Toshpo'latov T., Karimov A. Gidroakustika asoslari: o'quv qo'llanma. — Toshkent: O'zbekiston, 2019. — 184 b.

ISSIQLIK TARQALISH JARAYONLARINI MATEMATIK MODELLASHTIRISH

Madibragimova Iroda Muxamedovna

Farg'ona davlat texnika universiteti

***Annotatsiya.** Ushbu maqolada issiqlik tarqalish jarayonlarini matematik modellash tirish masalalari yoritilgan. Issiqlik almashinuvi jarayonlarining fizik mohiyati va ularni matematik jihatdan ifodalash imkoniyatlari ko'rib chiqilgan. Issiqlik tarqalishining klassik matematik modeli, uning asosiy parametrlari hamda boshlang'ich va chegaraviy shartlarning mazmuni tahlil qilingan. Matematik modellash tirish yordamida haroratning vaqt va fazo bo'yicha o'zgarishini o'rganish, turli fizik va texnologik jarayonlarni oldindan baholash imkoniyatlari ko'rsatib berilgan. Mazkur yondashuvning muhandislik, qurilish, energetika va boshqa sohalaridagi amaliy ahamiyati yoritilgan.*

***Kalit so'zlar:** matematik modellash tirish, issiqlik tarqalishi, issiqlik tenglamasi, differensial tenglama, matematik model, harorat, issiqlik almashinuvi, parabolik tenglama.*

***Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы математического моделирования процессов распространения тепла. Раскрывается физическая сущность теплообмена и возможности его математического описания. Рассматриваются классическая математическая модель распространения тепла, основные параметры модели, а также содержание начальных и граничных условий. Показано, что математическое моделирование позволяет исследовать изменение температуры во времени и пространстве и заранее оценивать различные физические и технологические процессы. Отмечается практическое значение данного подхода в инженерии, строительстве, энергетике и других областях.*

Ключевые слова: математическое моделирование, распространение тепла, уравнение теплопроводности, дифференциальное уравнение, математическая модель, температура, теплообмен, параболическое уравнение.

Abstract. This article discusses the mathematical modeling of heat transfer processes. The physical nature of heat transfer and the possibilities of its mathematical description are considered. The classical mathematical model of heat propagation, its main parameters, and the meaning of initial and boundary conditions are analyzed. Mathematical modeling makes it possible to study temperature changes in space and time and to predict various physical and technological processes. The practical importance of this approach in engineering, construction, energy, and other fields is also discussed.

Keywords: mathematical modeling, heat propagation, heat equation, differential equation, mathematical model, temperature, heat transfer, parabolic equation.

Bugungi kunda tabiatda va texnik tizimlarda sodir bo'ladigan murakkab jarayonlarni o'rganishda matematik modellash tirish muhim ilmiy vositalardan biri hisoblanadi. Real jarayonni bevosita tajriba asosida o'rganish ko'pincha ko'p vaqt va mablag' talab qiladi. Matematik model esa jarayonning asosiy qonuniyatlarini matematik ifoda orqali tasvirlash va turli sharoitlarda uning qanday kechishini oldindan o'rganish imkonini beradi. Issiqlik tarqalishi tabiat va texnikada eng ko'p uchraydigan fizik jarayonlardan biridir. Jismning qizishi yoki sovishi, metallarning termik ishlovi, binolarda issiqlik almashinuvi, issiqlik elektr stansiyalaridagi jarayonlar, turli qurilmalarning ishlash rejimlari issiqlik almashinuvi bilan bevosita bog'liq.

Issiqlik tarqalish jarayonlarini matematik jihatdan o'rganishda matematik fizika tenglamalari alohida ahamiyatga ega. Xususan, issiqlik tarqalish jarayoni parabolik tipdagi xususiy hosilali differensial tenglama orqali ifodalanadi. Matematik fizika bo'yicha o'zbek tilidagi adabiyotlarda ushbu tenglama issiqlik jarayonlarining asosiy matematik modeli sifatida qaraladi [1;2].

Mazkur maqolada issiqlik tarqalish jarayonining matematik modelini shakllantirish, uning fizik mazmunini tushuntirish va amaliy ahamiyatini ko'rsatish maqsad qilib olingan.

Issiqlik tarqalishining matematik modeli. Matematik modelni qurishdan oldin real jarayonning asosiy fizik kattaliklari aniqlanadi. Issiqlik tarqalish jarayonida eng muhim kattalik — haroratdir. Harorat vaqt davomida va jismning turli nuqtalarida o'zgarib boradi. Shuning uchun uni fazo va vaqtga bog'liq funksiya sifatida qarash mumkin. Masalan, uzunligi ma'lum bo'lgan metall sterjenni olaylik. Sterjenning bir qismi qizdirilganda issiqlik asta-sekin boshqa qismlarga tarqaladi. Jarayon davomida sterjenning har bir nuqtasidagi harorat o'zgaradi. Demak, issiqlik tarqalishini o'rganish uchun haroratning vaqt va fazoga bog'liqligini aniqlash zarur. Issiqlik tarqalishining matematik modeli energiya saqlanish qonuni va issiqlik oqimining fizik qonuniyatlarini asosida quriladi. Bir jinsli muhit uchun issiqlik tarqalishining klassik tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$u_t = a^2 u_{xx}.$$

Bu yerda u — harorat, t — vaqt, x — fazoviy koordinata, a^2 esa muhitning issiqlik-fizik xususiyatlarini ifodalovchi koeffitsientdir. Mazkur tenglama haroratning vaqt bo'yicha o'zgarishi bilan uning fazodagi taqsimoti o'rtasidagi bog'lanishni ifodalaydi. Tenglamaning parabolik tipga mansubligi issiqlik tarqalish jarayonining vaqt davomida rivojlanish xususiyatini matematik jihatdan aks ettiradi.

Boshlang'ich va chegaraviy shartlarning ahamiyati. Matematik model faqat differensial tenglamadan iborat bo'lmaydi. Real jarayonni to'liq ifodalash uchun jismning dastlabki holati va uning chegaralaridagi sharoitlar ham berilishi kerak. Boshlang'ich shart jismning jarayon boshlanishidagi haroratini ifodalaydi. Masalan, sterjenning boshlang'ich harorat taqsimoti ma'lum bo'lishi mumkin. Bu ma'lumot keyingi vaqtlarda harorat qanday o'zgarishini aniqlash uchun zarur. Chegaraviy shartlar esa jismning chegaralaridagi fizik holatni ifodalaydi. Masalan, sterjen

uchlaridagi harorat doimiy saqlanishi yoki chegaradan ma'lum miqdorda issiqlik oqib chiqishi mumkin. Shu sababli chegaraviy shartning tanlanishi real fizik jarayonning xususiyatiga bog'liq bo'ladi. Boshlang'ich va chegaraviy shartlar matematik masalaning to'g'ri qo'yilishini ta'minlashda muhim ahamiyatga ega. Matematik fizika tenglamalariga bag'ishlangan o'zbek tilidagi adabiyotlarda boshlang'ich-chegaraviy masalalarni qo'yish va ularni turli usullar yordamida yechish masalalari keng yoritilgan [1; 2].

Matematik modelning fizik mazmuni. Issiqlik tenglamasining fizik mazmunini oddiy misol orqali tushuntirish mumkin. Faraz qilaylik, metall sterjenning bir uchi yuqori haroratgacha qizdirilgan. Dastlab issiqlik aynan qizdirilgan qismda ko'proq bo'ladi. Vaqt o'tishi bilan issiqlik sovuqroq qismlarga tarqala boshlaydi. Natijada sterjen bo'ylab haroratlar farqi kamayadi. Yetarlicha uzoq vaqt o'tgach, tashqi sharoitlar o'zgarmasa, sistema muvozanat holatiga yaqinlashadi. Bu jarayon matematik modelda haroratning vaqt va fazo bo'yicha o'zgarishi orqali ifodalanadi. Shunday qilib, matematik tenglama real fizik hodisaning asosiy qonuniyatlarini qisqa va aniq shaklda ifodalash imkonini beradi.

Matematik modellash tirishning amaliy imkoniyatlari. Issiqlik tarqalish jarayonlarini matematik modellash tirish ko'plab amaliy masalalarni hal qilish imkonini beradi. Xususan, matematik model yordamida jismning ma'lum vaqtdagi haroratini aniqlash, issiqlikning muhit bo'ylab tarqalish tezligini baholash va turli materiallarning issiqlik xususiyatlarini o'rganish mumkin. Sanoatda metall va qotishmalarga termik ishlov berish jarayonlarini tashkil etishda issiqlik almashinuvi qonuniyatlarini bilish muhimdir. Qurilishda esa bino devorlari, tom va boshqa konstruksiyalarning issiqlik o'tkazuvchanligini baholashda matematik modellash tirishdan foydalanish mumkin. Energetika sohasida issiqlik almashinish qurilmalarining ishlashini tahlil qilish, issiqlik yo'qotishlarini kamaytirish va qurilmalarning samaradorligini oshirish masalalarida ham matematik modellar muhim o'rin tutadi. Matematik modellash tirishning yana bir muhim jihati shundaki, turli sharoitlarni kompyuter yordamida hisoblash va natijalarni taqqoslash imkoniyati mavjud. Bu esa real tajribalar sonini kamaytirish va texnologik jarayonlarni oldindan baholashga yordam beradi[3].

Modelning soddalashtirilishi va qo'llanish chegaralari. Har qanday matematik model real jarayonning ma'lum darajadagi soddalashtirilgan tasviridir. Issiqlik tarqalish modelini qurishda ham bir qator farazlar qabul qilinishi mumkin. Masalan, material bir jinsli, uning issiqlik o'tkazuvchanligi o'zgarmasa va tashqi muhit bilan issiqlik almashinuvi ma'lum qonun asosida sodir bo'ladi deb olinadi. Amaliy jarayonlarda esa material xususiyatlari haroratga bog'liq bo'lishi, ichki issiqlik manbalari mavjud bo'lishi yoki muhitning xossalari fazoda o'zgarishi mumkin. Bunday holatlarda klassik modelni murakkablashtirish talab etiladi. Shuning uchun matematik modeldan foydalanishda uning qanday sharoitlarda tuzilganini hisobga olish zarur. Model qanchalik aniq fizik ma'lumotlarga asoslangan bo'lsa, uning natijalari real jarayonni shunchalik yaxshi ifodalashi mumkin.

XULOSA

Issiqlik tarqalish jarayonlarini matematik modellash tirish fizik jarayonlarni nazariy va amaliy jihatdan o'rganishning samarali usullaridan biridir. Matematik model yordamida issiqlikning vaqt va fazo bo'yicha tarqalishi, haroratning o'zgarishi hamda turli fizik parametrlarning jarayonga ta'sirini tadqiq qilish mumkin. Maqolada issiqlik tarqalishining klassik matematik modeli ko'rib chiqildi va uning fizik mazmuni yoritildi. Modelni to'liq ifodalashda boshlang'ich va chegaraviy shartlarning ahamiyati ko'rsatildi. Shuningdek, matematik modellash tirishning sanoat, energetika, qurilish va muhandislikdagi amaliy imkoniyatlari tahlil qilindi. Issiqlik tarqalish tenglamasi sodda ko'rinishga ega bo'lishiga qaramay, u ko'plab real jarayonlarning asosiy matematik modelini tashkil etadi. Zamonaviy kompyuter texnologiyalari va sonli usullarning rivojlanishi esa bunday modellarni murakkab amaliy masalalarga qo'llash imkoniyatlarini yanada kengaytirmoqda. Kelajakda issiqlik tarqalish modellarini o'zgaruvchan koeffitsientlar, ichki issiqlik manbalari, ko'p

o'lovli muhitlar va murakkab chegaraviy shartlarni hisobga olgan holda rivojlantirish mumkin. Bu esa real issiqlik jarayonlarini yanada aniq modellashtirishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Salohiddinov M.S. Matematik fizika tenglamalari. — Toshkent: O'zbekiston, 2002.
- [2] Zikirov O.S. Matematik fizika tenglamalari. — Toshkent: Fan va texnologiya, 2017.
- [3] Xurramov A. Matematika va kompyuterli modellashtirish. — Toshkent, 2023.
- [4] Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P. Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirishmasoslari.—Toshkent.
- [5] Azam A. Differensial tenglamalar. — Toshkent: Turon-Iqbol, 2024.

PERSISTENT REGIONAL DEVIATIONS OF NIGHTTIME LIGHTS FROM OFFICIAL OUTPUT: A MONITORING TOOL FOR STRUCTURAL CHANGE IN UZBEKISTAN

Kurbaniyaz Mambetsapaev^{1,2}

¹Institute for Advanced Training and Statistical Research under the National Committee of the Republic of Uzbekistan for Statistics, Tashkent, Uzbekistan

²Almalyk Branch of the University of Science and Technology MISIS, Almalyk, Uzbekistan

e-mail: mambetsapaev.ka@misis.uz

Abstract. *Deviations of satellite nighttime lights from official output are usually treated as measurement noise. This study examines whether persistent deviations instead carry information about the economic structure of regions. Background-filtered VIIRS lights per capita for the 14 regions of Uzbekistan over 2014–2024 (154 region-year observations) are regressed on gross regional product (GRP) per capita with year fixed effects, and regional mean residuals are interpreted as stable over- or under-lighting. Three gas-producing and suburban regions are over-lit in every year of the period, while mining, agrarian and metropolitan units are under-lit. The deviations of the gas regions decline steadily over time, and the negative deviation of an agrarian region narrows, which is consistent with reduced gas flaring and expanding rural electrification. Regression residuals of lights on output can therefore serve as a low-cost tool for monitoring structural change and for identifying regions where lights-based estimates of activity would be biased.*

Keywords: *nighttime lights, VIIRS, gross regional product, gas flaring, regional statistics, Uzbekistan.*

Аннотация. *Отклонения спутниковых данных о ночной освещённости от официальных показателей выпуска обычно рассматриваются как ошибка измерения. В работе проверяется, не несут ли устойчивые отклонения информацию об экономической структуре регионов. Очищенная от фонового излучения освещённость VIIRS в расчёте на душу населения по 14 регионам Узбекистана за 2014–2024 гг. (154 наблюдения «регион–год») регрессируется на валовой региональный продукт (ВРП) на душу населения с фиксированными эффектами года, а средние остатки регионов интерпретируются как устойчивый избыток или недостаток освещённости. Три газодобывающих и пригородных региона освещены сильнее ожидаемого во все годы периода, тогда как горнодобывающий, аграрные и столичный регионы – слабее. Отклонения газодобывающих регионов последовательно снижаются, а отрицательное отклонение аграрного региона сокращается, что согласуется с уменьшением факельного сжигания газа и расширением сельской электрификации. Таким образом, остатки регрессии освещённости на выпуск могут служить недорогим инструментом мониторинга структурных изменений и выявления регионов, для которых оценки активности по освещённости были бы смещены.*

Ключевые слова: ночная освещённость, VIIRS, валовой региональный продукт, факельное сжигание газа, региональная статистика, Узбекистан.

Annotatsiya. Tungi yoritilganlik bo'yicha sun'iy yo'ldosh ma'lumotlarining rasmiy ishlab chiqarish ko'rsatkichlaridan chetlanishlari odatda o'lchash xatosi sifatida qaraladi. Tadqiqotda barqaror chetlanishlar hududlarning iqtisodiy tuzilmasi haqida ma'lumot bera olishi tekshiriladi. O'zbekistonning 14 ta hududi bo'yicha 2014–2024-yillar uchun (154 ta «hudud–yil» kuzatuv) fon nurlanishidan tozalangan aholi jon boshiga VIIRS yoritilganligi yil fiksirlangan effektlari bilan aholi jon boshiga yalpi hududiy mahsulot (YaHM) bo'yicha regressiya qilingan, hududlarning o'rtacha qoldiqlari esa yoritilganlikning barqaror ortiqchaligi yoki yetishmasligi sifatida talqin qilingan. Gaz qazib oluvchi va shahar atrofidagi uchta hudud davrning barcha yillarida kutilganidan yorug'roq, tog'-kon, agrar va poytaxt hududlari esa xiraroq bo'lib chiqdi. Gaz qazib oluvchi hududlarning chetlanishlari izchil kamayib bormoqda, agrar hududning manfiy chetlanishi esa qisqarmoqda. Bu yo'ldosh gazni mash'alada yoqishning kamayishi va qishloq elektrlashtirilishining kengayishiga mos keladi. Demak, yoritilganlikning ishlab chiqarish bo'yicha regressiya qoldiqlari tarkibiy o'zgarishlarni monitoring qilish hamda yoritilganlik asosidagi baholar siljigan bo'ladigan hududlarni aniqlash uchun arzon vosita bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Kalit so'zlar: tungi yoritilganlik, VIIRS, yalpi hududiy mahsulot, gazni mash'alada yoqish, hududiy statistika, O'zbekiston.

Satellite measurements of nighttime lights have become a widely used proxy for economic activity where official statistics are unavailable, delayed or of uncertain quality [1, 2]. At the subnational level, however, the relationship between lights and output is considerably noisier than across countries, and the measurement error is concentrated in sparsely populated areas and in annual changes [3, 4]. The gap between observed lights and the level predicted by output is usually treated as noise. This study asks instead whether gaps that persist over a decade reveal something about the economic structure of individual regions.

The analysis covers all 14 first-level administrative units of Uzbekistan (12 regions, the Republic of Karakalpakstan and Tashkent city) over 2014–2024, which yields 154 region-year observations. Official GRP per capita is taken from the open data of the National Committee of the Republic of Uzbekistan for Statistics [5]. Lights are derived from monthly VIIRS Day/Night Band composites corrected for stray light and published by the Earth Observation Group [6], processed in Google Earth Engine [7] and averaged into annual composites at a native resolution of about 460 m. Because background radiance over the extensive deserts of the country distorts unfiltered regional averages, only pixels with an annual radiance of at least $1.0 \text{ nW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ are summed, and the total is expressed per capita. Constructed in this way, the indicator is a meaningful measure of the level of regional activity: its correlation with log GRP per capita averages 0.59 across years, with a Spearman coefficient of 0.67.

Persistent deviations are identified by an auxiliary regression $\ln L_{it} = a + b \cdot \ln \text{GRP}_{it} + \lambda_t + e_{it}$, where L_{it} is filtered lights per capita in region i and year t and λ_t are year fixed effects. The mean residual of a region over 2014–2024 measures how much brighter or dimmer it is than its output would predict, and the share of years with the same sign of the residual indicates how stable the deviation is; regions with a positive mean residual are termed over-lit, and those with a negative one under-lit. The results for the seven regions with the largest deviations are summarised in Table 1.

Note: residuals of the regression of log lights per capita on log GRP per capita with year fixed effects, in log points; $N = 154$. For the over-lit regions the sign of the residual is the same in all eleven years. Source: author's calculations based on VIIRS and official statistics.

Table 1. Persistent deviations of nighttime lights from the level predicted by GRP per capita

Region	Mean residual, 2014–2024	Type	Probable mechanism
Kashkadarya region	+0.89	over-lit	Gas production and flaring of associated gas
Tashkent region	+0.61	over-lit	Suburban lighting of the capital agglomeration
Bukhara region	+0.59	over-lit	Gas production and processing
Tashkent city	−0.22	under-lit	Value added registered in the city, lights spilling beyond its boundary
Navoi region	−0.28	under-lit	Capital-intensive mining with high output per capita
Surkhandarya region	−0.39	under-lit	No single mechanism identified
Khorezm region	−0.95	under-lit	Densely populated agrarian region with limited electrification

The over-lit group is dominated by hydrocarbon regions. Kashkadarya and Bukhara are the main centres of natural gas production and processing in the country, and flares of associated gas are among the brightest anthropogenic light sources recorded from orbit [8]. Navoi region represents the opposite case: capital-intensive mining gives it the highest GRP per capita in the country (120.2 million soums in 2024 against 98.4 million in Tashkent city), while its lighting corresponds to its modest population density. The opposite signs of Tashkent city and the surrounding Tashkent region reflect the agglomeration boundary effect described in the literature [9]: value added is recorded where firms are legally registered, that is, in the city, whereas lighting of suburbs, transport corridors and warehouse complexes is observed beyond the administrative boundary.

The most informative feature of the deviations is their evolution over time. The positive residual of Kashkadarya region declines almost monotonically, from +1.30 in 2014 to +1.21 in 2016–2017, +0.91 in 2019 and +0.59 in 2024. The residual of Bukhara region falls from +1.22 to +0.22 over the same period. The negative residual of Khorezm region, a densely populated agrarian area, narrows from −1.43 in 2014 and −1.59 in 2015 to −0.42 in 2024. The deviations therefore converge towards zero from two directions. The decline in the gas regions is consistent with the implementation of programmes for the utilisation of associated gas, and the narrowing in the agrarian region is consistent with the expansion of rural electrification and the modernisation of street lighting.

These results have two practical implications for statistical offices. First, applying an average lights-to-output elasticity to a region dominated by gas flaring, mining or a metropolitan boundary would produce a large and systematic error, so such regions should be identified before lights are used as auxiliary information. Second, the residuals themselves form a simple monitoring indicator: recomputed each year, they show where the economic structure of a region is changing and signal where official figures and satellite observations diverge enough to warrant closer examination. The main limitations are the small number of units and the measurement error in official GRP itself, so the deviations describe the mutual consistency of two data sources rather than

an error in either of them. Further work will add explicit flare masks from the VIIRS Nightfire product [10] and extend the analysis to the district level.

A broader validation study based on these data is being prepared for journal publication.

REFERENCES:

- [1] Henderson, J.V., Storeygard, A., Weil, D.N. Measuring economic growth from outer space. *American Economic Review*, 102(2), (2012), 994–1028.
- [2] Chen, X., Nordhaus, W.D. Using luminosity data as a proxy for economic statistics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(21), (2011), 8589–8594.
- [3] Gibson, J., Olivia, S., Boe-Gibson, G., Li, C. Which night lights data should we use in economics, and where? *Journal of Development Economics*, 149, (2021), 102602.
- [4] Bickenbach, F., Bode, E., Nunnenkamp, P., Söder, M. Night lights and regional GDP. *Review of World Economics*, 152(2), (2016), 425–447.
- [5] National Committee of the Republic of Uzbekistan for Statistics. Open data: regional statistics, 2014–2024. Tashkent, (2025). URL: <https://stat.uz>
- [6] Elvidge, C.D., Zhizhin, M., Ghosh, T., Hsu, F.C., Taneja, J. Annual time series of global VIIRS nighttime lights derived from monthly averages: 2012 to 2019. *Remote Sensing*, 13(5), (2021), 922.
- [7] Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R. Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, (2017), 18–27.
- [8] Elvidge, C.D., Zhizhin, M., Baugh, K., Hsu, F.C., Ghosh, T. Methods for global survey of natural gas flaring from Visible Infrared Imaging Radiometer Suite data. *Energies*, 9(1), (2016), 14.
- [9] Small, C., Elvidge, C.D., Balk, D., Montgomery, M. Spatial scaling of stable night lights. *Remote Sensing of Environment*, 115(2), (2011), 269–280.
- [10] Zhizhin, M., Matveev, A., Ghosh, T., Hsu, F.C., Howells, M., Elvidge, C. Measuring gas flaring in Russia with multispectral VIIRS Nightfire. *Remote Sensing*, 13(16), (2021), 3078.

OLIY MATEMATIKA KURSINI RAQAMLI MUHITDA MUSTAQIL O‘ZLASHTIRISH KO‘RSATKICHLARIGA INNOVATSION PEDAGOGIK USULLARNING STATISTIK TA’SIRI

Muydinjanov Davlatjon Rafikjon o‘g‘li

Qo‘qon Davlat Universiteti Matematika kafedrsi v.v.b dotsenti (PhD)

Orcid id: 0009-0000-9567-4224

mziyodjonov@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada oliy matematika kursini raqamli ta’lim muhitida mustaqil o‘zlashtirish ko‘rsatkichlariga innovatsion pedagogik usullarning ta’siri matematik-statistik metodlar vositasida tadqiq etilgan. Talabalarining o‘zlashtirish ko‘rsatkichlari Styudent t-mezoni yordamida qiyosiy tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari interaktiv raqamli metodlarning mustaqil matematika ta’limidagi yuqori statistik samaradorligini va talabalar motivatsiyasini oshirishini tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: Oliy matematika, raqamli muhit, mustaqil o‘zlashtirish, innovatsion pedagogik usullar, Styudent t-mezoni, statistik ta’sir.

Аннотация. В статье с помощью математико-статистических методов исследуется влияние инновационных педагогических методов на показатели

самостоятельного освоения курса высшей математики в цифровой образовательной среде. Сравнительный анализ успеваемости студентов проведен с использованием *t*-критерия Стьюдента. Результаты исследования подтверждают высокую статистическую эффективность интерактивных цифровых методов в самостоятельном обучении математике.

Ключевые слова: Высшая математика, цифровая среда, самостоятельное освоение, инновационные педагогические методы, *t*-критерий Стьюдента, статистическое влияние.

Abstract. The article investigates the impact of innovative pedagogical methods on the performance of independent learning in a higher mathematics course within a digital educational environment using mathematical and statistical methods. A comparative analysis of student achievement was conducted using Student's *t*-test. The research results confirm the high statistical efficiency of interactive digital methods in independent mathematics education.

Keywords: Higher mathematics, digital environment, independent learning, innovative pedagogical methods, Student's *t*-test, statistical impact.

Zamonaviy global raqamlashtirish sharoitida oliy ta'lim tizimining fundamental fanlaridan biri hisoblangan oliy matematika kursini o'qitish metodologiyasini takomillashtirish muhim ahamiyat kasb etmoqda. Oliy matematika muhandislik, iqtisodiyot va axborot texnologiyalari yo'nalishlari talabalari uchun tahliliy va mantiqiy fikrlashni shakllantiruvchi asosiy poydevordir. Biroq, ushbu fanning murakkab mavhumlik darajasi va keng hajmdagi dasturi talabalardan faqatgina auditoriya mashg'ulotlari bilan cheklanib qolmay, mustaqil o'quv faoliyatini samarali tashkil etishni ham talab qiladi. An'anaviy mustaqil ta'lim shakllari ko'p hollarda raqamli avlod talabalarining ehtiyojlarini to'liq qoniqtira olmayapti, bu esa ta'lim jarayoniga zamonaviy axborot va raqamli muhitni integratsiya qilish zaruriyatini keltirib chiqarmoqda.

Raqamli ta'lim muhitida (LMS platformalari, interaktiv simulyatorlar, matematik paketlar) oliy matematikani mustaqil o'rganish talabalarga individual ta'lim traektoriyasini qurish imkonini beradi. Biroq, raqamli vositalarning shunchaki mavjudligi ta'lim sifati oshishiga kafolat bo'la olmaydi. Bu jarayonda innovatsion pedagogik yondashuvlar — muammoli ta'lim, teskari sinf (flipped classroom) va geymifikatsiya elementlarini raqamli formatga moslashtirish dolzarb hisoblanadi. Mazkur innovatsion metodlarning real samaradorligini baholash va talabalarining bilim darajasiga ta'sirini aniqlash sub'ektiv yondashuvlardan xoli bo'lishi lozim. Bu muammoning yechimi sifatida ta'lim jarayonidan olingan miqdoriy ko'rsatkichlarni matematik-statistik modellashtirish metodologiyasi maydonga chiqadi. Ushbu tadqiqot oliy matematika kursini raqamli muhitda mustaqil o'zlashtirish ko'rsatkichlariga innovatsion pedagogik metodlarning statistik ta'sirini aniqlash va ob'ektiv baholash mezonlarini ishlab chiqishga qaratilgan bo'lib, oliy ta'lim mazmunini raqamli transformatsiya qilish sharoitida yuqori dolzarblikka egadir.

Oliy matematikani o'qitishda raqamli texnologiyalar va pedagogik yondashuvlarning uyg'unligi muammosi ko'plab xorijiy va mahalliy tadqiqotchilarning diqqat markazida bo'lib kelmoqda. Matematik ta'limni kompyuterlashtirish va dinamik matematik dasturlardan (GeoGebra, Wolfram Alpha, MATLAB) foydalanishning didaktik imkoniyatlari T. Hohenwarter va J. Monaghan ishlarida chuqur tahlil qilingan. Ularning tadqiqotlariga ko'ra, vizuallashtirilgan raqamli muhit talabalarining murakkab matematik tushunchalarni (masalan, integrallar va differensial tenglamalar) mustaqil va mustahkam o'zlashtirishlariga keng zamin yaratadi.

Raqamli muhitda "Teskari sinf" (Flipped Classroom) pedagogik modelining samaradorligi va uning talabalar faolligiga ta'sirini J. Bergmann va A. Sams tadqiq etib, ushbu metod mustaqil ish motivatsiyasini tubdan oshirishini isbotlashgan. MDH olimlaridan N. V. Kudryavseva oliy matematika kursida mustaqil ta'limni modulli-reyting tizimi asosida tashkil etishning pedagogik modellarini ishlab chiqqan. O'zbekistonlik olimlardan A. Abduqodirov, M. Aripov va T. Azlarovlar oliy ta'lim muassasalarida matematika kurslarini axborot texnologiyalari yordamida

intensivlashtirish va elektron o'quv-uslubiy majmualar yaratish muammolari ustida ilmiy izlanishlar olib boranlar.

Biroq, mavjud adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, aksariyat ishlarda raqamli vositalarning faqatgina uslubiy va tashkiliy jihatlari yoritilgan bo'lib, innovatsion pedagogik metodlarning talabalar o'zlashtirish ko'rsatkichlariga ta'sirini aniq parametrik statistik mezonlar yordamida miqdoriy baholash va qiyosiy modellashtirish masalalari yetarli darajada ochib berilmagan. Ushbu maqolada oliy matematika kursini raqamli formatda o'qitish jarayonida pedagogik innovatsiyalarning ta'siri aniq eksperimental-statistik ma'lumotlar orqali asoslab beriladi.

Tadqiqot doirasida oliy matematika kursining "Chiziqli algebra" va "Matematik analiz" bo'limlarini raqamli ta'lim muhitida mustaqil o'zlashtirish jarayoni eksperimentdan o'tkazildi. Eksperimentda birinchi bosqich bakalavriat talabalari ishtirok etdi. Ular tasodifiy tanlash asosida ikki guruhga ajratildi:

Nazorat guruhi: Raqamli muhitda (LMS Moodle) an'anaviy elektron ma'ruzalar va passiv topshiriqlar (PDF konspektlar, standart testlar) yordamida mustaqil shug'ullandi.

Tajriba guruhi: Raqamli muhitda interaktiv vizuallashtirish GeoGebra appletlari, muammoli raqamli topshiriqlar va video-diskusiyali innovatsion pedagogik usullar yordamida mustaqil bilim oldi.

Innovatsion pedagogik usullarning talabalar mustaqil o'zlashtirish ko'rsatkichlariga statistik ta'sirini baholash va tekshirish uchun parametrik statistikaga oid Student t-mezone (Student's t-test)

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

qo'llanildi. Ushbu mezon ikki bog'liq bo'lmagan tanlanmalarning o'rtacha qiymatlari o'rtasidagi farqning statistik ahamiyatlilik darajasini tekshirishga imkon beradi. Matematik hisob-kitoblar quyidagi formula asosida bajarildi:

Bu formulada:

$\bar{X}_1$ va $\bar{X}_2$ – tegishli ravishda tajriba va nazorat guruhlarining mustaqil ishlar bo'yicha yakuniy o'rtacha ballari;

S_1^2 va S_2^2 – guruhlardagi ballar dispersiyasi;

n_1 va n_2 – tanlanmalar hajmi ($n_1 = n_2 = 45$).

Quyidagi 1-jadvalda tadqiqot davomida guruhlarda qo'llanilgan pedagogik-metodik yondashuvlarning o'ziga xos xususiyatlari va raqamli muhit mezonlari qiyosiy shaklda keltirilgan.

1-jadval. Raqamli ta'lim muhitida oliy matematikadan mustaqil ishni tashkil etish modellari qiyoslamasi

Solishtirish parametrlari	Nazorat guruhi (An'anaviy raqamli yondashuv)	Tajriba guruhi (Innovatsion interaktiv yondashuv)
Kontent strukturasi	Statik PDF ma'ruzalar, formulalar to'plami	Dinamik GeoGebra modellari, interaktiv grafiklar
Pedagogik uslub	Axborotni passiv qabul qilish va yodlash	Muammoli raqamli keyslar va qadam-baqadam yechimlar
Mustaqil ish nazorati	Faqat yakuniy yopiq test topshiriqlari	Grafik simulyatsiyalar va avtomatlashgan korreksiya

Kognitiv jarayon darajasi	Reproduktiv (namuna asosida yechish)	Produktiv va tahliliy (algoritmash va vizuallashtirish)
----------------------------------	--------------------------------------	---

Eksperiment yakunida talabalarning mustaqil ish faoliyatini baholash uchun maxsus nazorat ishi o'tkazildi (maksimal 100 ballik tizimda) va olingan birlamchi statistik ko'rsatkichlar tahlilga yo'naltirildi.

Pedagogik eksperiment yakunida olingan ma'lumotlar shuni ko'rsatdiki, raqamli muhitda interaktiv va innovatsion pedagogik metodlardan foydalanish oliy matematika fanini mustaqil o'zlashtirish sifatini sezilarli darajada oshirgan. Olingan natijalar asosida guruhlarining statistik parametrlari hisoblab chiqildi va 2-jadvalga kiritildi.

2-jadval. Eksperiment yakuniy natijalarining statistik koeffitsiyentlari

Guruhlar	Talabalar soni (n)	O'rtacha ball ($\bar{X}$)	Standart og'ish (S)	Dispersiya (S^2)	Empirik t-qiymati (t_{emp})	Kritik t-qiymati (t_{krit}), $\alpha=0.05$)
Tajriba guruhi	45	84.2	6.8	46.24	5.47	1.99
Nazorat guruhi	45	71.3	8.9	79.21		

Matematik-statistik tahlil natijalariga ko'ra, Styudent mezonining hisoblangan empirik qiymati $t_{\text{emp}} = 5.47$ ni tashkil etdi. Erkinlik darajasi $df = n_1 + n_2 - 2 = 88$ va ishonchlilik darajasi $\alpha = 0.05$ bo'lganda, Styudent taqsimotining kritik qiymati $t_{\text{krit}} = 1.99$ ga teng.

Natijalarni qiyoslaganimizda, $t_{\text{emp}} > t_{\text{krit}}$ (ya'ni $5.47 > 1.99$) shart bajarilganligi aniqlandi. Bu holat nol gipotezani rad etadi va guruhlar o'rtasidagi farq statistik jihatdan o'ta ahamiyatli ekanligini tasdiqlaydi. Binobarin, interaktiv raqamli muhit va innovatsion pedagogik usullar talabalarning mustaqil fikrlash hamda matematik masalalarni yechish ko'nikmalarini real ravishda rivojlantirgan.

Oliy matematika kursini raqamli muhitda o'qitish samaradorligini oshirish bevosita talabalarning mustaqil ish faoliyatini innovatsion pedagogik prinsiplar asosida loyihalashtirish bilan bog'liqdir. Tadqiqot davomida qo'llanilgan GeoGebra interaktiv vositalari va muammoli ta'lim elementlari an'anaviy statik raqamli resurslarga qaraganda ancha yuqori didaktik natija berishini ko'rsatdi.

Olingan natijalarning matematik-statistik tahlili (Styudent t-mezoni) yordamida tajriba guruhidagi o'zlashtirish ko'rsatkichlarining nazorat guruhiga nisbatan tasodifiy bo'lmagan tarzda yuqori ekanligi to'liq isbotlandi. Raqamli simulyatorlar va interaktiv qayta aloqa tizimi talabalarning mavhum matematik tushunchalarni vizual tasavvur qilishlariga va mustaqil yechim topish ko'nikmalarini mustahkamlashga ijobiy ta'sir ko'rsatgan. Xulosa qilib aytganda, ishlab chiqilgan va sinovdan o'tkazilgan ushbu metodologiya oliy ta'lim muassasalarida matematika va boshqa fundamental fanlarni raqamli muhitda mustaqil o'zlashtirish jarayonlarini matematik modellashtirish hamda optimallashtirish uchun amaliy qo'llanma bo'lib xizmat qila oladi. Keyingi tadqiqotlarda ko'p faktorli korrelyatsion tahlil modellarini qo'llash rejalashtirilmoqda.

ADABIYOTLAR RO'YXATI (REFERENCES):

- [1] Bergmann, J., & Sams, A. (2012). Flip your classroom: Talk to every student in every class every day. International Society for Technology in Education.
- [2] Hohenwarter, M., & Jones, K. (2007). Ways of linking geometry and algebra: the case of GeoGebra. Proceedings of the British Society for Research into Learning Mathematics, 27(3), 126-131.
- [3] Abduqodirov, A. A., & Pardaeva, M. (2021). Matematika ta'limida raqamli texnologiyalardan foydalanish metodikasi. Oliy ta'limda innovatsiyalar jurnali, 5(3), 44-51.
- [4] Monaghan, J. (2014). Computer algebra systems in advanced mathematics education. International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, 33(4), 499-512.
- [5] Kudryavtseva, N. V. (2019). Organizing independent work of students in higher mathematics under digitalization. Journal of Physics: Conference Series, 1344(4), 042-048.
- [6] Aripov, M. M., & Begimkulov, U. S. (2022). Raqamli muhitda fundamental fanlarni o'qitishni modellashtirish muammolari. O'zbekiston Milliy universiteti xabarлари, 2(1), 89-95.

MATEMATIKA O'QITISHDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALARNING AHAMIYATI VA O'RNI

Rasulova Moxira Sa'dullayevna

Qarshi Davlat Texnika universiteti Oliy matematika kafedrası katta o'qituvchisi

Annotatsiya. Ushbu maqolada matematika fanini o'qitishda raqamli texnologiyalardan foydalanishning ahamiyati va imkoniyatlari yoritilgan. Raqamli vositalar yordamida matematik tushunchalarni ko'rgazmali va interaktiv tarzda tushuntirish, o'quvchilarning mustaqil ishlash ko'nikmalarini rivojlantirish, ta'lim samaradorligini oshirish hamda individual ta'lim yondashuvini tashkil etish masalalari tahlil qilinadi. Shuningdek, matematika darslarida interaktiv doskalar, ta'lim platformalari, grafik dasturlar, matematik kalkulyatorlar va onlayn resurslardan foydalanishning pedagogik imkoniyatlari ko'rib chiqiladi.

Kalit so'zlar: matematika, raqamli texnologiyalar, raqamli ta'lim, interaktiv dars, axborot texnologiyalari, elektron ta'lim, matematik dasturlar, o'quvchi faolligi.

Аннотация. В данной статье рассматриваются важность и возможности использования цифровых технологий в преподавании математики. Анализируются вопросы использования цифровых инструментов для визуального и интерактивного объяснения математических понятий, развития навыков самостоятельной работы учащихся, повышения эффективности обучения и организации индивидуального подхода к обучению. Также рассматриваются педагогические возможности использования интерактивных досок, образовательных платформ, графических программ, математических калькуляторов и онлайн-ресурсов на уроках математики.

Ключевые слова: математика, цифровые технологии, цифровое образование, интерактивный урок, информационные технологии, электронное обучение, математические программы, активность учащихся.

Abstract. This article highlights the importance and potential of using digital technologies in teaching mathematics. It analyzes issues such as explaining mathematical concepts in a visual and interactive manner using digital tools, developing students' independent work skills, enhancing educational effectiveness, and implementing an individualized learning approach. Furthermore, the pedagogical possibilities of utilizing interactive whiteboards, educational platforms, graphing software, mathematical calculators, and online resources in mathematics lessons are examined.

Keywords: mathematics, digital technologies, digital education, interactive lesson, information technologies, e-learning, mathematical software, student engagement.

KIRISH

Bugungi kunda ta'lim tizimida raqamli texnologiyalardan foydalanish muhim yo'nalishlardan biriga aylanmoqda. Zamonaviy texnologiyalar ta'lim jarayonini yanada qiziqarli, interaktiv va samarali tashkil etishga yordam beradi. Ayniqsa, matematika fanini o'qitishda raqamli vositalarning imkoniyatlari kengdir.

Matematika ko'plab mavzularda abstrakt tushunchalar, formulalar, grafiklar va geometrik shakllar bilan ishlashni talab qiladi. An'anaviy usullarda ayrim mavzularni o'quvchilarga tushuntirish qiyin bo'lishi mumkin. Raqamli texnologiyalar esa bunday tushunchalarni vizual ko'rinishda namoyish qilish, ularni o'zgartirish va natijalarni tezda kuzatish imkonini beradi.

ASOSIY QISM

1. Raqamli texnologiyalarning matematika ta'limidagi ahamiyati

Raqamli texnologiyalar matematika darsining mazmuni va tashkil etilishiga ijobiy ta'sir ko'rsatishi mumkin. O'quvchi faqat o'qituvchining tushuntirishini tinglabgina qolmay, balki topshiriqlarni mustaqil bajarishi, natijani tekshirishi va xatolarini aniqlashi mumkin.

Masalan, grafiklarni o'rganishda maxsus matematik dasturlar yordamida funksiyaning grafigini bir necha soniyada hosil qilish mumkin. Funksiya parametrlaridan birini o'zgartirish orqali grafikning qanday o'zgarishi kuzatiladi. Bu esa o'quvchining matematik bog'lanishlarni yaxshiroq tushunishiga yordam beradi.

Geometriya darslarida esa uchburchak, aylana, to'rtburchak va boshqa shakllarni elektron muhitda yaratish, ularning o'lchamlarini o'zgartirish va xossalari kuzatish imkoniyati mavjud.

2. O'quvchilarning darsdagi faolligini oshirish

Raqamli texnologiyalardan foydalanish matematika darslarini interaktiv tashkil etishga imkon beradi. Testlar, elektron topshiriqlar, viktorinalar va interaktiv mashqlar o'quvchilarning darsdagi faolligini oshirishi mumkin.

Masalan, dars davomida qisqa elektron test o'tkazish orqali o'qituvchi o'quvchilarning mavzuni qay darajada o'zlashtirganini tezda aniqlaydi. Natijalar asosida keyingi mashg'ulotlarda qaysi mavzularga ko'proq e'tibor berish kerakligi belgilanadi.

Bundan tashqari, o'quvchilar o'z natijalarini darhol ko'rishlari va xatolar ustida ishlashlari mumkin. Bu jarayon ularda o'z-o'zini nazorat qilish va mustaqil ta'lim olish ko'nikmalarini shakllantiradi.

3. Matematik tushunchalarni vizuallashtirish

Matematikada ko'plab tushunchalar bevosita ko'rish orqali o'zlashtirilishi osonroq. Raqamli texnologiyalar matematik jarayonlarni animatsiya, grafik, jadval va modellar yordamida tasvirlash imkonini beradi.

Masalan, kvadrat funksiyaning grafigini o'rganishda uning koeffitsiyentlari o'zgarishi natijasida parabola qanday siljishi yoki shakli qanday o'zgarishini ko'rsatish mumkin. O'quvchi formula va grafik o'rtasidagi bog'liqlikni amaliy tarzda kuzatadi.

Geometrik masalalarda esa shakllarni aylantirish, kattalashtirish yoki kichraytirish orqali ularning xossalari yaxshiroq tushuntiriladi.

4. Individual ta'lim imkoniyatlari

Har bir o'quvchining bilim darajasi, o'zlashtirish tezligi va qiziqishi turlicha. Raqamli ta'lim vositalari o'quvchilarga o'z imkoniyatlariga mos topshiriqlarni bajarish imkonini beradi.

Bilimi yuqori bo'lgan o'quvchilarga murakkabroq masalalar, mavzuni o'zlashtirishda qiynalayotgan o'quvchilarga esa sodda va bosqichma-bosqich topshiriqlar berilishi mumkin.

Shunday qilib, raqamli texnologiyalar differensial va individual yondashuvni amalga oshirish uchun qo'shimcha imkoniyat yaratadi.

5. O'qituvchi faoliyatida raqamli texnologiyalarning o'rni

Raqamli texnologiyalar nafaqat o'quvchilar, balki o'qituvchilar uchun ham qulaylik yaratadi. O'qituvchi elektron taqdimotlar, videodarslar, interaktiv mashqlar va elektron testlardan foydalanishi mumkin.

Shuningdek, raqamli vositalar yordamida o'quvchilarning natijalarini qayd etish va tahlil qilish osonlashadi. Bu o'qituvchiga o'quvchilarning qaysi mavzularda qiyinchilikka duch kelayotganini aniqlash va dars jarayonini shunga mos ravishda rejalashtirish imkonini beradi.

6. Raqamli texnologiyalardan foydalanishda e'tibor berilishi kerak bo'lgan jihatlar

Raqamli texnologiyalar matematika ta'limida katta imkoniyatlarga ega bo'lsa-da, ularni maqsadsiz yoki haddan tashqari ishlatish kutilgan natijani bermasligi mumkin.

Texnologiya darsning maqsadini almashtirmasligi, balki unga xizmat qilishi kerak. O'quvchi matematik fikrlash, mantiqiy xulosa chiqarish va masalani mustaqil yechish ko'nikmalarini ham rivojlantirishi zarur.

Shuningdek, barcha o'quvchilarning texnik vositalar va internetdan foydalanish imkoniyatlari bir xil bo'lmazligi mumkin. Shu sababli o'qituvchi raqamli va an'anaviy ta'lim usullarini oqilona uyg'unlashtirishi muhim.

XULOSA

Xulosa qilib aytganda, raqamli texnologiyalar matematika fanini o'qitish jarayonini takomillashtirish uchun muhim vositalardan biridir. Ular matematik tushunchalarni ko'rgazmali ifodalash, o'quvchilar faolligini oshirish, bilimlarni tezkor baholash, mustaqil ta'limni qo'llab-quvvatlash va individual yondashuvni tashkil etish imkonini beradi.

Raqamli texnologiyalardan samarali foydalanish uchun o'qituvchi dars maqsadi, o'quvchilarning yoshi va bilim darajasi hamda mavzuning xususiyatlarini hisobga olishi lozim. Texnologiya an'anaviy pedagogik yondashuvlarning o'rnini to'liq egallamasdan, ularni boyituvchi va ta'lim samaradorligini oshiruvchi vosita sifatida qo'llanilganda yuqori natijalarga erishish mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] O'zbekiston Respublikasida ta'lim va raqamli texnologiyalarni rivojlantirishga oid me'yoriy-huquqiy hujjatlar.

[2] Umumiy o'rta ta'lim maktablari uchun matematika fanidan darslik va o'quv-metodik qo'llanmalar.

[3] UNESCO. *Guidance for Generative AI in Education and Research*. Paris: UNESCO.

[4] OECD. *Digital Education Outlook*. OECD Publishing.

[5] Matematik ta'limda axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalanishga oid ilmiy-metodik adabiyotlar.

MATEMATIKA O'QITUVCHILARINING KASBIY TAYYORGARLIGINI RIVOJLANTIRISHDA GEOGEBRA DASTURIDAN FOYDALANISH

Raximov Xolmurot Abdullayevich¹, Japarova Dilshoda Samandarxon qizi², Sayidova Gulsanam Shuxrat qizi³

^{1,2,3}Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi 180100, O'zbekiston,

e-mail: raximov.xolmurod21@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada matematika o'qituvchilarining kasbiy tayyorgarligini rivojlantirishda raqamli texnologiyalardan foydalanish masalasi va GeoGebra dasturining pedagogik imkoniyatlari tahlil qilingan. GeoGebra dasturining matematik obyektlarni dinamik vizuallashtirish, funksiyalar grafiklarini qurish, geometrik konstruksiyalar yaratish, parametrlar o'zgarishini kuzatish hamda interaktiv o'quv topshiriqlarini ishlab chiqish imkoniyatlari ko'rib chiqilgan. Matematika o'qituvchilarining GeoGebra bilan ishlash jarayonida raqamli, matematik va metodik kompetensiyalarini rivojlantirishga yo'naltirilgan bosqichli yondashuv taklif etilgan. Shuningdek, kvadrat funksiya grafigi misolida GeoGebra dasturidan foydalanishning metodik imkoniyatlari ochib berilgan va o'qituvchilarning dasturiy vositadan foydalanish tayyorgarligini baholash mezonlari ishlab chiqilgan.

Kalit so'zlar: matematika ta'limi, matematika o'qituvchisi, kasbiy tayyorgarlik, raqamli kompetensiya, GeoGebra, matematik modellashtirish, interaktiv ta'lim, dinamik geometriya, raqamli texnologiyalar.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы развития профессиональной подготовки учителей математики посредством цифровых технологий и педагогические возможности программы GeoGebra. Анализируются возможности GeoGebra для динамической визуализации математических объектов, построения графиков функций, создания геометрических конструкций, исследования изменения параметров и разработки интерактивных учебных заданий. Предлагается поэтапный подход к развитию цифровой, математической и методической компетентности учителей математики в процессе работы с GeoGebra. На примере графика квадратной функции раскрываются методические возможности использования программы GeoGebra, а также предлагаются критерии оценки готовности учителей к использованию данного программного средства.

Ключевые слова: математическое образование, учитель математики, профессиональная подготовка, цифровая компетентность, GeoGebra, математическое моделирование, интерактивное обучение, динамическая геометрия, цифровые технологии.

Abstract. This paper examines the use of digital technologies for developing mathematics teachers' professional preparation, with particular attention to the pedagogical potential of GeoGebra. The study considers GeoGebra's capabilities for dynamic visualization of mathematical objects, graphing functions, constructing geometric models, exploring parameter changes, and developing interactive learning activities. A step-by-step approach is proposed for developing mathematics teachers' digital, mathematical, and methodological competencies through the purposeful use of GeoGebra. A quadratic-function example is used to demonstrate how GeoGebra can support mathematical visualization and methodological design. Criteria for assessing teachers' readiness to use GeoGebra in mathematics teaching are also proposed.

Keywords: mathematics education, mathematics teacher, professional preparation, digital competence, GeoGebra, mathematical modelling, interactive learning, dynamic geometry, digital technologies.

KIRISH.

Ta'lim jarayonining raqamlashtirilishi matematika o'qituvchisining kasbiy faoliyatiga qo'yiladigan talablarning mazmunini kengaytirmoqda. Zamonaviy matematika o'qituvchisi nafaqat

matematik bilim va metodik kompetensiyaga, balki raqamli ta'lim vositalaridan maqsadli foydalanish ko'nikmasiga ham ega bo'lishi zarur. Ayniqsa, matematik tushunchalarni vizuallashtirish, matematik modellarni yaratish va o'quvchilarning mustaqil izlanish faoliyatini tashkil etishda interaktiv dasturiy vositalarning imkoniyatlari muhim ahamiyat kasb etmoqda.

GeoGebra matematika ta'limida algebra, geometriya, grafiklar, statistika, analiz va uch o'lchamli matematik obyektlar bilan ishlash imkonini beruvchi interaktiv platforma hisoblanadi [1, 2]. Dastur yordamida o'qituvchi tayyor interaktiv materiallardan foydalanishi, ularni o'z ehtiyojlariga moslashtirishi yoki mustaqil o'quv resurslarini yaratishi mumkin.

Matematika o'qituvchilarining kasbiy tayyorgarligini rivojlantirishda GeoGebra dasturining ahamiyati shundaki, undan foydalanish oddiy texnik ko'nikma bilan cheklanmaydi. O'qituvchi matematik mazmunni raqamli muhitga o'tkazish, o'quv topshirig'ining didaktik maqsadini belgilash, o'quvchining faoliyatini loyihalash va natijani tahlil qilishni o'rganadi. Tadqiqotlarda ham GeoGebra qo'llaniladigan muhit matematika o'qituvchilarining matematik tushunchalarni anglash va o'qitishga oid bilimlarini namoyon etish imkonini berishi qayd etilgan [3].

Shu nuqtayi nazardan, matematika o'qituvchilarining kasbiy tayyorgarligini rivojlantirishda GeoGebra dasturidan foydalanishning metodik imkoniyatlarini aniqlash dolzarb masalalardan biridir.

MATERIALLAR VA USULLAR

Tadqiqotning asosiy maqsadi matematika o'qituvchilarining kasbiy tayyorgarligini rivojlantirishda GeoGebra dasturidan foydalanishning metodik imkoniyatlarini aniqlashdan iborat.

Tadqiqotda pedagogik va metodik adabiyotlarni tahlil qilish, qiyosiy tahlil, pedagogik modellashtirish, kuzatish, amaliy topshiriqlarni loyihalash va ekspert baholash metodlaridan foydalanildi.

Matematika o'qituvchisining GeoGebra dasturidan foydalanishga tayyorgarligi quyidagi o'zaro bog'liq komponentlar asosida ko'rib chiqildi:

matematik komponent – matematik mazmunni to'g'ri ifodalash;

texnologik komponent – GeoGebra vositalaridan foydalanish;

metodik komponent – dasturiy vositani dars maqsadiga mos tanlash;

loyihalash komponenti – interaktiv topshiriq va o'quv materiallarini yaratish;

refleksiv komponent – yaratilgan materialning pedagogik samaradorligini tahlil qilish.

GeoGebra bilan ishlash jarayonini quyidagi ketma-ketlikda tashkil etish taklif qilinadi:

matematik mazmunni aniqlash → dasturiy vositani tanlash → interaktiv model yaratish → o'quv topshirig'ini ishlab chiqish → amaliy qo'llash → natijani tahlil qilish.

Bunday yondashuvda GeoGebra o'qituvchining o'rnini bosuvchi vosita sifatida emas, balki matematik mazmunni samarali ifodalash va o'quv faoliyatini tashkil etish vositasi sifatida qaraladi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

GeoGebra dasturining asosiy afzalliklaridan biri matematik obyektlarni dinamik ravishda o'zgartirish va o'zgarish natijasini darhol kuzatish imkoniyatidir. Rasmiy GeoGebra manbalarida dastur funksiyalar grafiklarini qurish, geometrik konstruksiyalar yaratish, algebraik va statistik masalalar bilan ishlash, shuningdek, interaktiv ta'lim materiallarini yaratish imkonini berishi ko'rsatilgan [1, 2].

Matematika o'qituvchisining kasbiy tayyorgarligini rivojlantirish nuqtayi nazaridan bu imkoniyatlar uchta asosiy yo'nalishda namoyon bo'ladi.

Birinchidan, matematik vizuallashtirish rivojlanadi. Masalan, funksiyaning grafik tasvirini faqat tayyor ko‘rinishda ko‘rsatish o‘rniga, uning parametrlarini o‘zgartirish orqali grafikning qanday o‘zgarishini kuzatish mumkin.

Ikkinchidan, metodik loyihalash ko‘nikmasi rivojlanadi. O‘qituvchi GeoGebra vositalaridan qaysi birini tanlash, qanday savol yoki topshiriq berish va o‘quvchini qanday xulosaga olib kelishni mustaqil rejalashtiradi.

Uchinchidan, raqamli kompetensiya shakllanadi. O‘qituvchi tayyor resursdan foydalanishdan boshlab, mustaqil interaktiv material yaratish darajasiga ko‘tariladi. GeoGebra rasmiy resurslarida o‘qituvchilar tayyor faoliyatlarni moslashtirishi va o‘z materiallarini yaratishi mumkinligi ko‘rsatilgan.

GeoGebra asosida amaliy topshiriq

Matematika o‘qituvchilarining kasbiy tayyorgarligini rivojlantirish uchun quyidagi amaliy topshiriqni taklif qilish mumkin.

Topshiriq. GeoGebra dasturida

$$y=ax^2+bx+c$$

kvadrat funksiya sinifining grafigini hosil qiling. a, b, c parametrlarini o‘zgartirish imkonini beruvchi slayderlar yarating va har bir parametrning grafikdagi o‘zgarishga ta’sirini aniqlang.

Mazkur topshiriqni bajarishda o‘qituvchi avvalo matematik modelni GeoGebra muhitiga kiritadi. Keyin parametrlar uchun slayderlar hosil qiladi. Parametrlarning qiymatlari o‘zgartirilganda grafikning shakli, yo‘nalishi va koordinata tekisligidagi joylashuvi qanday o‘zgarishini kuzatadi.

Masalan, a parametrining ishorasi parabola shoxlarining yuqoriga yoki pastga yo‘nalishini belgilashini, uning modul qiymati esa grafikning kengligi yoki torligiga ta’sir qilishini dinamik tarzda ko‘rsatish mumkin. b va c parametrlarining o‘zgarishi ham grafikning joylashuvi va xususiyatlariga ta’sirini vizual ko‘rsatish imkonini beradi.

Shundan so‘ng o‘qituvchi ushbu model asosida o‘quvchilar uchun savollar ishlab chiqishi mumkin:

1. a parametrining qiymati 1 dan 3 gacha oshirilganda grafik qanday o‘zgaradi?
2. $a < 0$ bo‘lganda parabola qanday yo‘naladi?
3. c parametrining o‘zgarishi grafikning qaysi nuqtasiga ta’sir qiladi?
4. Grafikning koordinata o‘qlari bilan kesishish nuqtalarini qanday aniqlash mumkin?
5. Kuzatilgan natijalardan qanday matematik xulosa chiqarish mumkin?

Bu topshiriqda GeoGebra oddiy grafik chizish vositasi bo‘lib qolmaydi. U o‘quvchini kuzatish, taxmin qilish, tekshirish va xulosa chiqarishga yo‘naltiruvchi interaktiv matematik muhitga aylanadi.

1-jadval. Matematika o‘qituvchisining GeoGebra dasturidan foydalanish tayyorgarligini baholash mezonlari

Tayyorlik darajasi	Asosiy ko‘rsatkich	O‘qituvchi faoliyati
Boshlang‘ich	Texnik foydalanish	Tayyor grafik va modellarni ochadi, ulardan foydalanadi
O‘rta	Amaliy-metodik foydalanish	Mustaqil grafik va geometrik modellar yaratadi

Yuqori	Ijodiy-metodik foydalanish	Interaktiv topshiriq, model va dars materiallarini mustaqil loyihalaydi
--------	----------------------------	---

Jadvaldan ko‘rinadiki, o‘qituvchining kasbiy tayyorgarligini baholashda faqat dasturiy vositaning texnik funksiyalarini bilish yetarli emas. Yuqori darajada o‘qituvchi GeoGebra imkoniyatlarini matematik mazmun va metodik maqsad bilan birlashtira olishi kerak.

GeoGebra asosidagi professional rivojlanish yondashuvlarida ham o‘qituvchilarning dasturiy texnikasi bilan bir qatorda pedagogik muhokama va matematik topshiriqlar ustida ishlashga e’tibor qaratilishi ko‘rsatilgan [4].

Bundan tashqari, GeoGebra asosidagi dinamik topshiriqlar o‘qituvchilarni tayyorlash jarayonida pedagogik mazmun bilimlarini tahlil qilish vositasi sifatida ham qo‘llangan [5].

Shu bilan birga, GeoGebra'dan foydalanishning samaradorligi avtomatik ravishda yuzaga kelmaydi. O‘qituvchi avvalo o‘quvchi qanday faoliyatni bajarishini belgilashi kerak: o‘qituvchi namoyishi, o‘quvchining obyektlarni manipulyatsiya qilishi yoki o‘quvchining o‘zi matematik konstruktsiya yaratishi. Bu masala GeoGebra bo‘yicha metodik tavsiyalarda ham alohida ta’kidlanadi [6].

Demak, matematika o‘qituvchilarining kasbiy tayyorgarligini rivojlantirishda GeoGebra dasturidan foydalanish texnik tayyorgarlikdan metodik-didaktik tayyorgarlikka o‘tish tamoyili asosida tashkil etilishi lozim.

XULOSA

Matematika o‘qituvchilarining kasbiy tayyorgarligini rivojlantirishda raqamli vositalardan foydalanish zamonaviy ta’lim jarayonining muhim yo‘nalishlaridan biridir. Tadqiqot natijalari asosida GeoGebra dasturidan foydalanish o‘qituvchining matematik mazmunni vizuallashtirish, interaktiv modellar yaratish, matematik qonuniyatlarni dinamik kuzatish va o‘quv topshiriqlarini raqamli muhitda loyihalash imkoniyatlarini kengaytirishi aniqlandi.

GeoGebra asosida kasbiy tayyorgarlikni rivojlantirish jarayonini matematik mazmunni aniqlash – dasturiy vositani tanlash – model yaratish – interaktiv topshiriq ishlab chiqish – amaliy qo‘llash – natijani tahlil qilish ketma-ketligida tashkil etish maqsadga muvofiq.

Shuningdek, o‘qituvchining GeoGebra dasturidan foydalanish tayyorgarligini boshlang‘ich, o‘rta va yuqori darajalarga ajratish mumkin. Yuqori daraja o‘qituvchining dasturdan faqat texnik foydalanuvchi sifatida emas, balki matematik va metodik mazmunni raqamli muhitda mustaqil loyihalovchi mutaxassis sifatida faoliyat yuritishini nazarda tutadi.

Shunday qilib, GeoGebra dasturidan maqsadli foydalanish matematika o‘qituvchilarining raqamli kompetensiyasini rivojlantirish bilan bir qatorda, ularning matematik va metodik kompetensiyalarini integratsiyalashgan holda takomillashtirish uchun ham metodik imkoniyat yaratadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] GeoGebra. GeoGebra Tools and Resources. Official website. <https://www.geogebra.org/>
- [2] GeoGebra Help Center. Get started with GeoGebra Resources. GeoGebra, 2026.
- [3] Mathematical Understanding in Problem Solving with GeoGebra: A Case Study in Initial Teacher Education. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 2020.
- [4] GeoGebra. Professional Development: Workshops and Mathematics Teacher Training Resources.

[5] Manizade A. Incorporating Dynamic Assessments into Teachers' Professional Development. GeoGebra Global Gathering.

[6] O'Connor M. Effective Learning Tool: Using Dynamic Geometry Software in Mathematics Education. GeoGebra.

[7] Öçal M.F., Kar T., Güler G., İpek A.S. Comparison of Prospective Mathematics Teachers' Problem Posing Abilities in Paper-Pencil Test and on Dynamic Geometry Environment in Terms of Creativity. *REDIMAT – Journal of Research in Mathematics Education*, 9(3), 2020, 243–272.

[8] Kuzu C.İ. Views of Mathematics Teacher Candidates on the Use of GeoGebra in Probability Teaching. *Asian Journal of Contemporary Education*, 5(1), 2021, 45–56.

[9] Mishra P., Koehler M.J. Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 2006, 1017–1054.

[10] Shulman L.S. Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 1986, 4–14.

ZAMONAVIY TEXNOLOGIYALARDA MATEMATIK MODELLASHTIRISHNING O‘RNI

Ro‘ziyeva Zarnigor Otabek qizi

Farg‘ona davlat texnika universiteti, Farg‘ona 150100, O‘zbekiston, E-mail:
zroziyeva462@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada zamonaviy texnologiyalar rivojida matematik modellashtirishning o‘rni va ahamiyati tahlil qilinadi. Matematik modellashtirish real hayotdagi murakkab jarayon va hodisalarni o‘rganish, ularning rivojlanish qonuniyatlarini aniqlash, kelajakdagi holatini prognoz qilish hamda samarali boshqaruv qarorlarini ishlab chiqish imkonini beruvchi muhim ilmiy metod sifatida yoritiladi. Maqolada matematik modellashtirishning mazmuni, asosiy bosqichlari va zamonaviy texnologiyalar bilan uzviy bog‘liqligi ko‘rib chiqiladi. Shuningdek, uning sun‘iy intellekt, raqamli iqtisodiyot, axborot texnologiyalari, tibbiyot, energetika, transport, qishloq xo‘jaligi, ekologiya va ta‘lim sohalaridagi amaliy ahamiyati tahlil qilinadi. Zamonaviy texnologiyalarning rivojlanishi natijasida matematik modellashtirishning nazariy tadqiqotlardan amaliy va texnologik yechimlarni ishlab chiqishga yo‘naltirilayotganligi asoslab beriladi. O‘zbekistonda raqamlashtirish va sun‘iy intellekt texnologiyalarini rivojlantirish jarayonida matematik modellashtirishdan samarali foydalanish istiqbollari ham yoritilgan.

Kalit so‘zlar: matematik modellashtirish, matematik model, zamonaviy texnologiyalar, raqamlashtirish, sun‘iy intellekt, axborot texnologiyalari, prognozlash, optimallashtirish, raqamli iqtisodiyot, ainnovatsiya.

Аннотация. В данной статье анализируются роль и значение математического моделирования в развитии современных технологий. Математическое моделирование рассматривается как важный научный метод, позволяющий исследовать сложные процессы и явления реального мира, выявлять закономерности их развития, прогнозировать будущее состояние и разрабатывать эффективные управленческие решения. В статье рассматриваются содержание математического моделирования, основные этапы его осуществления и взаимосвязь с современными технологиями. Особое внимание уделяется применению математического моделирования в области искусственного интеллекта, цифровой экономики, информационных технологий, медицины, энергетики, транспорта, сельского хозяйства, экологии и образования. Обосновывается, что развитие современных технологий способствует переходу математического моделирования от преимущественно теоретических исследований к разработке практических и технологических решений. Также рассматриваются перспективы эффективного использования математического

моделирования в процессах цифровизации и развития технологий искусственного интеллекта в Узбекистане.

Ключевые слова: математическое моделирование, математическая модель, современные технологии, цифровизация, искусственный интеллект, информационные технологии, прогнозирование, оптимизация, цифровая экономика, инновации.

Abstract. *This article analyzes the role and importance of mathematical modeling in the development of modern technologies. Mathematical modeling is considered an important scientific method that makes it possible to study complex real-world processes and phenomena, identify patterns of their development, predict future states, and develop effective management decisions. The article examines the concept of mathematical modeling, its main stages, and its relationship with modern technologies. Particular attention is paid to the application of mathematical modeling in artificial intelligence, the digital economy, information technologies, medicine, energy, transport, agriculture, ecology, and education. The paper demonstrates that the development of modern technologies is transforming mathematical modeling from a primarily theoretical research method into an important tool for developing practical and technological solutions. The prospects for effective application of mathematical modeling in the digitalization of Uzbekistan and the development of artificial intelligence technologies are also discussed.*

Keywords: *mathematical modeling, mathematical model, modern technologies, digitalization, artificial intelligence, information technologies, forecasting, optimization, digital economy, innovation.*

Bugungi kunda jahon miqyosida ilm-fan va texnologiyalarning jadal rivojlanishi natijasida inson faoliyatining deyarli barcha sohalarida katta hajmdagi ma'lumotlar bilan ishlash, murakkab jarayonlarni tahlil qilish, kelajakdagi holatlarni oldindan baholash va optimal qarorlar qabul qilish zarurati ortib bormoqda. Bunday sharoitda matematika va uning amaliy yo'nalishlari zamonaviy texnologik taraqqiyotning muhim ilmiy asoslaridan biriga aylanmoqda. O'zbekiston Respublikasida ham ilm-fan, matematika va zamonaviy axborot texnologiyalarini rivojlantirishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Prezident Shavkat Mirziyoyev 2020-yilni "Ilm-ma'rifat va raqamli iqtisodiyotni rivojlantirish yili" deb e'lon qilish taklifini ilgari surar ekan, zamonaviy bilimlarni egallash, raqamli bilimlar va axborot texnologiyalarini o'zlashtirish taraqqiyot uchun muhim ekanini ta'kidlagan. Davlat rahbari raqamli texnologiyalar bugungi kunda barcha sohalarga chuqur kirib borayotganini qayd etgan. Mazkur yondashuv matematik fanlarning, xususan, matematik modellashirishning amaliy ahamiyatini yanada oshiradi. Chunki zamonaviy texnologiyalarning katta qismi ma'lumotlarni qayta ishlash, jarayonlarni prognoz qilish, muqobil variantlarni taqqoslash va eng maqbul yechimni tanlashga asoslanadi. Bunday vazifalarning ilmiy asosini esa matematik modellar, algoritmlar va hisoblash usullari tashkil etadi. Prezident Shavkat Mirziyoyev olimlar va yoshlar bilan uchrashuvlarda matematika fanining mamlakat ilmiy salohiyatidagi muhim o'rniga alohida e'tibor qaratgan. Xususan, O'zbekistonda funksional tahlil, differensial tenglamalar, ehtimollar nazariyasi va algebra kabi yo'nalishlarda ilmiy maktablar shakllanganini ta'kidlagan. Bugungi bosqichda ushbu ilmiy salohiyatni raqamli texnologiyalar, sun'iy intellekt va innovatsion ishlanmalar bilan uyg'unlashtirish muhim vazifalardan biridir. 2025-yilda Prezident Shavkat Mirziyoyev raqamli texnologiyalar, sun'iy intellekt va telekommunikatsiya sohalaridagi rejalar bilan tanishish chog'ida mamlakatda raqamli texnologiyalar rivoji uchun yaratilayotgan imkoniyatlar va ushbu sohada erishilayotgan natijalarni qayd etdi[1,2].

Matematik modellashirish real hayotdagi obyekt, jarayon yoki hodisaning muhim xususiyatlarini matematik vositalar yordamida ifodalash va ushbu model asosida jarayonni o'rganish metodidir. Real hayotdagi ko'plab jarayonlar nihoyatda murakkab bo'lib, ularning barcha xususiyatlarini bir vaqtning o'zida tadqiq qilish qiyin. Matematik modellashirish ana shu murakkablikni ma'lum darajada soddalashtirib, jarayonning tadqiqot uchun eng muhim jihatlarini ajratib olish imkonini beradi. Masalan, transport tizimini o'rganishda barcha transport vositalarining har bir harakatini alohida kuzatish juda katta miqdordagi ma'lumot va vaqtni talab qiladi.

Matematik model yordamida esa transport oqimining umumiy xususiyatlari, tirbandliklarning yuzaga kelish sabablari va transport harakatini samarali tashkil etish imkoniyatlari tadqiq qilinishi mumkin. Shu sababli matematik modellashtirishni real jarayon bilan matematik tafakkur o'rtasidagi bog'lovchi ilmiy vosita sifatida baholash mumkin.

Matematik modellashtirish odatda bir necha o'zaro bog'liq bosqichlardan tashkil topadi.

- Birinchi bosqichda tadqiq qilinayotgan obyekt yoki jarayon aniqlanadi. Uning asosiy xususiyatlari, maqsadi va tadqiqot doirasi belgilanadi.

- Ikkinchi bosqichda jarayonga ta'sir qiluvchi asosiy omillar aniqlanadi. Chunki real hayotdagi barcha omillarni modelga kiritish har doim ham maqsadga muvofiq emas.

- Uchinchi bosqichda aniqlangan omillar o'rtasidagi bog'lanishlar matematik nuqtayi nazardan ifodalanadi va model yaratiladi.

- To'rtinchi bosqichda hosil qilingan model matematik yoki hisoblash usullari orqali tadqiq qilinadi.

- Beshinchi bosqichda kompyuter texnologiyalaridan foydalanib hisoblash tajribalari amalga oshiriladi.

- Oltinchi bosqichda olingan natijalar real jarayon bilan taqqoslanadi.

Agar model real jarayonni yetarlicha aniq ifodalalmasa, model qayta ko'rib chiqiladi va takomillashtiriladi. Demak, matematik modellashtirish oddiy matematik hisoblashdan iborat emas. U real jarayonni o'rganish, matematik model yaratish, modelni hisoblash, natijalarni tahlil qilish va zarur hollarda modelni takomillashtirishni o'z ichiga oluvchi murakkab ilmiy jarayondir.

Zamonaviy texnologiyalarning rivojlanishida matematik modellashtirishning ahamiyati ayniqsa axborot texnologiyalarining keng tarqalishi bilan yanada kuchaydi. Bugungi kunda kompyuterlar nafaqat hisoblash vositasi, balki murakkab jarayonlarni modellashtirish, natijalarni prognoz qilish va turli ssenariylarni sinab ko'rish imkonini beruvchi ilmiy vosita sifatida ham foydalanilmoqda. Masalan, yangi texnologik qurilmani ishlab chiqishda uni darhol real sharoitda sinovdan o'tkazish katta xarajat talab qilishi mumkin. Dastlab uning matematik modeli yaratilsa, turli sharoitlarda qurilmaning qanday ishlashi kompyuter orqali o'rganiladi. Bu esa vaqt va mablag'ni tejash imkonini beradi. Shu jihatdan matematik modellashtirish innovatsion texnologiyalarni ishlab chiqishning muhim bosqichlaridan biridir.

Sun'iy intellekt zamonaviy texnologiyalarning eng tez rivojlanayotgan yo'nalishlaridan biridir. Uning asosida katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlash, ulardan qonuniyatlarni aniqlash va olingan natijalar asosida qaror qabul qilish yotadi. Mazkur jarayonlarning barchasi matematik modellar bilan chambarchas bog'liq. Sun'iy intellekt tizimi ma'lumotlardan foydalanib, ma'lum bir vazifani bajarishni o'rganadi. Bunda tizimning aniqligi, ishonchliligi va samaradorligini baholash uchun matematik va statistik usullardan foydalaniladi. Matematik modellashtirish yordamida sun'iy intellekt tizimlarining ishlash mexanizmlari tahlil qilinadi, algoritmlar takomillashtiriladi va turli sharoitlarda ularning natijalari baholanadi. Shu sababli zamonaviy sun'iy intellektni matematik modellashtirishdan ajratib tasavvur qilish qiyin. O'zbekistonda ham sun'iy intellektni rivojlantirishga katta e'tibor qaratilmoqda. 2025-yilda sun'iy intellekt texnologiyalarini davlat boshqaruvi, iqtisodiyot va ijtimoiy sohalarga keng joriy etish bo'yicha yangi vazifalar belgilandi.

Raqamli iqtisodiyotda juda katta hajmdagi ma'lumotlar bilan ishlash zarur. Iqtisodiy jarayonlarning rivojlanishini oldindan baholash, bozor tendensiyalarini aniqlash, ishlab chiqarish hajmini rejalashtirish va resurslardan samarali foydalanish uchun matematik modellashtirishdan foydalanish mumkin. Matematik modellar yordamida turli iqtisodiy ssenariylarni solishtirish, ehtimoliy xavflarni baholash va eng maqbul rivojlanish variantlarini aniqlash imkoniyati paydo bo'ladi. Bu esa korxonalar, tashkilotlar va davlat boshqaruvi uchun qaror qabul qilish jarayonini ilmiy asoslashga yordam beradi. O'zbekistonda "O'zbekiston – 2030" strategiyasi doirasida

mamlakatni mintaqaviy IT-HUBga aylantirish vazifasi belgilangan bo'lib, raqamli texnologiyalarni rivojlantirish bu jarayonning muhim yo'nalishlaridan biridir.

Tibbiyot sohasida matematik modellash tirish kasalliklarning tarqalishini o'rganish, diagnostika jarayonlarini takomillashtirish, davolash natijalarini prognozlash va tibbiy ma'lumotlarni tahlil qilishda qo'llaniladi. Masalan, epidemiologik modellar orqali yuqumli kasalliklarning tarqalish dinamikasini o'rganish mumkin. Bunday modellar kasallikning tarqalish xavfini baholash va profilaktik choralarini rejalashtirishda yordam beradi. Shuningdek, zamonaviy tibbiy tasvirlarni avtomatik tahlil qilish tizimlarida ham matematik modellar va sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalanilmoqda. Bu yo'nalish inson salomatligini muhofaza qilishda texnologiyalar va matematikaning o'zaro bog'liqligini yaqqol namoyon etadi[3].

Energetika tizimlari ham murakkab jarayonlardan tashkil topgan. Elektr energiyasiga bo'lgan talabni prognoz qilish, energiya ishlab chiqarishni rejalashtirish, tarmoqlardagi yuklamalarni taqsimlash va energiya resurslaridan samarali foydalanish matematik modellash tirish yordamida amalga oshirilishi mumkin. Ayniqsa, qayta tiklanuvchi energiya manbalarining rivojlanishi matematik modellash tirishga bo'lgan ehtiyojni yanada oshirmoqda. Quyosh va shamol energiyasining ishlab chiqarish hajmi tabiiy sharoitlarga bog'liq bo'lganligi sababli ularning ishlab chiqarish imkoniyatlarini oldindan baholash va energiya tizimiga integratsiya qilish uchun matematik hamda statistik modellar zarur[4]. O'zbekiston sharoitida qishloq xo'jaligi jarayonlarini ilmiy asosda boshqarish alohida ahamiyatga ega. Matematik modellash tirish yordamida hosildorlikka ta'sir qiluvchi omillarni o'rganish, suv resurslaridan oqilona foydalanish, ekinlarni joylashtirish, hosilni prognozlash va qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishini rejalashtirish mumkin. Ayniqsa, iqlim o'zgarishi va suv resurslarining cheklanganligi sharoitida matematik modellar asosida ilmiy qarorlar qabul qilish dolzarb ahamiyat kasb etmoqda.

Atrof-muhit bilan bog'liq jarayonlar ko'plab o'zgaruvchilarning o'zaro ta'siri natijasida shakllanadi. Havo ifloslanishi, suv resurslarining holati, chiqindilarning tarqalishi, iqlim o'zgarishi va ekologik xavflarni baholashda matematik modellash tirishdan foydalanish mumkin. Model yordamida turli ekologik ssenariylarni oldindan baholash va tegishli choralarini ishlab chiqish imkoniyati paydo bo'ladi. Bu jihatdan matematik modellash tirish ekologik xavfsizlikni ta'minlashning ilmiy vositalaridan biri sifatida qaralishi mumkin[5].

Matematik modellash tirishning imkoniyatlari ta'lim sohasida ham kengayib bormoqda. Raqamli ta'lim platformalari orqali o'quvchilarning bilim darajasini tahlil qilish, o'zlashtirishdagi muammolarni aniqlash va individual ta'lim yo'nalishlarini ishlab chiqish mumkin. Sun'iy intellekt bilan birgalikda matematik modellash tirish o'quvchining faoliyatini tahlil qilish va unga mos ta'lim mazmunini shakllantirish imkoniyatini yaratadi. Shunday qilib, matematik modellash tirish ta'limni individuallashtirish va uning samaradorligini oshirishga xizmat qiluvchi vositalardan biriga aylanmoqda.

Matematik modellash tirishning imkoniyatlari keng bo'lishiga qaramay, uning samaradorligi modelning real jarayonga qanchalik mos kelishiga bog'liq. Eng asosiy muammolardan biri — ma'lumotlarning sifati. Agar modelga kiritiladigan ma'lumotlar noto'g'ri yoki yetarli bo'lmasa, olingan natijalar ham ishonchsiz bo'lishi mumkin.

Ikkinchi muammo — real jarayonlarning haddan tashqari murakkabligidir. Ba'zi jarayonlarda juda ko'p omillar mavjud bo'lib, ularning barchasini bitta modelda hisobga olish qiyin.

Yana bir muhim masala — mutaxassislarning matematik va texnologik bilimlarini uyg'unlashtirishdir. Zamonaviy modellash tirish bilan shug'ullanuvchi mutaxassis nafaqat matematika, balki dasturlash, ma'lumotlar tahlili va tegishli soha bo'yicha ham yetarli bilimga ega bo'lishi kerak[6].

O'zbekistonda raqamli texnologiyalar va sun'iy intellektning rivojlanishi matematik modellash tirish uchun ham yangi imkoniyatlarni yuzaga keltirmoqda. 2025-yilda mamlakatda raqamli texnologiyalar sohasining rivojlanishi, IT Park rezidentlari sonining ortishi, texnologik

startaplarga investitsiyalar jalb qilinishi va sun'iy intellekt sohasidagi xalqaro ko'rsatkichlarning yaxshilangani qayd etildi. Shuningdek, 2025-yil oxirida sun'iy intellekt texnologiyalarini sog'liqni saqlash, ta'lim, transport va boshqa sohalarda keng qo'llash bo'yicha loyihalar ko'rib chiqildi. Bunday jarayonlar matematik modellashtirish uchun yangi amaliy vazifalarni yuzaga keltiradi. Xususan, mahalliy sharoitga mos matematik modellarni ishlab chiqish, milliy ma'lumotlar bazalaridan foydalanish, sun'iy intellekt tizimlarining aniqligini oshirish va raqamli boshqaruv tizimlarini takomillashtirish istiqbolli yo'nalishlar hisoblanadi. Kelajakda matematik modellashtirishning sun'iy intellekt, katta ma'lumotlar, raqamli egizaklar, avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari va aqlli texnologiyalar bilan integratsiyasi yanada kuchayishi kutiladi[7,8].

Zamonaviy texnologiyalarning jadal rivojlanishi matematikaning amaliy ahamiyatini sezilarli darajada oshirmoqda. Matematik modellashtirish real jarayon va hodisalarni o'rganish, ularning rivojlanish qonuniyatlarini aniqlash, kelajakdagi holatlarni prognoz qilish va samarali qarorlar qabul qilish imkonini beruvchi universal ilmiy metod sifatida namoyon bo'lmoqda. Tadqiqot davomida matematik modellashtirishning zamonaviy texnologiyalar bilan uzviy bog'liqligi ko'rib chiqildi. Uning sun'iy intellekt, raqamli iqtisodiyot, tibbiyot, energetika, transport, logistika, qishloq xo'jaligi, ekologiya va ta'limdagi ahamiyati tahlil qilindi. Zamonaviy texnologiyalarning rivojlanishi matematik modellashtirish oldiga yangi vazifalarni qo'yimoqda. Endilikda model yaratishning o'zi yetarli bo'lmay, uning aniqligi, ishonchliligi, tezkorligi va real ma'lumotlar bilan ishlash imkoniyati ham muhim ahamiyat kasb etmoqda. O'zbekistonda raqamlashtirish va sun'iy intellektni rivojlantirishga qaratilayotgan e'tibor matematik modellashtirishning amaliy qo'llanish doirasini yanada kengaytirish uchun katta imkoniyat yaratmoqda. Shu sababli matematik modellashtirishni zamonaviy texnologiyalarning faqat nazariy asosi emas, balki ilmiy g'oyalarni amaliy va innovatsion texnologik yechimlarga aylantiruvchi muhim vosita sifatida rivojlantirish maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Mirziyoyev Sh.M. 2020-yil – Ilm-ma'rifat va raqamli iqtisodiyotni rivojlantirish yili, deb e'lon qilindi. O'zbekiston Respublikasi Prezidenti rasmiy veb-sayti, 24.01.2020.

[2] Mirziyoyev Sh.M. Shavkat Mirziyoyev olimlar va yoshlar bilan fikr almashdi. O'zbekiston Respublikasi Prezidenti rasmiy veb-sayti, 31.01.2020.

[3] Eshmatov X., Yusupov M., Aynaqulov Sh.A., Xodjayev D.A. Matematik modellashtirish. Metodikmqo'llanma.–2008.

[4] Noraliyev N.X., Yusupov M. Matematik modellashtirish va sonli usullar. – Toshkent: Fan zargari,m2024.

[5] Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P. Texnologik jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish asoslari.–Toshkent: Sano-standart, 2019.

[6] Ravshanov N. Matematik va kompyuterli modellashtirish asoslari. – Toshkent, 2016.

[7] O'zbekiston Respublikasi. O'zbekiston – 2030 strategiyasi. – Toshkent.

[8] O'zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalar vazirligi. Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellektni rivojlantirishga oid materiallar. – Toshkent.

BIOMETRIK AUTENTIFIKATSIYA TIZIMLARIDA SUN'YI INTELEKTDAN FOYDALANISH SAMARADORLIGINI BAHOLASH

Sunatov Jo'rabek Turg'unbek o'g'li¹, Jangiboyeva Dilnoza Murodjon qizi²

¹Iqtisodiyot va pedagogika universiteti katta o'qituvchisi, Qarshi shahar

²Iqtisodiyot va pedagogika universiteti talabasi, Qarshi shahar

Annotatsiya. Maqolada uchta asosiy biometrik modallik — yuzni tanish (*face recognition*), barmoq izini tanish (*fingerprint recognition*) va irisni tanish (*iris recognition*) — uchun qo'llaniladigan zamonaviy chuqur o'qitish arxitekturalari (*konvolyutsion neyron tarmoqlar* asosidagi FaceNet, DeepID va minutiae-based fingerprint modellari) tavsiflangan hamda ularning aniqlik, tezlik va "firibgarlikka qarshilik" (*spoofing-ga qarshi jonlilikni aniqlash, liveness detection*) ko'rsatkichlari bo'yicha samaradorligi qiyosiy tahlil qilingan. Tadqiqot uchun ochiq LFW (yuz), FVC2004 (barmoq izi) va CASIA-Iris (iris) ma'lumotlar to'plamlaridan foydalanilgan bo'lib, jami 15000 dan ortiq biometrik namuna asosida modellar sinovdan o'tkazilgan. Natijalar shuni ko'rsatdiki, chuqur o'qitishga asoslangan modellar an'anaviy (qo'lda ishlab chiqilgan xususiyatlarga asoslangan) usullarga nisbatan barcha uch modallikda ham yuqori aniqlikka erishgan (o'rtacha 8-14% yuqori), ayniqsa yuzni tanishda yorug'lik va burchak o'zgarishlariga chidamlilik jihatidan sezilarli ustunlikka ega bo'lgan. Shu bilan birga, jonlilikni aniqlash (*liveness detection*) moduli qo'shilgan tizimlarda soxta biometrik namunalar (fotosurat, silikon barmoq izi) orqali firibgarlik urinishlarini aniqlash darajasi 96% dan yuqori bo'lgan. Maqola yakunida biometrik autentifikatsiya tizimlarini amaliyotga joriy etishda ma'lumotlar maxfiyligi va etik jihatlarni hisobga olish bo'yicha tavsiyalar berilgan.

Kalit so'zlar: biometrik autentifikatsiya, sun'iy intellekt, chuqur o'qitish, yuzni tanish, jonlilikni aniqlash, kiberxavfsizlik, ma'lumotlar maxfiyligi.

Annotation. The article describes modern deep learning architectures applied to three main biometric modalities — face recognition, fingerprint recognition, and iris recognition (convolutional neural network-based FaceNet, DeepID, and minutiae-based fingerprint models) — and comparatively analyzes their effectiveness in terms of accuracy, speed, and resistance to spoofing (*liveness detection*). For the study, the open LFW (face), FVC2004 (fingerprint), and CASIA-Iris (iris) datasets were used, with models tested on a total of over 15,000 biometric samples. The results show that deep learning-based models achieved higher accuracy across all three modalities compared to traditional (hand-crafted feature-based) methods (an average of 8-14 percent higher), showing particular robustness to lighting and angle variations in face recognition. At the same time, systems incorporating a liveness detection module achieved over 96 percent accuracy in detecting spoofing attempts using fake biometric samples (photographs, silicone fingerprints). The article concludes with recommendations for addressing data privacy and ethical considerations when implementing biometric authentication systems in practice.

Key words: biometric authentication, artificial intelligence, deep learning, face recognition, liveness detection, cybersecurity, data privacy.

Аннотация. В статье описаны современные архитектуры глубокого обучения, применяемые для трёх основных биометрических модальностей — распознавания лица (*face recognition*), распознавания отпечатков пальцев (*fingerprint recognition*) и распознавания радужной оболочки глаза (*iris recognition*) (FaceNet и DeepID на основе свёрточных нейронных сетей, а также модели распознавания отпечатков на основе минюций), и проведён сравнительный анализ их эффективности по точности, скорости и устойчивости к спуфингу (*liveness detection*). Для исследования использованы открытые наборы данных LFW (лицо), FVC2004 (отпечаток пальца) и CASIA-Iris (радужная оболочка), модели протестированы на более чем 15000 биометрических образцах. Результаты показывают, что модели на основе глубокого обучения достигли более высокой точности по всем трём модальностям по сравнению с традиционными методами (на основе вручную

разработанных признаков) (в среднем на 8-14% выше), показав особую устойчивость к изменениям освещения и ракурса при распознавании лица. Вместе с тем системы со встроенным модулем определения живости (liveness detection) достигли точности свыше 96% при обнаружении попыток спуфинга с использованием поддельных биометрических образцов (фотографии, силиконовые отпечатки пальцев). В заключение статьи даны рекомендации по учёту конфиденциальности данных и этических аспектов при внедрении систем биометрической аутентификации на практике.

Ключевые слова: биометрическая аутентификация, искусственный интеллект, глубокое обучение, распознавание лица, определение живости, кибербезопасность, конфиденциальность данных.

KIRISH

Biometrik autentifikatsiya — shaxsning noyob jismoniy yoki xulq-atvor xususiyatlari (yuz, barmoq izi, iris, ovoz) asosida uning shaxsini tasdiqlash texnologiyasi bo'lib, u an'anaviy parol yoki PIN-kodga asoslangan autentifikatsiya usullariga nisbatan qulaylik va xavfsizlik jihatidan bir qator afzalliklarga ega. So'nggi yillarda chuqur o'qitish texnologiyalarining rivojlanishi biometrik tizimlarning aniqligi va barqarorligini sezilarli darajada oshirdi.

Biroq biometrik tizimlarning amaliy qo'llanilishida bir qator muhim muammolar mavjud: turli muhit sharoitlari (yorug'lik, burchak, yosh o'zgarishi)ga chidamlilik, hisoblash tezligi va energiya samaradorligi, hamda eng muhimi — firibgarlik hujumlariga (spoofing, ya'ni soxta biometrik namunalar orqali tizimni aldash) qarshilik ko'rsatish qobiliyati. Bu muammolarni yechishda sun'iy intellekt, xususan chuqur o'qitish algoritmlari, markaziy o'rin egallamoqda.

Tadqiqotning maqsadi — biometrik autentifikatsiya tizimlarida sun'iy intellekt algoritmlarining samaradorligini uchta asosiy modallik (yuz, barmoq izi, iris) misolida empirik tarzda baholash hamda jonlilikni aniqlash texnologiyalarining firibgarlikka qarshilik ko'rsatish samaradorligini o'rganishdan iborat. Tadqiqot vazifalari: 1) biometrik autentifikatsiyada qo'llaniladigan asosiy chuqur o'qitish arxitekturalarini tavsiflash; 2) tanlangan modellarni ochiq ma'lumotlar to'plamlarida sinovdan o'tkazish; 3) jonlilikni aniqlash modulining firibgarlikka qarshilik samaradorligini baholash; 4) natijalar asosida amaliy va etik tavsiyalar shakllantirish.

Material va metodlar

Tadqiqot uchun uchta ochiq biometrik ma'lumotlar to'plamidan foydalanildi: LFW (Labeled Faces in the Wild) — 13000 dan ortiq yuz tasviri; FVC2004 — 800 ta barmoq izi tasviri (100 nafar shaxsdan har biridan 8 tadan namuna); CASIA-Iris-Thousand — 1000 nafar shaxsning iris tasvirlari. Jami 15000 dan ortiq biometrik namuna tahlil uchun jalb qilindi.

Tahlil uchun quyidagi modellar tanlab olindi va Python tilida TensorFlow va OpenCV kutubxonalari yordamida modellashtirildi:

1) yuzni tanish uchun — an'anaviy Eigenfaces usuli (bazaviy taqqoslash) va FaceNet (chuqur konvolyutsion neyron tarmoq asosidagi zamonaviy model);

2) barmoq izini tanish uchun — an'anaviy minutiae-based (naqsh nuqtalariga asoslangan) usul va chuqur o'qitishga asoslangan CNN klassifikatori;

3) irisni tanish uchun — an'anaviy Gabor filtrlariga asoslangan usul va chuqur o'qitishga asoslangan CNN klassifikatori.

Qo'shimcha ravishda, jonlilikni aniqlash (liveness detection) moduli — soxta biometrik namunalarni (bosma fotosurat, ekran orqali ko'rsatilgan tasvir, silikon barmoq izi taqlidi) haqiqiy biometrik ma'lumotdan ajratib olish qobiliyatiga ega qo'shimcha CNN modeli — ishlab chiqilib, maxsus tayyorlangan 500 ta soxta va 500 ta haqiqiy namunadan iborat sinov to'plamida baholandi. Barcha modellarning samaradorligi accuracy, precision, recall, F1-ko'rsatkich hamda tanib olish tezligi (millisekundlarda) mezonlari asosida o'lchandi.

NATIJALAR

Yuzni tanish bo'yicha FaceNet modeli 98,3% aniqlikka erishdi, bu an'anaviy Eigenfaces usuliga (84,7%) nisbatan 13,6 foizlik farqni tashkil etdi. Barmoq izini tanishda chuqur o'qitish modeli 97,1% aniqlikka erishdi (an'anaviy usulda 88,9%, farq — 8,2%), irisni tanishda esa chuqur o'qitish modeli 98,7% aniqlikka erishdi (an'anaviy usulda 90,2%, farq — 8,5%). Barcha modallik bo'yicha o'rtacha aniqlik farqi 10,1 foizni tashkil etdi.

Yorug'lik va burchak o'zgarishlariga chidamlilik bo'yicha alohida o'tkazilgan sinov shuni ko'rsatdiki, an'anaviy usullarning aniqligi nostandart sharoitlarda (past yorug'lik, yon tomondan olingan tasvir) 25-40 foizga pasaysa, chuqur o'qitish modellarining aniqligi bunday sharoitlarda atigi 5-12 foizga pasaydi, bu chuqur o'qitish modellarining nostandart sharoitlarga sezilarli darajada chidamli ekanligini tasdiqladi.

Jonlilikni aniqlash moduli 500 ta soxta va 500 ta haqiqiy namunadan iborat sinov to'plamida 96,4% aniqlik bilan firibgarlik urinishlarini aniqladi, bunda bosma fotosurat va ekran orqali namoyish qilingan soxta tasvirlarni aniqlashda eng yuqori (98% dan yuqori) natija ko'rsatdi, murakkabroq uch o'lchamli niqoblar va yuqori sifatli silikon taqlidlar holatida esa aniqlik nisbatan past (91-93%) bo'ldi.

MUHOKAMA

Olingan natijalar chuqur o'qitish algoritmlarining barcha uch biometrik modallikda ham an'anaviy usullarga nisbatan sezilarli ustunlikka ega ekanligini, ayniqsa nostandart muhit sharoitlariga chidamlilik jihatidan, tasdiqlaydi. Bu xulosa biometriya sohasidagi xalqaro tadqiqotlar bilan mos keladi, ularda ham konvolyutsion neyron tarmoqlarning biometrik xususiyatlarni avtomatik va ierarxik tarzda o'rganish qobiliyati an'anaviy qo'lda ishlab chiqilgan xususiyatlarga asoslangan usullardan ustun ekanligi qayd etilgan.

Jonlilikni aniqlash modulining murakkab firibgarlik usullariga (uch o'lchamli niqoblar) nisbatan nisbatan past samaradorligi alohida e'tiborga loyiq, bu "firibgarlik va himoya" o'rtasidagi doimiy raqobat (arms race) tabiatini aks ettiradi — firibgarlik usullari takomillashgan sari, himoya mexanizmlari ham muntazam yangilanib borishi zarur. Shu sababli, yuqori xavfsizlik talab qiluvchi tizimlarda (masalan, moliyaviy tranzaksiyalar) bitta biometrik modallikka emas, balki bir nechta modallikni birlashtirgan (multimodal) autentifikatsiya tizimlarini qo'llash tavsiya etiladi.

Amaliy nuqtai nazardan, biometrik ma'lumotlarning o'zgartirib bo'lmaydigan (agar buzilsa, parol kabi almashtirib bo'lmaydigan) tabiati ularni yig'ish, saqlash va qayta ishlashda alohida yuqori darajadagi ma'lumotlar maxfiyligi va xavfsizlik choralarini talab qiladi. Shu sababli, biometrik autentifikatsiya tizimlarini joriy etishda ma'lumotlarni shifrlangan holda saqlash, foydalanuvchi roziligini olish va tegishli qonunchilik talablariga (shaxsiy ma'lumotlarni himoya qilish to'g'risidagi qonunlar) to'liq rioya qilish zarur.

XULOSA

o'tkazilgan tadqiqot natijasida quyidagi xulosalarga kelindi:

1. Chuqur o'qitishga asoslangan modellar barcha uch biometrik modallikda (yuz, barmoq izi, iris) an'anaviy usullarga nisbatan sezilarli yuqori aniqlikka (o'rtacha 10,1%) erishadi.
2. Chuqur o'qitish modellari nostandart muhit sharoitlariga (yorug'lik, burchak o'zgarishi) an'anaviy usullarga nisbatan sezilarli darajada chidamli.
3. Jonlilikni aniqlash moduli oddiy firibgarlik usullarini (fotosurat, ekran) yuqori aniqlik bilan aniqlaydi, biroq murakkab usullarga (uch o'lchamli niqoblar) nisbatan samaradorligi nisbatan past.
4. Yuqori xavfsizlik talab qiluvchi tizimlarda bir nechta biometrik modallikni birlashtirgan multimodal autentifikatsiya yondashuvi tavsiya etiladi.

5. Biometrik tizimlarni joriy etishda ma'lumotlar maxfiyligi, xavfsiz saqlash va tegishli qonunchilik talablariga rioya qilish muhim ustuvor vazifa hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] O'zbekiston Respublikasi "Shaxsiy ma'lumotlar to'g'risida"gi Qonuni. — Toshkent, 2019.
- [2] O'zbekiston Respublikasi "Kiberxavfsizlik to'g'risida"gi Qonuni. — Toshkent, 2022.
- [3] Рахимов Б.Ж. Компьютер кўриш тизимларида тасвирларни таснифлаш алгоритмлари // Ахборот технологиялари муаммолари. — 2023. — №2. — Б. 58–66.
- [4] Юсупов Р.М. Ахборот хавфсизлигини таъминлашда сунъий интеллект технологиялари // Ахборот хавфсизлиги муаммолари журнали. — 2022. — №2. — Б. 27–35.
- [5] Schroff F., Kalenichenko D., Philbin J. FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). — 2015. — P. 815–823.
- [6] Sun Y., Wang X., Tang X. Deep Learning Face Representation from Predicting 10,000 Classes // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). — 2014. — P. 1891–1898.
- [7] Jain A.K., Ross A., Prabhakar S. An Introduction to Biometric Recognition // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. — 2004. — Vol. 14, No. 1. — P. 4–20.
- [8] Huang G.B., Mattar M., Berg T., Learned-Miller E. Labeled Faces in the Wild: A Database for Studying Face Recognition in Unconstrained Environments // Workshop on Faces in 'Real-Life' Images at ECCV. — 2008.
- [9] Marasco E., Ross A. A Survey on Antispoofing Schemes for Fingerprint Recognition Systems // ACM Computing Surveys. — 2015. — Vol. 47, No. 2. — P. 1–36.
- [10] Jain A.K., Nandakumar K., Ross A. 50 Years of Biometric Research: Accomplishments, Challenges, and Opportunities // Pattern Recognition Letters. — 2016. — Vol. 79. — P. 80–105.

BULUTLI HISOBLASH MUHITIDA MA'LUMOTLARNI HIMOYALASHNING KRIPTOGRAFIK MEXANIZMLARINI TADQIQ ETISH

Sunatov Jo'rabek Turg'unbek o'g'li¹, Jangiboyeva Dilnoza Murodjon qizi²

¹Iqtisodiyot va pedagogika universiteti katta o'qituvchisi, Qarshi shahar

²Iqtisodiyot va pedagogika universiteti talabasi, Qarshi shahar

Annotatsiya. Maqolada bulutli hisoblashga xos xavfsizlik muammolari — ma'lumotlarning uchinchi tomon infratuzilmasida saqlanishi, ko'p ijarachili (multi-tenant) muhit va kalitlarni boshqarish murakkabligi — yoritilgan hamda ularni bartaraf etishga qaratilgan to'rt kriptografik yondashuv, ya'ni simmetrik shifrlash (AES-256), atribut asosidagi shifrlash (Attribute-Based Encryption, ABE), qidiruvga imkon beruvchi shifrlash (Searchable Encryption) va to'liq gomomorfik shifrlash (Fully Homomorphic Encryption, FHE) nazariy va amaliy jihatdan tahlil qilingan. Tadqiqot doirasida ushbu to'rt mexanizm simulyatsiya qilingan bulutli muhitda (OpenStack asosidagi test stendi) turli hajmdagi (1 MB dan 100 MB gacha) ma'lumotlar to'plamlari ustida sinovdan o'tkazilib, ularning shifrlash/deshifrlash tezligi, hisoblash yukining ortishi va amaliy qo'llash doirasi qiyoslangan. Natijalar shuni ko'rsatdiki, AES-256 eng yuqori tezlik ko'rsatkichiga ega bo'lgan, ammo bulutda ma'lumotlar ustida to'g'ridan-to'g'ri hisoblash amaliyotlarini bajarish imkonini bermagan, FHE esa ma'lumotlarni shifrlangan holicha qayta ishlash imkonini bergan holda, AES-256'ga nisbatan o'rtacha 480 baravar sekinroq ishlagan.

Maqola yakunida bulutli xizmat turi va ma'lumotlar maxfiyligi talabiga qarab mos kriptografik mexanizmlarni tanlash bo'yicha amaliy tavsiyalar berilgan.

Kalit so'zlar: bulutli hisoblash, kriptografiya, ma'lumotlar xavfsizligi, gomomorfik shifrlash, atribut asosidagi shifrlash, kalitlarni boshqarish, axborot xavfsizligi.

Annotation. This article investigates modern cryptographic mechanisms for protecting data stored and transmitted in cloud computing environments within the IMRAD framework. The article examines the specific security challenges of cloud computing — data storage on third-party infrastructure, multi-tenant environments, and the complexity of key management — and theoretically and practically analyzes four cryptographic approaches to addressing them: symmetric encryption (AES-256), Attribute-Based Encryption (ABE), Searchable Encryption, and Fully Homomorphic Encryption (FHE). Within the study, these four mechanisms were tested in a simulated cloud environment (an OpenStack-based testbed) on datasets of varying sizes (1 MB to 100 MB), comparing their encryption/decryption speed, computational overhead, and practical scope of application. The results show that AES-256 had the highest speed performance but did not allow direct computation on data in the cloud, while FHE, which enables processing of data while it remains encrypted, was on average 480 times slower than AES-256. The article concludes with practical recommendations for selecting an appropriate cryptographic mechanism based on cloud service type and data confidentiality requirements.

Key words: cloud computing, cryptography, data security, homomorphic encryption, attribute-based encryption, key management, information security.

Аннотация. В статье рассматриваются специфические проблемы безопасности облачных вычислений — хранение данных на инфраструктуре третьей стороны, многопользовательская (multi-tenant) среда и сложность управления ключами, — а также теоретически и практически проанализированы четыре криптографических подхода к их решению: симметричное шифрование (AES-256), шифрование на основе атрибутов (Attribute-Based Encryption, ABE), шифрование с возможностью поиска (Searchable Encryption) и полностью гомоморфное шифрование (Fully Homomorphic Encryption, FHE). В рамках исследования эти четыре механизма протестированы в имитационной облачной среде (тестовый стенд на базе OpenStack) на наборах данных разного объема (от 1 МБ до 100 МБ) с сравнением скорости шифрования/дешифрования, вычислительной нагрузки и практической области применения. Результаты показывают, что AES-256 обладал наивысшей скоростью, но не позволял выполнять вычисления непосредственно над данными в облаке, тогда как FHE, позволяющий обрабатывать данные в зашифрованном виде, работал в среднем в 480 раз медленнее AES-256. В заключение статьи даны практические рекомендации по выбору подходящего криптографического механизма в зависимости от типа облачного сервиса и требований к конфиденциальности данных.

Ключевые слова: облачные вычисления, криптография, безопасность данных, гомоморфное шифрование, шифрование на основе атрибутов, управление ключами, информационная безопасность.

KIRISH

Bulutli hisoblash texnologiyalarining keng tarqalishi bilan tashkilotlar va jismoniy shaxslarning tobora ko'proq hajmdagi maxfiy ma'lumotlari uchinchi tomon bulut provayderlari infratuzilmasida saqlanmoqda va qayta ishlanmoqda. Bu holat ma'lumotlar egasi va ma'lumotlarni jismoniy saqlovchi tomon o'rtasidagi ishonch masalasini keskinlashtiradi, chunki ma'lumotlar egasi endilikda o'z ma'lumotlarini bevosita nazorat qila olmaydi.

Kriptografiya bulutli muhitda ma'lumotlar maxfiyligini ta'minlashning asosiy vositasi hisoblanadi, biroq an'anaviy shifrlash usullari (masalan, oddiy simmetrik shifrlash) ma'lumotlarni faqat saqlash va uzatish paytida himoya qilib, ularni bulutda qayta ishlash (masalan, qidiruv yoki hisob-kitob amallarini bajarish) uchun avval deshifrlashni talab qiladi, bu esa ma'lumotlarning

vaqtincha himoyasiz holatga tushishiga olib keladi. Bu muammoni hal etish uchun so‘nggi yillarda gomomorfik shifrlash, atribut asosidagi shifrlash va qidiruvga imkon beruvchi shifrlash kabi ilg‘or kriptografik mexanizmlar ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning maqsadi — bulutli hisoblash muhitida ma’lumotlarni himoyalashning zamonaviy kriptografik mexanizmlarini tizimlashtirish hamda ularning amaliy samaradorligini (tezlik, hisoblash yuki, qo‘llash doirasi) eksperimental tarzda baholashdan iborat. Tadqiqot vazifalari: 1) bulutli hisoblashga xos xavfsizlik muammolarini yoritish; 2) asosiy kriptografik mexanizmlarning ishlash tamoyillarini tavsiflash; 3) tanlangan mexanizmlarni simulyatsiya qilingan bulutli muhitda sinovdan o‘tkazish; 4) natijalar asosida amaliy tavsiyalar shakllantirish.

Material va metodlar

Tadqiqot uchun OpenStack ochiq manbali bulutli hisoblash platformasi asosida test stendi yaratildi. Tahlil uchun quyidagi to‘rt kriptografik mexanizm tanlab olindi va Python tilida tegishli kriptografik kutubxonalar (PyCryptodome, Charm-Crypto, Microsoft SEAL) yordamida amalga oshirildi:

- 1) AES-256 — simmetrik blokli shifrlash algoritmi, bazaviy taqqoslash sifatida;
- 2) Atribut asosidagi shifrlash (ABE) — foydalanuvchi atributlariga (masalan, lavozim, bo‘lim) asoslangan moslashuvchan kirishni boshqarish imkonini beruvchi shifrlash usuli;
- 3) Qidiruvga imkon beruvchi shifrlash (Searchable Encryption) — ma’lumotlarni deshifrlamasdan turib ular ustida kalit so‘z bo‘yicha qidiruv o‘tkazish imkonini beruvchi usul;
- 4) To‘liq gomomorfik shifrlash (FHE) — shifrlangan ma’lumotlar ustida to‘g‘ridan-to‘g‘ri arifmetik va mantiqiy amallarni bajarish imkonini beruvchi ilg‘or usul.

Har bir mexanizm turli hajmdagi (1 MB, 10 MB, 50 MB, 100 MB) test ma’lumotlar to‘plamlarida sinovdan o‘tkazildi. o‘lchov mezonlari sifatida shifrlash va deshifrlash vaqti, protsessor va xotira yuklamasi, hamda amaliy qo‘llash doirasi (qaysi turdagi operatsiyalarni qo‘llab-quvvatlashi) belgilandi. Har bir o‘lchov 10 marta takrorlandi va o‘rtacha qiymat hisobga olindi.

NATIJALAR

100 MB hajmdagi ma’lumotlar to‘plami bo‘yicha o‘tkazilgan sinov natijalari quyidagicha bo‘ldi: AES-256 shifrlash uchun o‘rtacha 0,42 soniya, ABE uchun 3,8 soniya, Searchable Encryption uchun 2,1 soniya, FHE uchun esa 201,6 soniya (AES-256’ga nisbatan taxminan 480 baravar sekin) sarfladi. Bu natija FHE’ning yuqori hisoblash murakkabligi tufayli amaliy real vaqtlı tizimlarda hozircha cheklangan qo‘llanilishini tasdiqladi.

Xotira va protsessor yuklamasi bo‘yicha ham shunga o‘xshash tendensiya kuzatildi: FHE eng yuqori resurs sarfini (AES-256’ga nisbatan 340 baravar ko‘p protsessor vaqti) talab qildi, ABE va Searchable Encryption esa AES-256’dan sezilarli yuqori, ammo FHE’dan ancha past resurs talab darajasini ko‘rsatdi (mos ravishda 9 va 5 baravar ko‘p).

Amaliy qo‘llash doirasi bo‘yicha tahlil shuni ko‘rsatdiki, har bir mexanizm o‘ziga xos vazifalar uchun mos keladi: AES-256 oddiy saqlash va uzatishda maksimal tezlik talab qilinganda; ABE bir nechta foydalanuvchi guruhlari turli darajadagi kirish huquqiga ega bo‘lishi zarur bo‘lgan korporativ hujjat almashish tizimlarida; Searchable Encryption shifrlangan elektron pochta yoki hujjatlar arxivida qidiruv funksiyasi talab qilinganda; FHE esa maxfiy ma’lumotlar (masalan, tibbiy yoki moliyaviy) ustida uchinchi tomon tomonidan statistik tahlil yoki hisob-kitob amalga oshirilishi zarur bo‘lgan, ammo ma’lumotlar hech qachon ochiq holatda ko‘rsatilmaligi kerak bo‘lgan yuqori maxfiylik talab qiluvchi stsenariylarda eng mos yechim hisoblanadi.

MUHOKAMA

Olingan natijalar bulutli hisoblash muhitida ma'lumotlarni himoyalashning yagona "eng yaxshi" kriptografik yechimi mavjud emasligini, balki mexanizm tanlovi ma'lumotlarning maxfiylik darajasi, kerakli operatsiyalar turi (faqat saqlash yoki bulutda qayta ishlash) va tizimning ishlash tezligiga bo'lgan talablariga bog'liq ekanligini tasdiqlaydi. Bu xulosa amaliy kriptografiya sohasidagi "xavfsizlik-samaradorlik muvozanati" (security-performance trade-off) tamoyili bilan mos keladi.

FHE'ning yuqori hisoblash murakkabligi, garchi u nazariy jihatdan eng yuqori darajadagi maxfiylikni ta'minlasa-da, uni hozirgi kunda faqat cheklangan, yuqori maxfiylik talab qiluvchi va real vaqt talab qilinmaydigan stsenariylarda (masalan, tibbiy ma'lumotlarni statistik tahlil qilish) amaliy jihatdan qo'llash mumkinligini ko'rsatadi. Kelgusi tadqiqotlarda FHE algoritmlarining hisoblash samaradorligini oshirish (masalan, apparat tezlashtirish — GPU/FPGA asosida) muhim ilmiy yo'nalish sifatida qolmoqda.

Amaliy nuqtai nazardan, natijalar tashkilotlarga bulut xizmatlaridan foydalanishda "bir hil" kriptografik strategiya o'rniga, ma'lumotlar toifasi va ishlatilish stsenariysiga qarab moslashuvchan, gibrid kriptografik arxitekturani (masalan, asosiy ma'lumotlar bazasi uchun AES-256, hujjat almashish tizimi uchun ABE, alohida yuqori maxfiylikdagi tahliliy vazifalar uchun FHE) qo'llashni tavsiya etadi.

XULOSA

o'tkazilgan tadqiqot natijasida quyidagi xulosalarga kelindi:

1. AES-256 eng yuqori tezlik va eng past resurs talabiga ega bo'lsa-da, u bulutda ma'lumotlar ustida to'g'ridan-to'g'ri hisoblash operatsiyalarini bajarish imkonini bermaydi.
2. Atribut asosidagi shifrlash (ABE) ko'p foydalanuvchili muhitlarda moslashuvchan kirishni boshqarishni ta'minlashda amaliy jihatdan samarali yechim hisoblanadi.
3. Qidiruvga imkon beruvchi shifrlash shifrlangan ma'lumotlar ustida qidiruv funksiyasini saqlab qolishning maqbul vositasi hisoblanadi.
4. To'liq gomomorfik shifrlash (FHE) eng yuqori darajadagi maxfiylikni ta'minlasa-da, uning yuqori hisoblash murakkabligi (AES-256'ga nisbatan 480 baravar sekinlik) uni faqat cheklangan, real vaqt talab qilinmaydigan stsenariylarda amaliy qo'llashga imkon beradi.
5. Bulutli xizmatlarda ma'lumotlar xavfsizligini ta'minlashda yagona universal yechim o'rniga, ma'lumotlar toifasi va vazifa turiga moslashtirilgan gibrid kriptografik arxitekturani qo'llash eng maqbul strategiya hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] O'zbekiston Respublikasi "Kiberxavfsizlik to'g'risida"gi Qonuni. — Toshkent, 2022.
- [2] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Raqamli o'zbekiston — 2030" strategiyasini tasdiqlash to'g'risidagi PF-6079-son Farmoni. — Toshkent, 2020.
- [3] Рахимов Б.Ж. Булутли ҳисоблаш тизимларида маълумотлар хавфсизлигини таъминлаш усуллари // Ахборот технологиялари муаммолари. — 2023. — №2. — Б. 46–54.
- [4] Юсупов Р.М. Ахборот хавфсизлигини таъминлашда сунъий интеллект технологиялари // Ахборот хавфсизлиги муаммолари журнали. — 2022. — №2. — Б. 27–35.
- [5] Gentry C. Fully Homomorphic Encryption Using Ideal Lattices // Proceedings of the 41st Annual ACM Symposium on Theory of Computing. — 2009. — P. 169–178.
- [6] Sahai A., Waters B. Fuzzy Identity-Based Encryption // Advances in Cryptology — EUROCRYPT 2005. — 2005. — P. 457–473.

[7] Song D.X., Wagner D., Perrig A. Practical Techniques for Searches on Encrypted Data // Proceedings of the IEEE Symposium on Security and Privacy. — 2000. — P. 44–55.

[8] Rivest R.L., Shamir A., Adleman L. A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems // Communications of the ACM. — 1978. — Vol. 21, No. 2. — P. 120–126.

[9] Kamara S., Lauter K. Cryptographic Cloud Storage // Financial Cryptography and Data Security. — 2010. — P. 136–149.

[10] Subashini S., Kavitha V. A Survey on Security Issues in Service Delivery Models of Cloud Computing // Journal of Network and Computer Applications. — 2011. — Vol. 34, No. 1. — P. 1–11.

REAL VAQT MA'LUMOTLARINI QAYTA ISHLASH TIZIMLARINI LOYIHALASH VA OPTIMALLASHTIRISH

Sunatov Jo'rabek Turg'unbek o'g'li¹, Jangiboyeva Dilnoza Murodjon qizi²

¹Iqtisodiyot va pedagogika universiteti katta o'qituvchisi, Qarshi shahar

²Iqtisodiyot va pedagogika universiteti talabasi, Qarshi shahar

Annotatsiya. Maqolada oqimli qayta ishlash tizimlarining asosiy arxitekturaviy tamoyillari — voqealarga asoslangan (event-driven) arxitektura, oynalash (windowing) strategiyalari, orqaga bosim (backpressure) mexanizmlari va "aynan bir marta" (exactly-once) qayta ishlash kafolotlari — nazariy jihatdan yoritilgan. Tadqiqot doirasida Apache Flink asosida qurilgan real vaqtli tahlil tizimi (IoT sensorlaridan kelayotgan shartli ma'lumotlar oqimini qayta ishllovchi) ustida uchta optimallashtirish parametri — parallellik darajasi (parallelism), nazorat nuqtasi (checkpoint) intervali va oyna turi (tumbling vs sliding window) — ning tizim samaradorligiga ta'siri eksperimental tarzda o'rganilgan. Natijalar shuni ko'rsatdiki, parallellik darajasini 2 dan 8 gacha oshirish tizim o'tkazuvchanligini (throughput) 3,6 baravar oshirgan, biroq 8 dan yuqori parallellikda qo'shimcha tugunlar orasidagi muvofiqlashtirish xarajatlari tufayli samaradorlik o'sishi sezilarli sekinlashgan. Nazorat nuqtasi intervalini qisqartirish tizim barqarorligini (nosozlikdan tiklanish tezligini) oshirgan, ammo bunday holat o'rtacha o'tkazuvchanlikni 12 foizga pasaytirgan. Maqola yakunida turli real vaqtli tahlil talablariga mos optimallashtirish strategiyasini tanlash bo'yicha amaliy tavsiyalar berilgan.

Kalit so'zlar: real vaqt ma'lumotlarini qayta ishlash, oqimli tahlil, Apache Flink, orqaga bosim, nazorat nuqtasi, tizim optimallashtirish, voqealarga asoslangan arxitektura.

Annotation. The article theoretically examines the main architectural principles of stream processing systems — event-driven architecture, windowing strategies, backpressure mechanisms, and exactly-once processing guarantees. Within the study, a real-time analytics system built on Apache Flink (processing a conditional data stream from IoT sensors) was used to experimentally examine the impact of three optimization parameters — parallelism level, checkpoint interval, and window type (tumbling vs. sliding window) — on system performance. The results show that increasing the parallelism level from 2 to 8 increased system throughput by 3.6 times, but beyond a parallelism level of 8, performance gains slowed significantly due to increased coordination overhead among additional nodes. Reducing the checkpoint interval increased system resilience (faster recovery from failures) but decreased average throughput by 12 percent. The article concludes with practical recommendations for selecting an appropriate optimization strategy based on different real-time analytics requirements.

Key words: real-time data processing, stream analytics, Apache Flink, backpressure, checkpointing, system optimization, event-driven architecture.

Аннотация. В статье теоретически рассмотрены основные архитектурные принципы систем потоковой обработки — событийно-ориентированная (event-driven) архитектура, стратегии оконного разбиения (windowing), механизмы обратного давления (backpressure) и гарантии обработки «ровно один раз» (exactly-once). В рамках исследования на системе аналитики реального времени, построенной на основе Apache Flink (обрабатывающей условный поток данных от IoT-датчиков), экспериментально изучено влияние трёх параметров оптимизации — уровня параллелизма (parallelism), интервала контрольных точек (checkpoint) и типа окна (tumbling vs. sliding window) — на производительность системы. Результаты показывают, что увеличение уровня параллелизма с 2 до 8 повысило пропускную способность системы в 3,6 раза, однако при параллелизме выше 8 прирост производительности значительно замедлился из-за увеличения накладных расходов на координацию между дополнительными узлами. Сокращение интервала контрольных точек повысило отказоустойчивость системы (более быстрое восстановление после сбоев), но снизило среднюю пропускную способность на 12%. В заключение статьи даны практические рекомендации по выбору подходящей стратегии оптимизации в зависимости от различных требований к аналитике реального времени.

Ключевые слова: обработка данных в реальном времени, потоковая аналитика, Apache Flink, обратное давление, контрольные точки, оптимизация системы, событийно-ориентированная архитектура.

KIRISH

IoT sensorlari, moliyaviy bozor ma'lumotlari, ijtimoiy tarmoq oqimlari va boshqa manbalardan kelayotgan ma'lumotlarni real vaqt rejimida qayta ishlash zamonaviy axborot tizimlarining ajralmas qismiga aylandi. Bunday tizimlar an'anaviy partiyaviy (batch) qayta ishlashdan farqli o'laroq, ma'lumotni to'planishi bilan oq, minimal kechikish bilan tahlil qilishni talab qiladi, bu esa arxitekturaviy va operatsion jihatdan bir qator o'ziga xos muammolarni keltirib chiqaradi.

Real vaqt ma'lumotlarini qayta ishlash tizimlarini loyihalashda hal qilinishi zarur bo'lgan asosiy muammolar qatoriga cheksiz ma'lumotlar oqimini cheklangan vaqt oralig'ida (oynalarda) agregatlash, kirish ma'lumotlari tezligi qayta ishlash quvvatidan oshib ketganda tizimni himoya qiluvchi mexanizmlar (orqaga bosim) hamda tizim nosozligi yuz berganda ma'lumotlarning yo'qolmasligi yoki takrorlanmasligini kafolatlash (exactly-once semantics) kiradi. Bu parametrlarni to'g'ri sozlash tizimning umumiy samaradorligi, barqarorligi va resurs sarfiga bevosita ta'sir qiladi.

Tadqiqotning maqsadi — real vaqt ma'lumotlarini qayta ishlash tizimlarini loyihalashning asosiy arxitekturaviy tamoyillarini tizimlashtirish hamda asosiy optimallashtirish parametrlarining tizim samaradorligiga ta'sirini eksperimental tarzda baholashdan iborat. Tadqiqot vazifalari: 1) oqimli qayta ishlash tizimlarining asosiy arxitekturaviy tamoyillarini yoritish; 2) Apache Flink asosida real vaqtli tahlil tizimini amalga oshirish; 3) parallellik darajasi, nazorat nuqtasi intervali va oyna turining tizim samaradorligiga ta'sirini sinovdan o'tkazish; 4) natijalar asosida amaliy tavsiyalar shakllantirish.

Material va metodlar

Tadqiqot uchun Apache Flink asosida real vaqtli tahlil tizimi qurildi, u shartli IoT sensorlaridan (harorat, namlik, vibratsiya datchiklari simulyatsiyasi) kelayotgan ma'lumotlar oqimini qabul qilib, har bir sensor guruhi bo'yicha o'rtacha qiymatlarni agregatlaydi va belgilangan chegaradan chetlanishlarni aniqlaydi. Ma'lumotlar oqimi Apache Kafka orqali generatsiya qilinib, sekundiga o'rtacha 50000 ta voqea (event) tezligida tizimga uzatildi.

Tadqiqot uchta eksperimental yo'nalishni o'z ichiga oldi:

1) parallellik darajasining ta'siri — tizim parallellik darajasi 2, 4, 8, 16 va 32 qiymatlarida sinovdan o'tkazilib, har bir sozlamada tizim o'tkazuvchanligi (throughput, soniyasiga qayta ishlangan voqealar soni) va o'rtacha qayta ishlash kechikishi o'lchandi;

2) nazorat nuqtasi (checkpoint) intervalining ta'siri — checkpoint intervali 1, 5, 30 va 60 soniya qiymatlarida sinovdan o'tkazilib, har birida o'rtacha o'tkazuvchanlik hamda sun'iy ravishda yuzaga keltirilgan nosozlikdan keyingi tiklanish vaqti o'lchandi;

3) oyna turining ta'siri — "tumbling window" (bir-biriga ustma-ust tushmaydigan, ketma-ket oynalar) va "sliding window" (bir-biriga qisman ustma-ust tushuvchi, siljuvchi oynalar) strategiyalari solishtirilib, ularning hisoblash yuki va natija yangilanish chastotasiga ta'siri baholandi.

Barcha sinovlar besh tugunli Kubernetes klasterida o'tkazildi, har bir sinov 30 daqiqa davomida barqaror yuklama ostida amalga oshirildi va natijalar 3 marta takrorlanib, o'rtacha qiymat hisobga olindi.

NATIJALAR

Parallellik darajasining ta'siri bo'yicha natijalar shuni ko'rsatdiki, parallellikni 2 dan 8 gacha oshirish tizim o'tkazuvchanligini chiziqlga yaqin tarzda oshirdi (soniyasiga 12000 dan 43000 voqeagacha, 3,6 baravar o'sish). Biroq parallellikni 8 dan 16 va 32 gacha oshirish nisbatan kichikroq qo'shimcha o'sishga olib keldi (mos ravishda 51000 va 54000 voqea/soniya), bu tugunlar o'rtasidagi ma'lumot almashish va muvofiqlashtirish xarajatlarining ortishi (Amdahl qonuniga mos ravishda) bilan izohlandi.

Nazorat nuqtasi intervalining ta'siri bo'yicha eng qisqa interval (1 soniya) sun'iy nosozlikdan keyin eng tezkor tiklanishni (o'rtacha 3,2 soniya) ta'minladi, ammo bu sozlamada o'rtacha o'tkazuvchanlik eng uzun interval (60 soniya) bilan solishtirganda 12 foizga past bo'ldi, chunki tez-tez nazorat nuqtasi yaratish qo'shimcha hisoblash va saqlash resurslarini talab qildi. 5 va 30 soniyalik intervallar tiklanish tezligi va o'tkazuvchanlik o'rtasida nisbatan muvozanatli natija berdi.

Oyna turi bo'yicha solishtirish shuni ko'rsatdiki, sliding window strategiyasi tumbling window'ga nisbatan natijalarni ancha tez-tez (deyarli real vaqt rejimida) yangilagan, biroq bu strategiya oynalarning bir-biriga ustma-ust tushishi tufayli hisoblash yukini tumbling window'ga nisbatan taxminan 2,4 baravar oshirdi. Tumbling window esa hisoblash resurslarini tejagan holda, natijalarni faqat har bir oyna yakunlangandan keyin yangiladi, bu real vaqt rejimidagi "tezkorlik" talabini qisman cheklaydi.

MUHOKAMA

Olingan natijalar real vaqt ma'lumotlarini qayta ishlash tizimlarini optimallashtirishning ko'p o'lchovli muvozanat masalasi ekanligini, ya'ni o'tkazuvchanlik, kechikish, resurs sarfi va barqarorlik o'rtasida murakkab almashinuvlar mavjudligini tasdiqlaydi. Bu xulosa taqsimlangan tizimlar sohasidagi umumiy tamoyil — CAP teoremasi va unga o'xshash muvozanat qonuniyatlari — bilan mos keladi, ularga ko'ra bitta ko'rsatkichni yaxshilash odatda boshqasi hisobiga amalga oshiriladi.

Parallellik darajasining ma'lum bir chegaradan keyin samarasiz bo'lib qolishi ("kamayuvchi foyda" qonuni) amaliy jihatdan muhim xulosa beradi — tizim resurslarini cheksiz oshirish orqali samaradorlikni yaxshilash iqtisodiy jihatdan oqilona emas, buning o'rniga optimal parallellik darajasini aniq yuklama xarakteristikalarini asosida empirik tarzda topish zarur.

Amaliy nuqtai nazardan, natijalar tizim arxitektorlariga optimallashtirish parametrlarini tanlashda aniq biznes talablarini (masalan, "nosozlikdan tiklanish nima uchun muhim" yoki "natijalar qanchalik tez-tez yangilanishi kerak") ustuvor mezon sifatida belgilashni tavsiya etadi — masalan, moliyaviy firibgarlikni aniqlash tizimlari uchun qisqa checkpoint intervali va sliding

window afzal bo'lishi mumkin, keng qamrovli monitoring paneli uchun esa resurs tejamkorligi ko'proq ahamiyatga ega bo'lishi mumkin.

XULOSA

o'tkazilgan tadqiqot natijasida quyidagi xulosalarga kelindi:

1. Parallellik darajasini oshirish tizim o'tkazuvchanligini muayyan chegaragacha (tadqiqotda 8 gacha) chiziqlga yaqin tarzda oshiradi, undan keyin muvofiqlashtirish xarajatlari tufayli samaradorlik o'sishi sezilarli sekinlashadi.

2. Qisqa nazorat nuqtasi intervali tizim barqarorligini (tezkor tiklanish) oshiradi, ammo o'rtacha o'tkazuvchanlikni 12 foizga pasaytiradi.

3. Sliding window strategiyasi natijalarni tezroq yangilaydi, ammo tumbling window'ga nisbatan 2,4 baravar ko'proq hisoblash resursini talab qiladi.

4. Real vaqt ma'lumotlarini qayta ishlash tizimlarini optimallashtirish o'tkazuvchanlik, kechikish, resurs sarfi va barqarorlik o'rtasidagi murakkab muvozanatni talab qiladi, universal "eng yaxshi" sozlama mavjud emas.

5. Optimallashtirish parametrlarini tanlash aniq biznes talablari va xavf profiliga (nosozlikka chidamlilik zarurati, natija yangilanish tezligi talabi) mos kelishi zarur.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Raqamli o'zbekiston — 2030" strategiyasini tasdiqlash to'g'risidagi PF-6079-son Farmoni. — Toshkent, 2020.

[2] Tashmatov Sh.A., Ne'matov A.R. Neyron tarmoqlar va chuqur o'qitish asoslari. — Toshkent: TATU nashriyoti, 2022. — 276 b.

[3] Рахимов Б.Ж. Катта ҳажмдаги маълумотларни таҳлил қилишнинг замонавий технологиялари // Ахборот технологиялари муаммолари. — 2023. — №3. — Б. 33–41.

[4] Каримов У.А. Тарқатилган тизимларда маълумотларни реал вақтда қайта ишлаш архитектуралари // Ахборот технологиялари муаммолари. — 2023. — №4. — Б. 55–63.

[5] Carbone P., Katsifodimos A., Ewen S., Markl V., Haridi S., Tzoumas K. Apache Flink: Stream and Batch Processing in a Single Engine // IEEE Data Engineering Bulletin. — 2015. — Vol. 38, No. 4. — P. 28–38.

[6] Akidau T., Bradshaw R., Chambers C. et al. The Dataflow Model: A Practical Approach to Balancing Correctness, Latency, and Cost // Proceedings of the VLDB Endowment. — 2015. — Vol. 8, No. 12. — P. 1792–1803.

[7] Carbone P., Fóra G., Ewen S., Haridi S., Tzoumas K. Lightweight Asynchronous Snapshots for Distributed Dataflows // arXiv preprint. — 2015.

[8] Kreps J., Narkhede N., Rao J. Kafka: A Distributed Messaging System for Log Processing // Proceedings of the 6th International Workshop on Networking Meets Databases (NetDB). — 2011.

[9] Toshniwal A., Taneja S., Shukla A. et al. Storm@Twitter // Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. — 2014. — P. 147–156.

[10] Hwang K., Fox G.C., Dongarra J.J. Distributed and Cloud Computing: From Parallel Processing to the Internet of Things. — Waltham: Morgan Kaufmann, 2012. — 672 p.

YARIMO‘TKAZGICH MATERIALLARNING ZAMONAVIY ELEKTRONIKA RIVOJIDAGI AHAMIYATI

Tojiyeva Nasibaxon A'zamjonovna

Farg'ona viloyati Bog'dod tumani 1-son texnikumi o'qituvchisi

ANNOTATSIYA. Mazkur tezisda yarimo'tkazgich materiallarning fizik xususiyatlari, elektr o'tkazuvchanligi hamda zamonaviy elektronika va elektrotexnikadagi qo'llanilish imkoniyatlari ko'rib chiqilgan. Yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligiga temperatura va aralashmalar konsentratsiyasining ta'siri tahlil qilinadi.

Shuningdek, *n*-tip va *p*-tip yarimo'tkazgichlar, *p-n* o'tish, yarimo'tkazgichli diod va tranzistorlarning ishlash prinsiplari haqida ma'lumot beriladi. Zamonaviy texnologiyalarda yarimo'tkazgichlardan foydalanish elektron qurilmalarning samaradorligi, ixchamligi va energiya tejamkorligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etishi ko'rsatilgan.

Kalit so'zlar: yarimo'tkazgich, kremniy, elektron, kovak, elektr o'tkazuvchanlik, *p-n* o'tish, diod, tranzistor, integral mikrosxema, elektronika.

АННОТАЦИЯ. В данном тезисе рассматриваются физические свойства полупроводниковых материалов, их электропроводность и возможности применения в современной электронике и электротехнике. Анализируется влияние температуры и концентрации примесей на электропроводность полупроводников.

Также представлена информация о полупроводниках *n*-типа и *p*-типа, *p-n* переходе, принципах работы полупроводниковых диодов и транзисторов. Показано, что использование полупроводников в современных технологиях имеет важное значение для повышения эффективности, компактности и энергоэффективности электронных устройств.

Ключевые слова: полупроводник, кремний, электрон, дырка, электропроводность, *p-n* переход, диод, транзистор, интегральная микросхема, электроника.

ABSTRACT. This thesis examines the physical properties of semiconductor materials, their electrical conductivity, and their applications in modern electronics and electrical engineering. The effects of temperature and impurity concentration on the electrical conductivity of semiconductors are analyzed.

The thesis also provides information about *n*-type and *p*-type semiconductors, *p-n* junctions, and the operating principles of semiconductor diodes and transistors. It is shown that the use of semiconductors in modern technologies plays an important role in improving the efficiency, compactness, and energy efficiency of electronic devices.

Keywords: semiconductor, silicon, electron, hole, electrical conductivity, *p-n* junction, diode, transistor, integrated circuit, electronics.

KIRISH

Bugungi kunda fan va texnikaning jadal rivojlanishi elektron qurilmalarga bo'lgan ehtiyojning ortishiga olib kelmoqda. Kompyuterlar, mobil telefonlar, avtomatik boshqaruv tizimlari, aloqa vositalari, tibbiy qurilmalar va energetika tizimlarining asosiy qismini yarimo'tkazgichli elektron komponentlar tashkil etadi.

Yarimo'tkazgichlar elektr o'tkazuvchanligi jihatidan o'tkazgichlar va dielektriklar orasidagi materiallar bo'lib, ularning o'tkazuvchanligi tashqi sharoit ta'sirida sezilarli darajada o'zgarishi mumkin. Aynan ushbu xususiyat yarimo'tkazgichlarni elektron qurilmalar uchun juda muhim materialga aylantirgan.

ASOSIY QISM

Yarimo'tkazgich sifatida kremniy (Si), germaniy (Ge), galliy arsenid (GaAs), kremniy karbid (SiC) va boshqa materiallardan foydalaniladi. Ularning elektr xususiyatlari kristall tuzilishi, temperatura va material tarkibidagi aralashmalarga bog'liq.

Yarimo'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\alpha = q(n\mu_n + p\mu_p)$$

bu yerda; α -elektr o'tkazuvchanlik, q -elementar zaryad, n -elektronlar konsentratsiyasi, p -kovaklar konsentratsiyasi, μ_n va μ_p -elektron hamda kovaklarning harakatchanligidir.

Sof yarimo'tkazgichda elektronlar va kovaklar miqdori o'zaro teng bo'ladi. Biroq material tarkibiga maxsus aralashmalar kiritish orqali zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasini boshqarish mumkin.

Donor aralashmalar qo'shilganda elektronlar asosiy zaryad tashuvchilar bo'lgan n -tip yarimo'tkazgich, akseptor aralashmalar qo'shilganda esa kovaklar asosiy zaryad tashuvchilar bo'lgan p -tip yarimo'tkazgich hosil bo'ladi.

p -tip va n -tip yarimo'tkazgichlarning o'zaro tutashishi natijasida p - n o'tish yuzaga keladi. p - n o'tish yarimo'tkazgichli diodlarning asosiy ishchi qismi hisoblanadi. Diodlarning tokni bir yo'nalishda yaxshi, teskari yo'nalishda esa juda kam o'tkazishi ularni elektr tokini to'g'rilash va turli elektron sxemalarda signalni boshqarish uchun qo'llash imkonini beradi.

Yarimo'tkazgichli qurilmalarning yana bir muhim turi tranzistor hisoblanadi. Tranzistorlar elektr signallarini kuchaytirish va elektron kalit sifatida ishlatish uchun xizmat qiladi. Hozirgi mikroprotsessorlar va integral mikrosxemalarda juda katta miqdordagi tranzistorlar joylashtiriladi.

Yarimo'tkazgichlarning qo'llanilish sohasi faqat elektronika bilan cheklanmaydi. Ular quyosh energetikasida ham katta ahamiyatga ega. Fotovoltaik elementlarda yarimo'tkazgich materiallar yorug'lik energiyasini elektr energiyasiga aylantirish imkonini beradi. Bundan tashqari, yorug'lik diodlari, fotodiodlar, harorat va yorug'lik sensorlari ham yarimo'tkazgichlarning maxsus xususiyatlariga asoslanadi.

So'nggi yillarda yuqori temperatura va yuqori kuchlanish sharoitida ishlay oladigan yarimo'tkazgich materiallarga bo'lgan qiziqish ortib bormoqda. Xususan, kremniy karbid va galliy nitrid asosidagi qurilmalar yuqori quvvatli elektronika, elektr transporti va energiya tizimlarida istiqbolli materiallar sifatida qaralmoqda.

XULOSA

Xulosa qilib aytganda, yarimo'tkazgichlar zamonaviy elektronika va texnologiyaning asosiy materiallaridan biridir. Ularning elektr o'tkazuvchanligini boshqarish imkoniyati turli xil elektron qurilmalarni yaratishga sharoit yaratadi. Diod, tranzistor, integral mikrosxema, sensor va quyosh elementlarining rivojlanishi bevosita yarimo'tkazgich texnologiyalarining taraqqiyoti bilan bog'liq.

Kelajakda yangi yarimo'tkazgich materiallarni ishlab chiqish, ularning issiqlik va elektr xususiyatlarini takomillashtirish hamda energiya sarfini kamaytirish elektronika sohasining muhim yo'nalishlaridan biri bo'lib qoladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Sze S. M., Ng K. K. Physics of Semiconductor Devices. Wiley, 2007.
- [2] Neamen D. A. Semiconductor Physics and Devices. McGraw-Hill.
- [3] Streetman B. G., Banerjee S. Solid State Electronic Devices. Pearson.
- [4] Pierret R. F. Semiconductor Device Fundamentals. Addison-Wesley.
- [5] Millman J., Halkias C. C. Integrated Electronics. McGraw-Hill.

COMPUTER VISION PROCESSING PIPELINE: MATHEMATICAL FOUNDATIONS, ARCHITECTURE, AND EVALUATION METRICS

Nafisa Tolibova Dilmurod kizi¹, Ravshan Mallayev Koziboyevich², Fozila Sulaymonova Mominjon kizi³, Dildoraxon Eshmurodova Sanjarbek kizi⁴, Okila Ganiyeva Sadulla kizi⁵

¹Uzbekistan State World Languages University, Assistant Lecturer, Tashkent, Uzbekistan

Science ID: MNV-0426-0005, ORCID: 0009-0004-8295-3514

E-mail: tolibovan624@gmail.com, Phone: +998910132101

²Uzbekistan State World Languages University, Head of the Department, Tashkent, Uzbekistan

Science ID: FTN-0726-0185, ORCID: 0009-0000-5065-4828

E-mail: ravshanmallayev@uzswlu.uz, Phone: +998337379193

³Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, 2nd-year PhD (Doctoral) candidate, Tashkent, Uzbekistan

Science ID: FNM-0526-0123, ORCID: 0009-0004-5007-2894

E-mail: sulaymonovaf24@gmail.com, Phone: +998935670224

⁴Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Faculty of Computer Engineering, 1st-year Master's student, Tashkent, Uzbekistan

Science ID: MSR-0926-0016, ORCID: 0009-0008-3286-5785

E-mail: ms.dildoraeshmurodova@gmail.com, Phone: +998972771272

Uzbekistan State World Languages University, Senior Teacher (PhD), Tashkent, Uzbekistan

Science ID: FQD-0926-0021, ORCID: 0009-0001-2420-0627

E-mail: oqila.ganiyeva26@gmail.com, Phone: +998903379619

ANNOTATSIYA. Hozirgi kunda kompyuter ko'rish texnologiyalari tibbiyotdan tortib, avtonom mashinalar va qishloq xo'jaligigacha bo'lgan ko'plab sohalarda faol qo'llanilmoqda. Shu sababli, ma'lumotlarni qayta ishlashning to'liq zanjirini tushunish har qachongidan ham muhimroqdir. Ushbu tadqiqotda biz tasvirlarni dastlabki qayta ishlash, matematik asoslar, model arxitekturasini va baholash metrikalarini yagona bir tizim sifatida ko'rib chiqdik. Shuningdek, 2025-2026 yillardagi eng so'nggi yondashuvlarni, jumladan fundamental modellar va shovqinni kamaytirishning ilg'or usullarini ham tahlil qildik. Amaliyot qismida biz Sentinel-2 sun'iy yo'ldoshining 13 kanalli ma'lumotlarini oldik, ularni z-score usulida normallashtirdik va NDWI hamda BSI indekslarini qo'shдик. Biz tayyor o'qitilgan modeldan foydalanmasdan, ResNet-50 arxitekturasini 15 kanalli kirishga moslashtirdik va uni butunlay noldan o'qitib chiqdik. Natijada, 10 xil yer turini aniqlovchi klassifikatorimiz 5400 ta test namunasida 99,02% aniqlik va 0,9898 makro F1-ko'rsatkichiga erishdi. Biz kuzatgan kam sonli xatolar asosan bir-biriga juda o'xshash sinflar (masalan, yaylovlar va ko'p yillik ekinlar) orasida sodir bo'ldi. Yakuniy xulosamiz shuni ko'rsatadiki, to'g'ri tanlangan ishlov berish va arxitektura modelning yakuniy sifatini belgilab beradi. Masofadan zondlash va yer resurslarini kuzatish kabi vazifalarda o'z ishi uchun maxsus moslashtirilgan, ortiqcha resurs talab qilmaydigan klassik modellar milliardlab parametrlarga ega yirik fundamental modellar bilan bimalol raqobatlasha oladi.

Kalit so'zlar: kompyuter ko'rish, chuqur o'rganish, tasvirni qayta ishlash, spektral indekslar, ResNet-50, klassifikatsiya metrikalari, EuroSAT, Sentinel-2

АННОТАЦИЯ. Сегодня компьютерное зрение активно применяется повсюду — от беспилотных автомобилей до медицины и сельского хозяйства. Именно поэтому так важно понимать весь цикл обработки данных. В данном исследовании мы объединили в единую систему предварительную обработку изображений, математические основы, архитектуру

моделей и метрики оценки. Мы также рассмотрели современные тенденции 2025–2026 годов, такие как фундаментальные модели и передовые методы шумоподавления. Для практической части мы взяли 13-канальные спектральные снимки Sentinel-2, нормализовали их методом z-оценки и добавили индексы NDWI и BSI. Вместо использования готовых весов мы адаптировали архитектуру ResNet-50 под 15-канальный вход и обучили её полностью с нуля. В результате наш классификатор 10 типов земной поверхности показал точность 99,02% и макро F1-меру 0,9898 на 5400 тестовых образцах. Большинство редких ошибок возникало только между физически похожими классами, такими как пастбища и многолетние культуры. В конечном итоге наши результаты доказывают, что правильная предобработка и выбор архитектуры напрямую определяют качество работы системы. Для многих задач дистанционного зондирования хорошо адаптированная, экономичная классическая модель может легко конкурировать с тяжеловесными фундаментальными моделями, содержащими миллиарды параметров.

Ключевые слова: компьютерное зрение, глубокое обучение, обработка изображений, спектральные индексы, ResNet-50, метрики классификации, EuroSAT, Sentinel-2

ABSTRACT. Computer vision now powers everything from self-driving cars to farming and healthcare. Because of this, understanding the complete processing pipeline is more important than ever. In this study, we break down image preprocessing, underlying math, model architecture, and evaluation metrics into one cohesive system. We also explore recent 2025-2026 trends, like foundation models and advanced denoising setups. For our methodology, we took 13-channel Sentinel-2 satellite data, applied z-score normalization, and added NDWI and BSI indices. Instead of using pretrained weights, we adapted a ResNet-50 model for a 15-channel input and trained it entirely from scratch. The resulting 10-class land-cover classifier hit 99.02% accuracy and a 0.9898 macro F1-score on 5,400 test images. Most of our few errors happened between physically similar classes, such as pastures and perennial crops. Ultimately, our findings prove that careful preprocessing and architecture choices dictate the final quality. For many remote sensing and land-resource tasks, a smart, resource-friendly classical model can easily compete with massive foundation models that have billions of parameters.

Keywords: computer vision, deep learning, image processing, spectral indices, ResNet-50, classification metrics, EuroSAT, Sentinel-2

1. INTRODUCTION

Computer vision is everywhere these days. It helps diagnose diseases, drives cars, inspects factory parts, and monitors crops. But behind all these applications lies the same basic journey: turning raw pixels into actionable decisions. This pipeline includes preprocessing, extracting features, picking a model, and finally, evaluating the results for real-world use.

Interestingly, the same neural network can perform drastically differently depending on the project. Data volume and quality usually make or break the outcome. Take CIFAR-10, for example: jumping from 100 to 50,000 training images boosts validation accuracy from a mere 14% up to 69%. This challenge is even more obvious in remote sensing. Multispectral sensors like Sentinel-2 capture over 13 channels of data, pushing researchers to rely on open benchmarks like EuroSAT to truly test deep learning models.

This study maps out the entire computer vision pipeline from start to finish. We wanted to look at both the mathematical theories and the practical side of things, specifically focusing on what works best in actual 2025-2026 technologies.

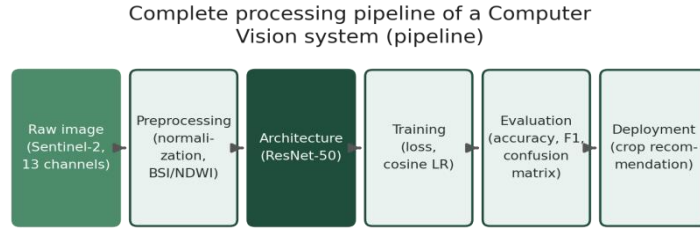


Figure 1. The complete processing pipeline of a Computer Vision system: from raw image to practical output

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Dataset and Image Preprocessing

To put theory into practice, we built a 10-class land-cover classifier following the EuroSAT format. The dataset covers categories like AnnualCrop, Forest, Highway, and Residential areas using 13-band GeoTIFF images from the Sentinel-2 satellite. We set aside 5,400 samples for testing, keeping the classes fairly balanced between 396 and 609 images each.

Raw sensor data usually has a long-tailed distribution and stops at zero, which often destabilizes gradient-based training. To fix this, we normalized every single channel using the standard z-score method:

$$x' = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

Here, μ and σ represent the per-channel mean and standard deviation. For instance, the first channel had a mean of roughly 0.135 and a standard deviation around 0.025. We initially divided the raw values by 10,000 to get the true surface reflectance. We also engineered two extra features to help the model: the NDWI for moisture and the BSI for bare soil.:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (2)$$

$$BSI = \frac{(SWIR + Red) - (NIR + Blue)}{(SWIR + Red) + (NIR + Blue)} \quad (3)$$

This gave our model a total of 15 input channels to work with. Looking at the 2026 NTIRE denoising challenge, top approaches right now blend transformer and Mamba architectures while using tricks like progressive training and test-time augmentation to squeeze out an extra 0.05-0.15 dB in quality.

2.2. Mathematical-Logical Foundations and Model Architecture

In the model's final layer, the raw score (logit) computed for each class is converted into a probability via the softmax function, and the final decision is made by selecting the class with the highest probability (argmax) (Goodfellow et al., 2016):

$$\sigma(z)_i = \frac{e^{z_i}}{\sum_j e^{z_j}} \quad (4)$$

The categorical cross-entropy loss function was used to train the parameters (Goodfellow et al., 2016):

$$L = -\sum_i y_i \log(\hat{y}_i) \quad (5)$$

Optimization followed the gradient descent rule, and the learning rate was controlled via a cosine annealing schedule (Loshchilov & Hutter, 2017):

$$\eta_t = \eta_{min} + 0.5(\eta_{max} - \eta_{min})(1 + \cos(t\pi/T)) \quad (6)$$

where t is the current epoch and T is the total number of epochs ($T = 30$ in this project). To prevent overfitting, L2 regularization and batch normalization were applied; the L2 penalty term is expressed as follows (Ioffe & Szegedy, 2015; Sheppert, 2026):

$$L_{reg} = L + \lambda \sum_k w_k^2 \quad (7)$$

For the architecture, we chose ResNet-50, a deep residual network famous for its performance on ImageNet. ResNet-50 uses 50 layers of "bottleneck" residual blocks. The skip connections in these blocks keep gradients stable and prevent them from vanishing. We tweaked the standard setup in two ways: first, we changed the initial convolutional layer to accept our 15-channel input instead of the usual 3 RGB channels. Second, we adjusted the final fully connected layer to output 10 land-cover classes rather than 1,000. We trained this model entirely from scratch. We didn't use transfer learning from ImageNet, yet we still hit high accuracy within 30 epochs. This just goes to show how effective solid preprocessing and a cosine learning rate can be. It's a very different approach from the massive Vision Transformer foundation models that blew up between 2021 and 2026 (like DINOv3 or SAM 2). Those models learn broad visual features through self-supervised pretraining but demand billions of parameters. Our ResNet-50 only needed about 25.6 million.

2.3. Evaluation Metrics

Classification quality was evaluated using standard statistics based on the true-positive (TP), false-positive (FP), true-negative (TN), and false-negative (FN) values of the confusion matrix (Powers, 2011):

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (8)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (9)$$

$$F_1 = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (10)$$

In multi-class evaluation, a distinction is made between the macro-average (equal weight to every class) and the weighted-average (weight proportional to class size) F1 scores; macro F1 is preferred on imbalanced datasets because it does not mask poor performance on rare classes. Furthermore, 2026 practice emphasizes that relying on accuracy alone is insufficient, recommending additional approaches such as calibration (log loss), K-fold cross-validation, and uncertainty quantification (ChatBench.org, 2026; Frontiers in Remote Sensing, 2022).

3. RESULTS

Training was carried out over 30 epochs with a cosine annealing learning-rate schedule (Table 1, Figure 2). Training accuracy rose from 0.852 at epoch 1 to 0.999 at epoch 30, while validation accuracy rose from 0.961 to 0.990; the gap between the two curves never exceeded $\approx 1\%$ throughout the process, indicating that no meaningful signs of overfitting were observed in practice. The loss function likewise decreased smoothly (Figure 3).

Table 1. Training-process metrics at selected epochs

Epoch	Train acc.	Val acc.	Learning rate (lr)
1	0.852	0.961	2.99×10^{-4}
5	0.979	0.981	2.80×10^{-4}
10	0.990	0.985	2.25×10^{-4}
15	0.995	0.984	1.50×10^{-4}
20	0.997	0.988	7.50×10^{-5}

Epoch	Train acc.	Val acc.	Learning rate (lr)
25	0.999	0.990	2.01×10^{-5}
30	0.999	0.990	0.0

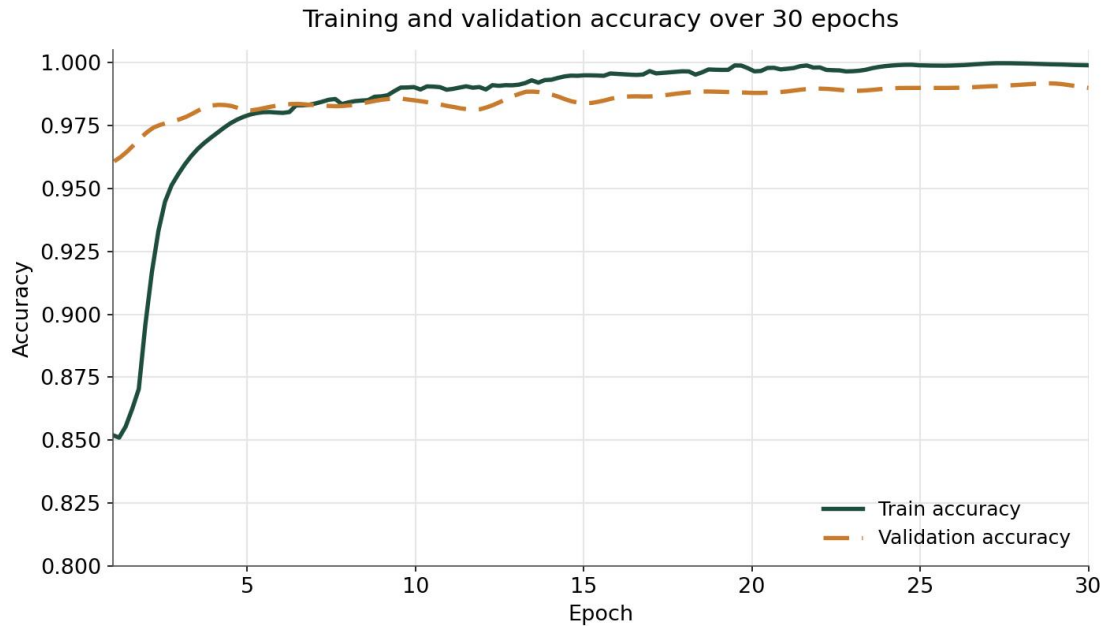


Figure 2. Dynamics of training and validation accuracy over 30 epochs

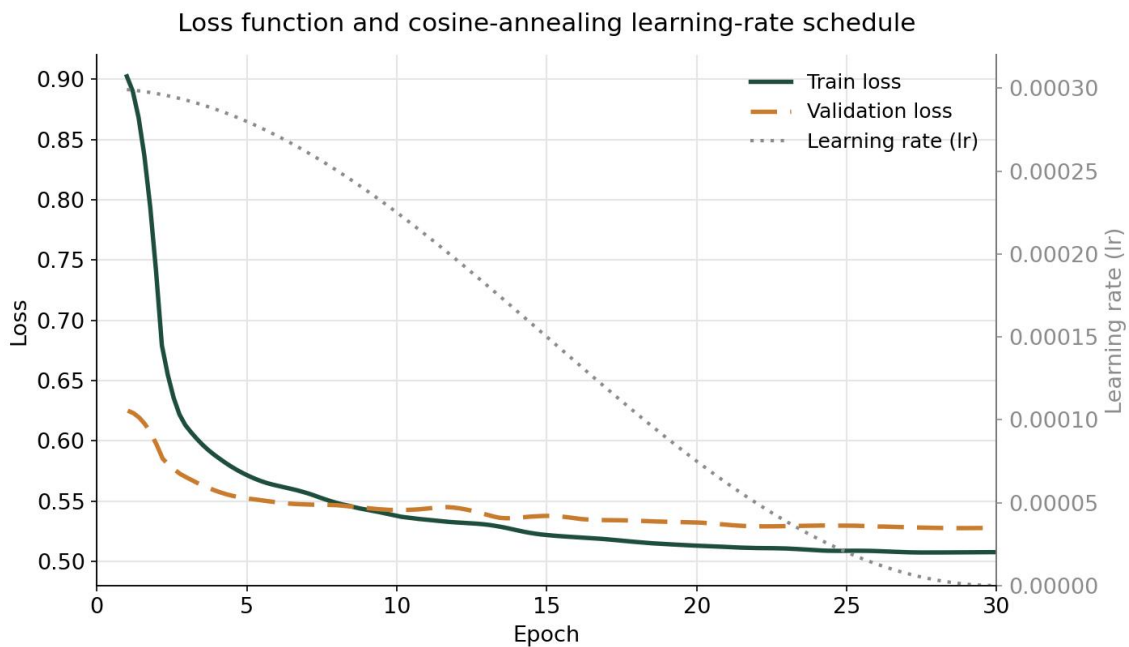


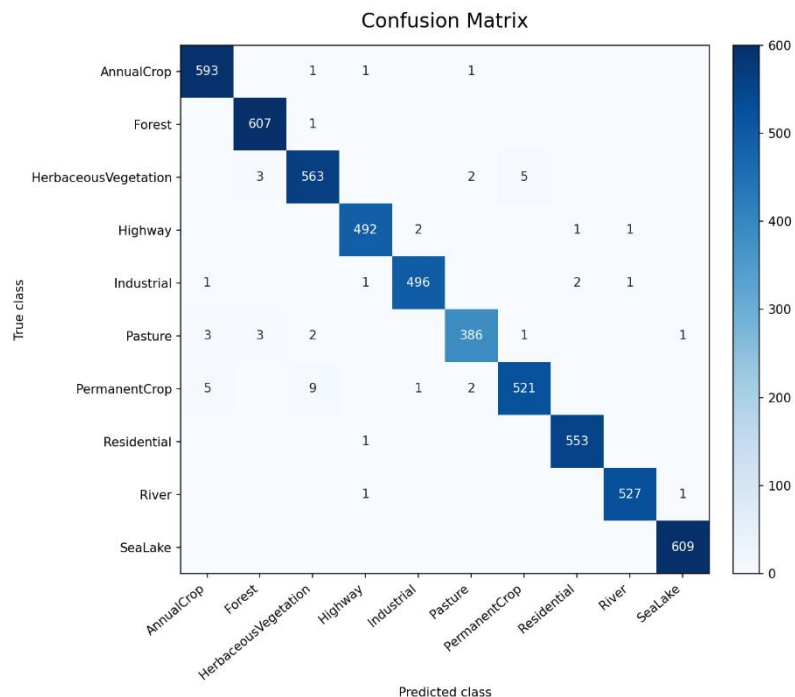
Figure 3. Dynamics of the loss function and the cosine annealing learning-rate schedule

On the final test set (5,400 samples), overall accuracy reached 0.9902 and the macro F1-score reached 0.9898; complete per-class results are given in Table 2.

Table 2. Classification report by class (test set, 5,400 samples)

Class	Precision	Recall	F1-score	Samples
AnnualCrop	0.985	0.995	0.990	596
Forest	0.990	0.998	0.994	608
HerbaceousVegetation	0.977	0.983	0.980	573
Highway	0.992	0.992	0.992	496
Industrial	0.994	0.990	0.992	501
Pasture	0.987	0.975	0.981	396
PermanentCrop	0.989	0.968	0.978	538
Residential	0.995	0.998	0.996	554
River	0.996	0.996	0.996	529
SeaLake	0.997	1.000	0.998	609
Macro average	0.9902	0.9895	0.9898	5400

The confusion matrix (Figure 4) shows that most errors occurred between spectrally similar classes: 9 samples from the PermanentCrop class were misclassified as HerbaceousVegetation, and 3 samples each from the Pasture class were misclassified as AnnualCrop and Forest; errors for all other classes were at the single-digit level.

**Figure 4. Confusion matrix on the test set (True class × Predicted class)**

The system's practical operation was demonstrated via a Gradio interface on Hugging Face Spaces (CPU-only environment). In the real examples shown in Figures 5 and 6, the system

identified the image Industrial_44.tif as an "Industrial area" with 98.9% confidence (BSI = -0.138 , NDWI = -0.221 , no crop recommended), and identified a perennial cropland area with 90.2% confidence (BSI = -0.430 , NDWI = -0.568), recommending cotton (high suitability) and maize (moderate suitability) based on moderate moisture and soil indicators.

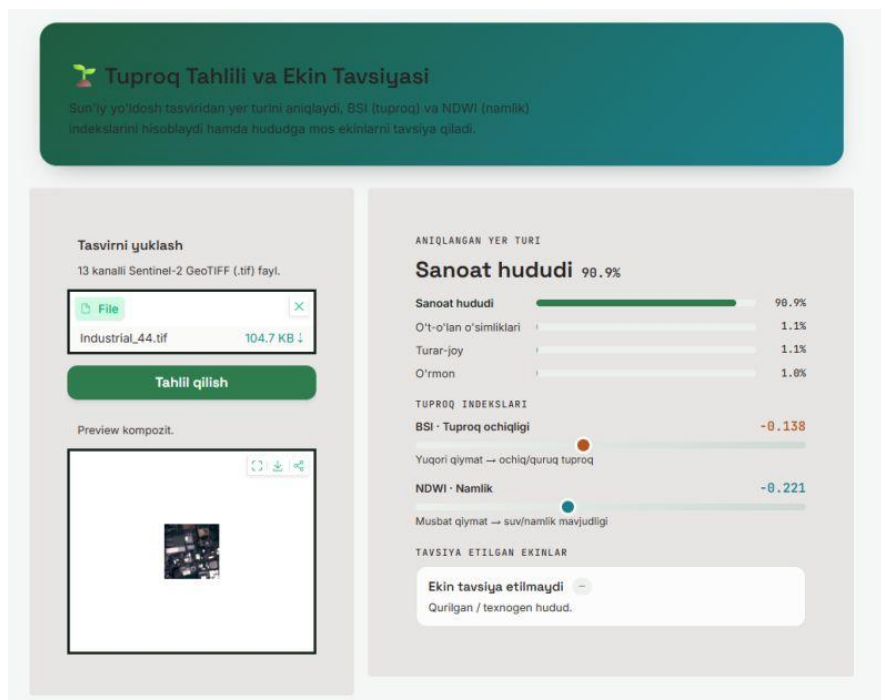


Figure 5. Demo result: Industrial_44.tif — identified as "Industrial area" with 98.9% confidence

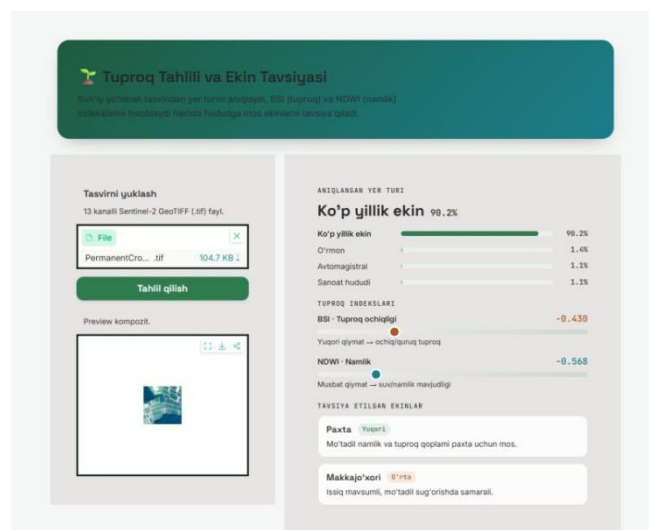


Figure 6. Demo result: a perennial cropland area identified with 90.2% confidence, with cotton and maize recommended

4. DISCUSSION

Our results clearly show that you can't rely on just one factor for a good model. Success comes from linking together smart preprocessing, solid math, and the right evaluation metrics. The few errors we saw weren't actually flaws in the model. Perennial crops, herbaceous vegetation, and pastures simply share an almost identical spectral signature during certain parts of the year.

It's also interesting to compare our from-scratch ResNet-50 with the massive foundation models dominating 2025 and 2026. While models like SAM 3 or Prithvi are incredibly versatile, they eat up computational resources. They aren't always the smartest pick for a highly specific job like a 10-class land-cover classification. Modern benchmarks urge developers to look at hardware

needs and latency, not just raw accuracy. That makes our 25.6-million-parameter CPU-friendly model a very practical choice.

Table 3. Comparison of different approaches by task

Model / Approach	Task	Strength	Limitation
DINOv3 / ViT	Classification	High accuracy, strong feature embeddings	Requires substantial compute and GPU resources
SAM 2 / SAM 3	Segmentation	Segments any object via prompt-based query	High resource demand for real-time use
RF-DETR / YOLO26	Object detection	Fast, runs on edge devices	Requires additional adaptation for specialized domains
Prithvi / Clay	Multi-task Earth observation	Transfers well with limited labeled data, multi-sensor	Fine-tuning complexity, large parameter count
Project's ResNet-50	Land-cover classification (10 classes)	99.02% accuracy, $\approx$ 25.6M parameters, runs on CPU	Task-specific only, no pretraining used, does not generalize

Still, the rise of geospatial foundation models means we might start mixing both approaches in the future. We should acknowledge that we only tested one domain (remote sensing) and one architecture. Future studies should definitely compare this setup against lightweight transformers or test it in other areas like medical imaging.

5. CONCLUSION

This paper broke down the whole computer vision pipeline—from prepping the images and setting up the math to picking an architecture and evaluating the results. Using a Sentinel-2 land-cover classifier as our test subject, we managed a 99.02% accuracy and a 0.9898 macro F1-score on 5,400 images. This proves that getting great results is all about making consistent, smart choices at every single step.

The biggest takeaway for developers is to carefully weigh the actual task against your available hardware before picking a model. A well-adapted, classical architecture trained specifically for your data can easily rival giant foundation models. Moving forward, we suggest testing this approach alongside transfer learning methods and trying it out in other practical fields.

REFERENCES:

- [1] BentoML Blog. (2026). Multimodal AI: The best open-source vision language models in 2026. <https://www.bentoml.com/blog/multimodal-ai-a-guide-to-open-source-vision-language-models>
- [2] ChatBench.org. (2026). Deep learning performance metrics: The 2026 guide to model mastery. <https://www.chatbench.org/deep-learning-performance-metrics/>
- [3] Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L.-J., Li, K., & Fei-Fei, L. (2009). ImageNet: A large-scale hierarchical image database. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (pp. 248–255). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2009.5206848>

- [4] Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T., Dehghani, M., Minderer, M., Heigold, G., Gelly, S., Uszkoreit, J., & Houlsby, N. (2021). An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale. In International Conference on Learning Representations (ICLR).
- [5] Esri ArcNews. (2026). GeoAI in the age of foundation models. <https://www.esri.com/about/newsroom/arcnews/geoai-in-the-age-of-foundation-models> (accessed: 19.08.2026)
- [6] Frontiers in Remote Sensing. (2022). Impact of training set size on the ability of deep neural networks to deal with omission noise. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, art. 932431. <https://www.frontiersin.org/journals/remote-sensing/articles/10.3389/frsen.2022.932431/full>
- [7] GeeksforGeeks. (2026). Impact of dataset size on deep learning model. <https://www.geeksforgeeks.org/deep-learning/impact-of-dataset-size-on-deep-learning-model/> (accessed: 19.08.2026)
- [8] GIS Crack. (2024). List of spectral indices for Sentinel and Landsat. <https://giscrack.com/list-of-spectral-indices-for-sentinel-and-landsat/> (accessed: 19.08.2026)
- [9] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.
- [10] He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 770–778). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90>
- [11] Helber, P., Bischke, B., Dengel, A., & Borth, D. (2019). EuroSAT: A novel dataset and deep learning benchmark for land use and land cover classification. *arXiv:1709.00029*. <https://arxiv.org/abs/1709.00029> (accessed: 19.08.2026)
- [12] Hong, D., Li, C., Li, X., Camps-Valls, G., & Chanussot, J. (2026). Foundation models in remote sensing: Evolving from unimodality to multimodality. *arXiv:2603.00988*. <https://arxiv.org/html/2603.00988v1> (accessed: 19.08.2026)
- [13] Ioffe, S., & Szegedy, C. (2015). Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift. In *Proceedings of the 32nd International Conference on Machine Learning (ICML)* (pp. 448–456).
- [14] Kirillov, A., Mintun, E., Ravi, N., Mao, H., Rolland, C., Gustafson, L., Xiao, T., Whitehead, S., Berg, A. C., Lo, W.-Y., Dollár, P., & Girshick, R. (2023). Segment anything. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)* (pp. 4015–4026).
- [15] Krizhevsky, A. (2009). *Learning multiple layers of features from tiny images* (Technical Report). University of Toronto. <https://www.cs.toronto.edu/~kriz/learning-features-2009-TR.pdf>
- [16] Labellerr Blog. (2026). Top foundation models powering modern computer vision 2026. <https://www.labellerr.com/blog/foundation-models-computer-vision/> (accessed: 19.08.2026)
- [17] Loshchilov, I., & Hutter, F. (2017). SGDR: Stochastic gradient descent with warm restarts. In *International Conference on Learning Representations (ICLR)*.
- [18] Powers, D. M. W. (2011). Evaluation: From precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation. *Journal of Machine Learning Technologies*, 2(1), 37–63.
- [19] Roboflow Blog. (2026). Best computer vision models in 2026, compared by task. <https://blog.roboflow.com/best-computer-vision-models/> (accessed: 19.08.2026)

[20] Sentinel Hub, Planet Stories. (2020). How to normalize satellite images for deep learning. Medium. <https://medium.com/sentinel-hub/how-to-normalize-satellite-images-for-deep-learning-d5b668c885af> (accessed: 19.08.2026)

[21] Sheppert, A. P. (2026). Techniques for mitigating overfitting in machine learning: A comprehensive review, taxonomy, and practical guide. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 9, art. 1794271. <https://doi.org/10.3389/frai.2026.1794271>

[22] Sun, L., Guo, H., Ren, B., Su, S., Wang, X., Paudel, D. P., Van Gool, L., Timofte, R., & Li, Y. (2026). The third challenge on image denoising at NTIRE 2026: Methods and results. *arXiv:2606.16031*. <https://arxiv.org/html/2606.16031> (accessed: 19.08.2026)

HOSILA VA UNING QO‘LLANILISHI: NAZARIY ASOSLARI VA AMALIY TATBIQLARI

Toshtemirova Shirin To‘lqin qizi

Denov tadbirkorlik va pedagogika insituti “Oliy matematika” kafedresi 2M-2026 guruh talabasi

toshtemirovashirinn@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-5375-9593>

Annotatsiya. Ushbu maqolada matematik analizning asosiy tushunchalaridan biri bo‘lgan hosila tahlil qilinadi. Hosilaning ta‘rifi, uning geometrik va fizik ma‘nosi, asosiy funksiyalarning hosilalari jadvali hamda hosila olish qoidalari yoritilgan. Shuningdek, murakkab funksiyalarning hosilasini topishga oid misollar va hosilaning amaliy tatbiqlari (ekstremum, o‘sish-kamayish oraliqlari, ikkinchi tartibli hosila) ko‘rib chiqilgan.

Kalit so‘zlar: hosila, limit, differensiallanuvchi funksiya, urinma, ekstremum, murakkab funksiya, ikkinchi tartibli hosila.

Аннотация. В статье рассматривается производная — одно из ключевых понятий математического анализа. Раскрыты определение производной, её геометрический и физический смысл, таблица производных основных функций и правила дифференцирования, а также примеры нахождения производной сложных функций и практическое применение производной.

Ключевые слова: производная, предел, дифференцируемая функция, касательная, экстремум, сложная функция.

Abstract. This article examines the derivative, one of the fundamental concepts of mathematical analysis. The definition of the derivative, its geometric and physical meaning, a table of derivatives of elementary functions, and differentiation rules are presented, together with worked examples for finding derivatives of composite functions and an overview of the practical applications of the derivative.

Key words: derivative, limit, differentiable function, tangent line, extremum, composite function.

KIRISH

Matematik analizning eng muhim tushunchalaridan biri — hosila. Hosila funksiyaning o‘zgarish tezligini ifodalaydi va fizika, iqtisodiyot, muhandislik kabi ko‘plab sohalarda keng qo‘llaniladi.

Ushbu maqolaning maqsadi — hosila tushunchasini, uning geometrik va fizik ma‘nosini, hisoblash qoidalarini hamda amaliy tatbiqlarini tizimli ravishda yoritishdan iborat. Mavzuning dolzarbligi shundaki, hosila tushunchasi funksiyalarni tahlil qilish, optimallashtirish masalalarini yechish va real jarayonlarni matematik modellashirishning asosiy vositalaridan biri hisoblanadi.

ASOSIY QISM

Hosila tushunchasi

Faraz qilaylik, $y = f(x)$ funksiya berilgan bo'lsin. Argumentga Δx ortirma berilganda, funksiyaning mos orttirmasi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta y = f(x + \Delta x) - f(x)$$

Hosila — argument orttirmasi nolga intilganda, funksiya orttirmasining argument orttirmasiga nisbati limiti sifatida ta'riflanadi:

$$f'(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \Delta y / \Delta x = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} [f(x + \Delta x) - f(x)] / \Delta x$$

Agar bu limit mavjud bo'lsa, funksiya shu nuqtada differensiallanuvchi deb ataladi.

Hosilaning geometrik ma'nosi

$f'(x_0)$ qiymati $y = f(x)$ funksiya grafigiga x_0 nuqtada o'tkazilgan urinmaning burchak koeffitsientiga teng:

$$f'(x_0) = \tan \alpha = k$$

bu yerda α — urinmaning Ox o'qi bilan hosil qilgan burchagi. Urinma tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$y = f(x_0) + f'(x_0) \cdot (x - x_0)$$

Hosilaning fizik ma'nosi

Agar $s(t)$ jismning vaqtga bog'liq koordinatasi (yo'li) bo'lsa, quyidagi kattaliklar hosila orqali ifodalanadi:

✚ Tezlik — yo'lning vaqt bo'yicha hosilasi: $v(t) = s'(t)$

✚ Tezlanish — tezlikning vaqt bo'yicha hosilasi: $a(t) = v'(t) = s''(t)$

Umuman olganda, hosila o'zgarish tezligini ifodalaydi (masalan, iqtisodiyotda — chegaraviy xarajat, kimyoda — reaksiya tezligi).

Asosiy funksiylarning hosilalari

Quyidagi jadvalda eng ko'p qo'llaniladigan elementar funksiylarning hosilalari keltirilgan:

Funksiya	Hosilasi
$C (const)$	0
x^n	$n \cdot x^{n-1}$
$\sqrt{x}$	$1 / (2\sqrt{x})$
$1/x$	$-1/x^2$
$\sin x$	$\cos x$
$\cos x$	$-\sin x$

Funksiya	Hosilasi
$\tan x$	$1/\cos^2 x$
$\cotg x$	$-1/\sin^2 x$
e^x	e^x
a^x	$a^x \cdot \ln a$
$\ln x$	$1/x$
$\log_a x$	$1/(x \cdot \ln a)$

Hosila olish qoidalar

Faraz qilaylik, $u = u(x)$ va $v = v(x)$ differensiallanuvchi funksiyalar bo'lsin. Quyida asosiy qoidalar keltirilgan:

- ✚ Yig'indi qoidasi: $(u \pm v)' = u' \pm v'$
- ✚ Ko'paytma qoidasi: $(uv)' = u'v + uv'$
- ✚ Bo'linma qoidasi: $(u/v)' = (u'v - uv') / v^2, v \neq 0$
- ✚ Doimiy ko'paytuvchi: $(C \cdot u)' = C \cdot u'$
- ✚ Murakkab funksiya hosilasi (zanjir qoidasi): agar $y = f(u)$, $u = u(x)$ bo'lsa, $y'_x = f'(u) \cdot u'(x)$

6. Misollar

1-misol. $y = x^3 - 4x^2 + 5x - 7$ funksiyaning hosilasini toping.

$$y' = 3x^2 - 8x + 5$$

2-misol. $y = \sin(2x^2 + 1)$ funksiyaning hosilasini toping (murakkab funksiya).

$$y' = \cos(2x^2 + 1) \cdot (4x) = 4x \cdot \cos(2x^2 + 1)$$

3-misol. $y = x^2 \cdot e^x$ funksiyaning hosilasini toping (ko'paytma qoidasi).

$$y' = 2x \cdot e^x + x^2 \cdot e^x = e^x(2x + x^2)$$

Hosilaning tatbiqlari

- ✚ Funksiyaning o'sish va kamayish oraliqlarini aniqlash: $f'(x) > 0$ bo'lsa — funksiya o'sadi, $f'(x) < 0$ bo'lsa — kamayadi.
- ✚ Ekstremum nuqtalarini topish: $f'(x) = 0$ bo'ladigan nuqtalar kritik nuqtalar hisoblanadi; ikkinchi hosila orqali ular maksimum yoki minimum ekanligi aniqlanadi.
- ✚ Funksiya grafigini to'liq tekshirish va chizish.
- ✚ Optimallashtirish masalalari (eng katta/eng kichik qiymatlarni topish).
- ✚ Fizik jarayonlarni (tezlik, tezlanish, oqim tezligi) modelashtirish.

Ikkinchi tartibli hosila

$f''(x) = (f'(x))'$ — birinchi hosilaning hosilasi. U funksiya grafigining botiqlik yo'nalishini (qavariq/botiq) va egilish nuqtalarini aniqlashda ishlatiladi:

 $f''(x) > 0$ — grafik botiq (pastga qavariq)

 $f''(x) < 0$ — grafik qavariq (yuqoriga qavariq)

XULOSA

Hosila — funksiyaning o'zgarish tezligini o'rganuvchi kuchli matematik vosita bo'lib, nazariy matematikadan tashqari fizika, texnika, iqtisodiyot va boshqa fanlarda muhim amaliy ahamiyatga ega.

Hosila qoidalarini va uning geometrik-fizik ma'nosini yaxshi tushunish, murakkab funksiyalarni tahlil qilish va real hayotdagi jarayonlarni modellashtirish imkonini beradi. Keyingi tadqiqotlarda hosila tushunchasini ko'p o'zgaruvchili funksiyalar (xususiylar hosilalar) va differensial tenglamalar bilan bog'liq holda kengaytirib o'rganish maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Azlarov T. *Matematik analiz. 1-qism.* — Toshkent: O'qituvchi, 1994. — 417 b.
- [2] Azlarov T., Mansurov H. *Matematik analizdan misol va masalalar to'plami.* — Toshkent: Universitet, 2007. — 335 b.
- [3] Sadullayev A., Xudoyberganov G'., Vorisov A., G'ulomov R. *Matematik analiz kursidan misol va masalalar to'plami. 1-qism.* — Toshkent: O'zbekiston, 1993. — 320 b.
- [4] Sadullayev A., Mansurov H., Xudoyberganov G'., Vorisov A., G'ulomov R., Abdullayev B. *Matematik analiz kursidan misol va masalalar to'plami. 1.* — Toshkent: Akademya, 2025. — 296 b. Ushbu kitobda hosila, differensial hisobning asosiy teoremlari va ularning tatbiqlari ham yoritilgan.
- [5] Abduhamidov A.U., Nasimov H.A., Nosirov U.M., Husanov J.H. *Algebra va matematik analiz asoslari. 1-qism.* — Toshkent: O'qituvchi, 2003. — 416 b.
- [6] Abduhamidov A.U., Nasimov H.A., Nosirov U.M., Husanov J.H. *Algebra va matematik analiz asoslari. 2-qism.* — Toshkent: O'qituvchi, 2002. — 368 b.
- [7] Abduhamidov A.U., Nasimov H.A., Nosirov U.M., Husanov J.H. *Algebra va analizdan masalalar to'plami. 1-qism.* — Toshkent: Sharq, 2003. — 152 b.
- [8] Alimov Sh.O., Ashurov R.R. *Matematik analiz. 1-qism.* — O'zbek tilidagi matematik analiz darsligi.
- [9] Alimov Sh. *Matematik analiz. 2-qism.* — Toshkent: Mumtoz So'z, 2018. — 448 b.
- [10] Alimov Sh. *Matematik analiz. 3-qism.* — Toshkent: Mumtoz So'z, 2018. — 320 b.
- [11] Toshmetov O'., Turg'unbayev R. *Matematik analiz. 1-qism.* — Toshkent: Extremum-press, 2018. — 408 b.

IKKI O'LCHOVLI HOLDA LAME TENGLAMASINI SONLI YECHISH USULI (TO'G'RI TO'RTBURCHAKLI MUVOZANATI)

Xo'jaqulov Farrux Normamatovich¹, Xonnazarova Yulduz Berdinazar qizi²

¹Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi 180100, Uzbekistan,

²Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi 180100, Uzbekistan

e-mail: fhuzakulov70@gmail.com

Abstract. This section examines the numerical solution of the Lamé equation one of the fundamental equations of elasticity theory in a two-dimensional context. Numerical methods are of particular importance because finding analytical solutions for real-world engineering problems is often complex or impossible. The finite difference method, in particular, is widely used for problems defined on rectangular domains.

Keywords: discretization, continuous, elasticity, shear, displacement, differential, series, model, mechanical state

Аннотация: В данном разделе рассматривается численное решение уравнения Ламе — одного из фундаментальных уравнений теории упругости в двумерной постановке. Численные методы имеют особое значение, поскольку нахождение аналитических решений для реальных инженерных задач зачастую затруднительно или невозможно. В частности, для задач, определенных в прямоугольных областях, широко применяется метод конечных разностей.

Keywords: дискретизация, непрерывный, упругость, сдвиг, перемещение, дифференциальный, ряд, модель, механическое состояние

Annotatsiya. Ushbu bo'limda elastiklik nazariyasining muhim tenglamalaridan biri bo'lgan Lamé tenglamasini ikki o'lchovli holatda sonli yechish masalasi ko'rib chiqiladi. Real muhandislik masalalarida analitik yechimlarni topish ko'pincha murakkab yoki imkonsiz bo'lgani sababli, sonli usullar alohida ahamiyat kasb etadi. Ayniqsa, to'g'ri to'rtburchakli sohalarda qarayotgan masalalar uchun chekli ayirmalar usuli keng qo'llaniladi.

Kalit so'zlar: diskretlash, uzluksiz, elastiklik, siljish, ko'chish, differensial, qator, model, mexanik holat

Mazkur mavzuda Lamé tenglamasini diskretlash, ya'ni uzluksiz muhitni tugun nuqtalar to'plami bilan almashtirish orqali differensial tenglamani algebraik tenglamalar sistemasiga keltirish asosiy maqsad qilib olamiz. Shuningdek, chegaraviy shartlarni hisobga olgan holda ko'chish funksiyalarini aniqlash va natijalarni tahlil qilish masalalari ham yoritiladi. Bu yondashuv esa elastik jismlarning deformatsiyalanishini aniqroq modellashtirish imkonini beradi.

Lamé tenglamasini to'g'ri to'rtburchak $\Omega = \{0 \leq x \leq l_1, 0 \leq y \leq l_2\}$ soha uchun quyidagi ko'rinishga keltirish mumkin

$$\begin{aligned}(\lambda + 2\mu) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + (\lambda + \mu) \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + X_1 &= 0 \\(\lambda + 2\mu) \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + (\lambda + \mu) \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + X_2 &= 0\end{aligned}\tag{1.3.1}$$

Endi ikki o'lchovli elastiklik masalasi qarab chiqamiz. Bunda Lamé tenglamalari siljish funksiyalari orqali ifodalanadi va masalaning sonli yechimi aniqlanadi.

Ω sohaning chegarasida ko'chishlarga nisbatan berilgan mos chegaraviy shartlar

$$\begin{aligned}
u(x, y)|_{x=0} &= \sin \frac{\pi y}{l_2}, & v(x, y)|_{x=0} &= 0, \\
u(x, y)|_{x=l_1} &= -\sin \frac{\pi y}{l_2}, & v(x, y)|_{x=l_1} &= 0, \\
u(x, y)|_{y=0} &= 0, & v(x, y)|_{y=0} &= \sin \frac{\pi x}{l_1}, \\
u(x, y)|_{y=l_2} &= 0, & v(x, y)|_{y=l_2} &= -\sin \frac{\pi x}{l_1}
\end{aligned} \tag{1.3.2}$$

Elastiklik nazariyasining (1.3.1)- (1.3.2) masalasi uchun chekli ayirmali sxemani quramiz.

Yuqoridagi keltirilgan masalalarning diskret holini toppish uchun, 1-navbatda masala qaralayotgan sohani to‘r yoki setka bilan almashtirish kerak bo‘ladi. Keyin esa, mana shu to‘rning nuqtalarida differensial tenglamadagi hosilalarni chekli ayirmali munosabatlar bilan almashtirish kerak bo‘ladi.

Shu maqsadda 1,2 va aralash hosilalarni almashtirish uchun zarur bo‘lgan chekli ayirmali munosabatlarni keltirib chiqaramiz. [1]

Bir o‘lchovli masala (13), $[0, l]$ kesmada qaraladi. Shuning uchun kesmani N ta bo‘laklarga ajratamiz, ya‘ni

$$h = \frac{l}{N} \tag{1.3.3}$$

To‘r tugunlaridagi funksiyalar qiymatlarini aniqlash uchun differensial chekli ayirmali sxemalar bilan almashtirib chiqamiz U holda tugun nuqtalarni quyidagi ifoda bilan topish mumkin

$$x_i = hi, \quad i = \overline{0, N_1} \tag{1.3.4}$$

Bu nuqtalarga nisbatan funksiya ushbu ko‘rinishga ega bo‘ladi

$$u(x_i) = u_i, \tag{1.3.5}$$

Endi x_i tugun nuqta atrofida $u(x_i)$ ning Teylor qatoriga yoyilmasilarini qaraymiz:

$$u(x_i + h) = u(x_i) + \frac{h}{1!}u'(x_i) + \frac{h^2}{2!}u''(x_i) + \frac{h^3}{3!}u'''(x_i) + \frac{h^4}{4!}u^{(4)}(x_i) + \dots, \tag{1.3.6}$$

$$u(x_i - h) = u(x_i) - \frac{h}{1!}u'(x_i) + \frac{h^2}{2!}u''(x_i) - \frac{h^3}{3!}u'''(x_i) + \frac{h^4}{4!}u^{(4)}(x_i) + \dots, \tag{1.3.7}$$

Natijada noma'lum funksiyalarga nisbatan algebraik tenglamalar sistemasi hosil bo‘ladi.

(1.3.6) formuladan $u'(x_i)$ ganisbatan yechib, 1-tartibli hosila uchun o‘ng hosilaning ifodasini topamiz

$$u'(x_i) = \frac{u(x_i + h) - u(x_i)}{h} + O(h) \quad \text{ëku} \quad u'_i = \frac{u_{i+1} - u_i}{h} + O(h) \tag{1.3.8}$$

(1.3.7) formuladan $u'(x_i)$ ganisbatan yechib, 1-tartibli hosila uchun chap hosilaning ifodasini topamiz

$$u'(x_i) = \frac{u(x_i) - u(x_i - h)}{h} + O(h) \quad \text{ëku} \quad u'_i = \frac{u_i - u_{i-1}}{h} + O(h) \tag{1.3.9}$$

(1.3.6) ifodadan (1.3.7) ni hadma had ayirib $u'(x_i)$ uchun markaziy hosilaning ifodasini topishimiz mumkin

$$u'(x_i) = \frac{u(x_i + h) - u(x_i - h)}{2h} + O(h^2) \quad \text{ëku} \quad u'_i = \frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2h} + O(h^2) \quad (1.3.10)$$

Ushbu sistema iteratsion yoki to'g'ridan-to'g'ri usullar yordamida yechiladi. (1.3.6) va (1.3.7)-ifodalarni hadma had qo'shib ikkinchi tartibli hosila - $u''(x_i)$ uchun quyidagi chekli ayirmani topishimiz mumkin [2]

$$u''(x_i) = \frac{u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}}{h^2} + O(h^2) \quad (1.3.11)$$

(1.3.1-1.3.2) masalasi uchun chekli-ayirmali sxema quramiz . To'g'ri to'rtburchakning l_k tomonlarini N_k gabo'lib,

$$h_k = \frac{l_k}{N_k} \quad (1.3.12)$$

ni aniqlaymiz, bu yerda $k = 1, 2$. Bu holda tugun nuqtalar quyidagicha bo'ladi

$$x_i = h_1 \quad i, \quad y_j = h_2 \quad j, \quad i = \overline{0, N_1}, \quad j = \overline{0, N_2}. \quad (1.3.13)$$

U holda ikki o'zgaruvchili funksiya tugun nuqtalarga nisbatan quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$u(x_i, y_j) = u_{ij}^j, \quad (1.3.14)$$

Tugunlar uchun tuzilgan chekli ayirmali tenglamalar deformatsiya holatini aniqlash imkonini beradi. Chekli ayirmali munosabatlar, (20-24), ifodalarga mos ravishda quyidagi ko'rinishlarga ega bo'ladi :

$$\begin{aligned} u'_x &= \frac{u_{i+1,j} - u_{ij}}{h} + O(h), \quad u'_y = \frac{u_{i,j+1} - u_{ij}}{h} + O(h), \\ u'_x &= \frac{u_{i+1,j} - u_{i-1,j}}{2h} + O(h^2), \quad u'_y = \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j-1}}{2h} + O(h^2) \\ u''_x &= \frac{u_{i+1,j} - 2u_{ij} + u_{i-1,j}}{h^2} + O(h^2), \quad u''_y = \frac{u_{i,j+1} - 2u_{ij} + u_{i,j-1}}{h^2} + O(h^2) \end{aligned} \quad (1.3.15)$$

Aralash hosila uchun chekli ayirmali munosabatni topish, avval $u(x, y)$ funksiyaning hosilasi $\frac{\partial u}{\partial x}$ uchun markaziy chekli ayirmani yozib olamiz, ya'ni

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{u_{i+1,j} - u_{i-1,j}}{2h} \quad \varphi \quad (1.3.16)$$

Endi oxirgi ifodadan u bo'yicha markaziy hosila olamiz ya'ni

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) &= \frac{\partial \varphi}{\partial y} = \frac{\varphi_{j+1} - \varphi_{j-1}}{2h_2} = \frac{1}{2h_2} \left\{ \frac{u_{i+1,j+1} - u_{i-1,j+1}}{2h_1} - \frac{u_{i+1,j-1} - u_{i-1,j-1}}{2h_1} \right\} = \\ &= \frac{u_{i+1,j+1} - u_{i-1,j+1} - u_{i+1,j-1} + u_{i-1,j-1}}{4h_1h_2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} \end{aligned} \quad (1.3.17)$$

Shunday qilib, ikki o'lvchovli Lame tenglamalarini to'g'ri to'rtburchakli sohada sonli yechish masalasi chekli ayirmali usul asosida tadqiq qilindi. Qaralayotgan elastik muhitning matematik modeli differensial tenglamalar sistemasidan iborat bo'lib, ularning analitik yechimini topish murakkab bo'lganligi sababli sonli usuldan foydalanildi. Hisoblash sohasi diskret tugunlarga ajratilib, xususiy hosilalar markaziy chekli ayirmali formulalar orqali taqribiy almashtirildi. Natijada Lame tenglamalari algebraik tenglamalar sistemasiga keltirildi.[3]

Hosil qilingan chekli ayirmali sxema yordamida ichki va chegaraviy tugunlardagi noma'lum ko'chish funksiyalarining qiymatlarini aniqlash imkoniyati yaratildi. Chegaraviy shartlarning to'g'ri kiritilishi yechimning turg'unligi va aniqligini ta'minladi. Shuningdek, to'r qadamlari kamayishi bilan sonli yechimning aniqligi ortishi kuzatildi, bu esa qo'llanilgan usulning yaqinlashuvchan ekanligini ko'rsatadi.

Xulosa: Tadqiqot natijalari elastiklik nazariyasidagi deformatsiya va kuchlanish holatlarini modellashtirishda chekli ayirmali usul samarali hisoblash vositasi ekanligini tasdiqlaydi. Mazkur yondashuv murakkab geometrik sohalarda ham elastik jismlarning mexanik holatini aniqlash, deformatsiya jarayonlarini tahlil qilish hamda muhandislik va amaliy masalalarni yechishda muhim ahamiyatga ega.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

- [1] Новацкий В. Теория упругости. М.:Мир, 1975.-872 с.
- [2] Тимошенко, С.П., Гудьер, Дж. Теория упругости. -М. Наука, 1975.-576 с.
- [3] Победря Б.Е. Численные методы в теории упругости и пластичности.М.: Изд-во МГУ, 1996,-343 с.

O'QUVCHILARNING O'ZLASHTIRISHINI AI ORQALI REAL VAQT REJIMIDA

KUZATISH MEXANIZMLARI

Zokirova Gavharshod Jamshid qizi

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti Pedagogika yo'nalishi 2-kurs yo'nalishi magistranti

zgavharshod@gmail.com

ANNOTATSIYA. Mazkur maqolada sun'iy intellekt (AI) texnologiyalari yordamida o'quvchilarning o'zlashtirish jarayonini real vaqt rejimida kuzatish, baholash va tahlil qilish mexanizmlari nazariy-metodologik jihatdan yoritilgan. Tadqiqotda adaptiv ta'lim platformalari, ma'lumotlar tahlili (Learning Analytics), mashinali o'qish algoritmlari va avtomatlashtirilgan monitoring vositalarining ta'lim sifatini oshirishdagi o'rni chuqur tahlil qilingan. Shuningdek, sun'iy intellekt asosida o'quvchilarning o'zlashtirish ko'rsatkichlarini kuzatish darajalari tabaqalashtirilgan statistik ko'rsatkichlar asosida ochib berilib, ularni amaliyotga joriy etish yuzasidan ilmiy-pedagogik tavsiyalar ishlab chiqilgan.

Kalit so'zlar: Sun'iy intellekt, real vaqt rejimi, o'zlashtirish monitoringi, adaptiv ta'lim, mashinali o'qish, ta'lim tahlili, raqamli texnologiyalar.

Аннотация. В данной статье с теоретико-методологической точки зрения освещены механизмы мониторинга, оценки и анализа процесса освоения учебного материала учащимися в режиме реального времени с использованием технологий искусственного интеллекта (ИИ). В исследовании подробно проанализирована роль адаптивных образовательных платформ, анализа образовательных данных (Learning Analytics), алгоритмов машинного обучения и автоматизированных средств мониторинга в повышении качества образования. Также раскрыты уровни мониторинга показателей успеваемости учащихся на основе искусственного интеллекта с использованием дифференцированных статистических показателей, а также разработаны научно-педагогические рекомендации по их внедрению в образовательную практику.

Ключевые слова: искусственный интеллект, режим реального времени, мониторинг успеваемости, адаптивное обучение, машинное обучение, анализ образовательных данных, цифровые технологии.

Abstract. *This article theoretically and methodologically examines the mechanisms for monitoring, assessing, and analyzing students' learning progress in real time using artificial intelligence (AI) technologies. The study provides an in-depth analysis of the role of adaptive learning platforms, Learning Analytics, machine learning algorithms, and automated monitoring tools in improving the quality of education. It also identifies different levels of monitoring students' learning performance based on differentiated statistical indicators using artificial intelligence and develops scientific and pedagogical recommendations for their implementation in educational practice.*

Keywords: *artificial intelligence, real-time monitoring, learning progress monitoring, adaptive learning, machine learning, learning analytics, digital technologies.*

Kirish. Raqamli texnologiyalarning ta'lim jarayoniga jadal kirib kelishi o'quvchilarning bilim va ko'nikmalarini baholash hamda monitoring qilish imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirmoqda. An'anaviy baholashda o'quvchining o'zlashtirish darajasi ko'pincha nazorat ishlari, testlar yoki yakuniy baholash natijalari orqali aniqlansa, zamonaviy raqamli ta'lim muhitida o'quv faoliyati to'g'risidagi ma'lumotlarni muntazam yig'ish va tahlil qilish imkoniyati mavjud. Sun'iy intellekt texnologiyalari mazkur jarayonni yanada takomillashtirishga xizmat qilishi mumkin. AI tizimlari katta hajmdagi ta'lim ma'lumotlarini qayta ishlash, o'quvchilarning faoliyatidagi takrorlanuvchi tendensiyalarni aniqlash va o'qituvchiga qo'shimcha analitik ma'lumot taqdim etish imkoniyatiga ega.

Real vaqt rejimidagi monitoring deganda o'quvchining ta'lim faoliyati davomida hosil bo'layotgan ma'lumotlarni imkon qadar tezkor qayta ishlash va natijalarni ta'lim jarayonini boshqarishda qo'llash tushuniladi. Bunda maqsad faqat o'quvchiga baho qo'yish emas, balki uning qaysi mavzuni yaxshi o'zlashtirgani, qaysi kompetensiyada qiyinchilikka duch kelayotgani va qanday qo'shimcha yordamga ehtiyoj borligini aniqlashdan iborat.

AI asosidagi monitoring tizimlarida test javoblari, topshiriqlarni bajarish natijalari, xatolar, topshiriqni bajarish vaqti, o'quv materiallariga murojaat qilish chastotasi kabi ko'rsatkichlardan foydalanish mumkin. Ushbu ma'lumotlar asosida o'quvchining individual o'zlashtirish profili shakllantiriladi.

Bunday yondashuv o'qituvchining barcha o'quvchilar faoliyatini bir xil darajada va doimiy ravishda kuzatishdagi amaliy qiyinchiliklarini kamaytirishga yordam berishi mumkin. Biroq AI o'qituvchining o'rnini to'liq egallamasligi, balki pedagogik qarorlarni qo'llab-quvvatlovchi vosita sifatida qo'llanishi muhim.

Shu sababli o'quvchilarning o'zlashtirishini AI orqali real vaqt rejimida kuzatish mexanizmlarini ilmiy-pedagogik jihatdan o'rganish zamonaviy ta'limning dolzarb yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

Materiallar va usullar. Tadqiqot jarayonida sun'iy intellekt texnologiyalarining ta'lim monitoringiga ko'rsatadigan ta'sirini chuqur o'rganish maqsadida kompleks va tizimli yondashuvga asoslangan quyidagi ilmiy-pedagogik metodlardan foydalanildi:

Tizimli tahlil va sintez: Sun'iy intellektga asoslangan ta'lim platformalari, adaptiv o'qitish tizimlari va ta'lim tahliliga (Learning Analytics) oid ilmiy adabiyotlarni o'rganish hamda tizimlashtirish;

Modellashtirish metodi: O'quvchilarning o'zlashtirish jarayonini real vaqt rejimida uzluksiz kuzatuvchi AI modellarining ishlash prinsiplarini ilmiy-nazariy jihatdan loyihalashtirish;

Empirik kuzatish va diagnostika: Raqamli ta'lim muhitida o'quvchilarning darsdagi faolligi va o'zlashtirish ko'rsatkichlarini avtomatlashtirilgan tarzda kuzatish natijalarini tabaqalashtirilgan holda qiyosiy tahlil qilish.

Tadqiqotda quyidagi metodlardan foydalanildi:

- ilmiy-pedagogik adabiyotlarni tahlil qilish;
- qiyosiy tahlil;
- tizimlashtirish;
- pedagogik modellashtirish;
- learning analitik mexanizmlarini tahlil qilish;
- raqamli ta'lim texnologiyalarining imkoniyatlarini umumlashtirish.

Tahlil predmeti sifatida o'quv boshqaruv tizimlarida qo'llaniladigan bashoratli sun'iy intellekt modellari (qaror daraxtlari, tasodifiy o'rmon, tayanch vektor mashinalari, sun'iy neyron tarmoqlari), bilim holatini bayes tarmog'i asosida kuzatish (Bayesian Knowledge Tracing) nazariyasi hamda ta'lim tahlili boshqaruv panellari (learning analytics dashboards) bo'yicha nashr etilgan ilmiy natijalar olindi. Tadqiqotda empirik ma'lumotlar to'plash yoki eksperiment o'tkazilmagan; ishning yangiligi mavjud nazariy-amaliy yechimlarni sintez qilish va ularni mahalliy ta'lim kontekstiga moslashtirilgan yaxlit mexanizm sifatida taqdim etishdan iborat.

Natijalar va muhokama. Ta'lim jarayoniga sun'iy intellekt texnologiyalarining joriy etilishi o'quvchilarning o'zlashtirishini kuzatish va baholash mexanizmlarini sifat jihatidan mutlaqo yangi bosqichga ko'taradi. Real vaqt rejimida monitoring qilishni ta'minlovchi asosiy AI mexanizmlariga quyidagilar kiradi:

Adaptiv ta'lim algoritmlari va shaxsiylashtirish: O'quvchining har bir harakatini (masalan, test savollariga javob berish vaqti, urinishlar soni, xato turlari va takrorlash chastotasi) chuqur tahlil qilgan holda, tizim o'quv dasturini avtomatik ravishda uning shaxsiy o'zlashtirish sur'atiga moslashtiradi va qiyinchilik tug'dirayotgan mavzularni darhol aniqlaydi.

Bashoratli tahlil (Predictive Analytics): Mashinali o'qish (Machine Learning) modellari o'quvchining joriy o'zlashtirish ko'rsatkichlari asosida kelgusida qaysi fan yoki mavzuni o'zlashtirishda qiynalishini oldindan bashorat qiladi va o'qituvchiga hamda o'quvchining o'ziga maxsus ogohlantirish yuboradi.

Avtomatlashtirilgan real vaqt bayonnomalari va boshqaruv panellari (Dashboards): O'qituvchilar uchun maxsus yaratilgan raqamli interfeys orqali sinfdagi har bir o'quvchining dars davomidagi faolligi, topshiriqlarni bajarish foizi va o'zlashtirish darajasi onlayn rejimda aniq jadvallar va grafiklar ko'rinishida namoyon bo'ladi.

O'tkazilgan tahlillar va diagnostik kuzatuvlar natijalari sun'iy intellekt vositalari yordamida kuzatiladigan zamonaviy ta'lim muhitida o'quvchilarning natijalari quyidagi tabaqalashtirilgan statistik ko'rsatkichlar asosida taqsimlanganini ko'rsatdi:

Rivojlanish darajasi	Foiz ko'rsatkichi	Xarakterli pedagogik va psixologik xususiyatlar
Yuqori daraja	32%	AI platformalaridagi o'quv topshiriqlarini belgilangan muddatdan oldin va yuksak sifat bilan bajaradi; tizim taqdim etgan murakkab qo'shimcha vazifalarni muvaffaqiyatli o'zlashtiradi; o'z natijalarini mustaqil ravishda tanqidiy tahlil qiladi.

o'rta daraja	48%	O'quv topshiriqlarini belgilangan me'yorlarda muvaffaqiyatli bajaradi; AI tomonidan aniqlangan kichik xatolarni tizim bergan avtomatlashtirilgan ko'rsatmalar asosida to'g'rilaydi; qo'shimcha yo'naltiruvchi tushuntirishlarga qisman ehtiyoj sezadi.
Past daraja	20%	Real vaqt rejimida tizim qayd etgan ma'lumotlarga ko'ra, topshiriqlarni bajarishda sekinlashadi va muntazam ravishda xatolarga yo'l qo'yadi; o'qituvchining bevosita pedagogik yordamiga jiddiy muhtoj.

Olingan natijalarning chuqur statistik va pedagogik tahlili shuni ko'rsatadiki, o'quvchilarning mutlaq ko'pchiligi (48% o'rta va 32% yuqori daraja) AI asosidagi real vaqt monitoringiga ijobiy yondashib, o'zlashtirish sur'atlarini sezilarli darajada yaxshilamoqda. Sun'iy intellekt o'qituvchining doimiy ravishda qo'lda tekshirish va hisobot yuritish ishlariga sarflaydigan vaqtini keskin qisqartirib, bevosita tushunmovchilikka uchragan o'quvchilar bilan manzilli va individual ishlash imkonini yaratadi.

O'tkazilgan tahlil natijasida o'quvchilarning o'zlashtirishini sun'iy intellekt yordamida real vaqt rejimida kuzatish jarayoni o'zaro bog'liq to'rta bosqichdan iborat yopiq tsikli mexanizm sifatida shakllantirildi: 1) ma'lumot yig'ish; 2) bilim holatini baholash va tahlil qilish; 3) vizuallashtirish va signal berish; 4) pedagogik aralashuv va aks-aloqa. Quyida har bir bosqich alohida ko'rib chiqiladi.

1-bosqich. Ma'lumot yig'ish. Mexanizmning boshlang'ich bosqichida o'quvchining o'quv faoliyatiga oid raqamli izlar — masofaviy ta'lim platformalaridagi faollik, topshiriqlarni bajarish vaqti va sifati, test javoblarining to'g'riligi va urinishlar soni, darslikdagi materiallar bilan ishlash davomiyligi kabi ko'rsatkichlar uzluksiz yig'iladi. Bunday yondashuv ta'lim tahlili (learning analytics) nazariyasida asoslangan bo'lib, unga ko'ra o'quvchi va uning muhiti haqidagi ma'lumotlarni o'lchash, yig'ish, tahlil qilish va hisobot berish o'quv jarayonini tushunish hamda optimallashtirish maqsadida amalga oshiriladi [1]. Ma'lumot yig'ish bosqichining sifati keyingi barcha bosqichlarning aniqligini belgilaydi, shu sababli ma'lumotlarning to'liqligi, dolzarbligi va ishonchliligi ushbu bosqichning asosiy talabi hisoblanadi.

2-bosqich. Bilim holatini baholash va tahlil qilish. Yig'ilgan ma'lumotlar sun'iy intellekt algoritmlari yordamida qayta ishlanadi va o'quvchining har bir mavzu yoki ko'nikma bo'yicha bilim o'zlashtirish ehtimoli (bilim holati) baholanadi. Bu borada bilim holatini kuzatish (knowledge tracing) nazariyasi asosiy metodologik tayanch bo'lib xizmat qiladi: unga ko'ra o'quvchining har bir topshiriqqa bergan javobi asosida uning tegishli ko'nikmani egallash ehtimoli bosqichma-bosqich yangilanib boriladi [6]. Zamonaviy tadqiqotlarda ushbu yondashuv qaror daraxtlari, tasodifiy o'rmon, tayanch vektor mashinalari va sun'iy neyron tarmoqlarini birlashtirgan gibrid modellar bilan boyitilmoqda; bunday gibrid modellar alohida algoritmlarga nisbatan yuqori aniqlik ko'rsatib, xavf ostidagi o'quvchilarni ancha erta aniqlash imkonini beradi [4]. Ushbu bosqichning natijasi — har bir o'quvchi va har bir mavzu bo'yicha o'zlashtirish darajasini ifodalovchi son ko'rsatkich (ehtimollik yoki reyting) bo'lib, u keyingi bosqichga uzatiladi.

3-bosqich. Vizualashtirish va signal berish. Tahlil natijalari o'qituvchi va, tegishli hollarda, o'quvchining o'ziga tushunarli shaklda — boshqaruv panellari (dashboard), rang-belgi tizimi yoki avtomatik bildirishnomalar ko'rinishida taqdim etiladi. Bu bosqichning vazifasi xom ma'lumotni pedagogik jihatdan foydali axborotga aylantirishdir. Ko'p modallikdagi (multimodal) ma'lumotlar asosida real vaqtli aks-aloqa berish tizimlari o'qituvchiga darsning borishi davomida o'quvchilarning diqqati, faolligi va tushunish darajasi haqida tezkor signal berish imkonini yaratadi, bu esa aralashuvni kechiktirmasdan amalga oshirishga xizmat qiladi [7]. Vizualashtirish bosqichida axborotning ortiqcha yuklanishidan saqlanish, ya'ni faqat pedagogik qaror qabul qilish uchun zarur bo'lgan asosiy ko'rsatkichlarni taqdim etish muhim ahamiyat kasb etadi.

4-bosqich. Pedagogik aralashuv va aks-aloqa. Yakuniy bosqichda o'qituvchi (yoki avtomatlashtirilgan tizimning o'zi, oldindan belgilangan pedagogik ssenariylar doirasida) olingan signal asosida aralashuv choralari qo'llaydi: qo'shimcha tushuntirish, individual topshiriq, maslahat yoki motivatsion xabar berish mumkin. Aralashuv natijalari, o'z navbatida, yangi ma'lumot sifatida 1-bosqichga qaytadi va tsikl davom etadi. Xorijiy tadqiqotlar sun'iy intellekt asosidagi bunday tizimlarni qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlovchi vosita sifatida, inson — ya'ni o'qituvchi — qarorini almashtiruvchi emas, balki uni to'ldiruvchi vosita sifatida qo'llash zarurligini alohida ta'kidlaydi, aks holda algoritm natijalariga ortiqcha tayanish o'quvchilarni asossiz tavsiflash (stigmatizatsiya) xavfini keltirib chiqarishi mumkin [4; 5].

Taklif etilayotgan to'rt bosqichli mexanizmni O'zbekiston ta'lim tizimi sharoitida joriy etish uchun ma'lum tashkiliy-iqtisodiy zamin shakllanmoqda.

Xususan, O'zbekiston oliy ta'lim tizimida sun'iy intellekt texnologiyalarini joriy etishning iqtisodiy samaradorligini o'rgangan tadqiqotda HEMIS, Moodle va o'xshash tizimlarni SI vositalari bilan integratsiyalash natijasida o'qituvchi mehnat yukining 10–15 foizga kamayishi, ma'muriy jarayonlarning avtomatlashtirilish darajasi esa 35–40 foizga yetishi mumkinligi ko'rsatilgan [8]. Bu ma'lumotlar real vaqtli o'zlashtirish monitoringi tizimlarini joriy etish uchun zarur bo'lgan raqamli infratuzilma va institutsional tayyorgarlikning shakllanib borayotganidan dalolat beradi. Shu bilan birga, davlat darajasida qabul qilingan "Sun'iy intellekt texnologiyalarini 2030-yilga qadar rivojlantirish strategiyasi" ta'lim sohasini SI integratsiyasining ustuvor yo'nalishlaridan biri sifatida belgilashi taklif etilayotgan mexanizmning strategik asosini ta'minlaydi [2].

Shu bilan birga, mexanizmni amaliyotga tatbiq etishda bir qator cheklov va xavflarni hisobga olish zarur. Birinchidan, o'quvchiga oid xatti-harakat va o'zlashtirish ma'lumotlarini uzluksiz yig'ish ma'lumotlar maxfiyligi va ularni himoya qilish masalasini dolzarblashtiradi, bu borada aniq huquqiy-me'yoriy mexanizmlar va institutsional javobgarlik zarur [4; 8]. Ikkinchidan, sun'iy intellekt algoritmalarining xolisligi masalasi muhim ahamiyatga ega: agar model chetlangan yoki nomutanosib ma'lumotlar asosida o'qitilgan bo'lsa, u ayrim o'quvchi guruhlariga nisbatan adolatsiz xulosalar chiqarishi mumkin. Uchinchidan, mexanizmning samarali ishlashi o'qituvchilarning raqamli savodxonligi va ularni tegishli tayyorlashga bog'liq — texnologiya o'z-o'zidan pedagogik natijani kafolatlamaydi, balki uni o'qituvchi malakasi va pedagogik mahorati bilan birgalikda ta'minlaydi.

XULOSA.

O'tkazilgan tadqiqot natijasida o'quvchilarning o'zlashtirishini sun'iy intellekt yordamida real vaqt rejimida kuzatish jarayoni ma'lumot yig'ish, bilim holatini baholash, vizuallashtirish va pedagogik aralashuvdan iborat to'rt bosqichli yopiq tsikli mexanizm sifatida asoslandi. Ushbu model ta'lim tahlili va bilim holatini kuzatish nazariyalarining sintezi asosida ishlab chiqilgan bo'lib, o'zlashtirish jarayonini yakuniy nazorat natijalarigacha kutmasdan, uning barcha bosqichlarida kuzatish va o'z vaqtida pedagogik yordam ko'rsatish imkonini yaratadi.

Tadqiqot shuni ko'rsatdiki, O'zbekistonda mazkur mexanizmni joriy etish uchun davlat siyosati darajasidagi strategik asos (Sun'iy intellektni 2030-yilga qadar rivojlantirish strategiyasi, "Raqamli O'zbekiston – 2030") va dastlabki tashkiliy-iqtisodiy shart-sharoitlar shakllanib bormoqda. Shu bilan birga, mexanizmni samarali va xavfsiz joriy etish uchun quyidagi tavsiyalar amaliy ahamiyatga ega: 1) o'quvchilarga oid ma'lumotlarni himoya qilishning aniq huquqiy-institutsional mexanizmlarini ishlab chiqish; 2) sun'iy intellekt tizimlarini faqat o'qituvchining pedagogik qarorini qo'llab-quvvatlovchi, uni almashtirmaydigan vosita sifatida loyihalashtirish; 3) o'qituvchilarning raqamli va SI-savodxonligini oshirishga qaratilgan uzluksiz malaka oshirish dasturlarini yo'lga qo'yish; 4) taklif etilgan mexanizmni dastlab pilot loyihalar asosida sinovdan o'tkazib, keyin bosqichma-bosqich kengaytirish. Keyingi tadqiqotlarda ushbu mexanizmning aniq o'quv fani yoki ta'lim bosqichi (masalan, boshlang'ich sinf matematikasi) misolida empirik sinovdan o'tkazilishi va uning o'zlashtirish ko'rsatkichlariga ta'sirini miqdoriy baholash dolzarb yo'nalish bo'lib qolmoqda.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

- [1] Siemens G. Learning analytics: the emergence of a discipline // American Behavioral Scientist. — 2013. — Vol. 57, No. 10. — P. 1380–1400. DOI: 10.1177/0002764213498851.
2. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 14-oktabrdagi PQ-358-son qarori. Sun'iy intellekt texnologiyalarini 2030-yilga qadar rivojlantirish strategiyasini tasdiqlash to'g'risida.
- [3] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktabrdagi PF-6079-son Farmoni. "Raqamli O'zbekiston — 2030" strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risida.
- [4] Wang Y. Artificial intelligence in student management systems to enhance academic performance monitoring and intervention // Scientific Reports. — 2025. — Vol. 15. — Art. 35122. DOI: 10.1038/s41598-025-19159-4.
- [5] Dogan M. E., Goru Dogan T., Bozkurt A. The Use of Artificial Intelligence (AI) in Online Learning and Distance Education Processes: A Systematic Review of Empirical Studies // Applied Sciences. — 2023. — Vol. 13. — Art. 3056. DOI: 10.3390/app13053056.
- [6] Corbett A. T., Anderson J. R. Knowledge tracing: Modeling the acquisition of procedural knowledge // User Modeling and User-Adapted Interaction. — 1994. — Vol. 4, No. 4. — P. 253–278.
- [7] Di Mitri D., Schneider J., Drachsler H. Keep Me in the Loop: Real-Time Feedback with Multimodal Data // International Journal of Artificial Intelligence in Education. — 2022. — Vol. 32. — P. 1093–1118. DOI: 10.1007/s40593-021-00281-z.
- [8] Radjabov B. A. Oliy ta'limda sun'iy intellekt texnologiyalarini joriy etishning iqtisodiy samaradorligi tahlili // Raqamli iqtisodiyot va axborot texnologiyalari (TDIU). — 2025. — №3 (iyul–sentabr). — B. 94–99.

UO‘K 519.6:004.42:62

MUHANDISLIK MASALALARINI YECHISHDA AMALIY MATEMATIKA USULLARI VA MATHCAD TIZIMINING TATBIQI

Abdurazakov Abdujabbor

Farg‘ona davlat texnika universiteti, e-mail: abdurazakovabdujabbor46@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada amaliy matematika usullarining qurilish mexanikasi, mashinalar dinamikasi va gidravlikaga oid muhandislik masalalarini yechishdagi tatbiqi Mathcad kompyuter matematikasi tizimi yordamida ko‘rib chiqilgan. Oddiy differensial tenglamalar asosida bir oraliqli balkaning egilishi va mashina poydevorining majburiy tebranishlari tahlil qilingan, Kolbruk–Uayt nochiziqli tenglamasini sonli yechish orqali quvurdagi gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti va napor yo‘qotilishi aniqlangan. Har bir masala uchun matematik model, analitik yechim, Mathcad hujjati fragmenti, grafik va jadval ko‘rinishidagi natijalar keltirilgan. Natijalar analitik va sonli usullarni Mathcad muhitida uyg‘unlashtirish muhandislik hisoblarining aniqligi va samaradorligini oshirishini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: amaliy matematika, matematik model, Mathcad, differensial tenglama, balka egilishi, majburiy tebranish, rezonans, Kolbruk tenglamasi.

Аннотация. В статье рассматривается применение методов прикладной математики к решению инженерных задач строительной механики, динамики машин и гидравлики с использованием системы компьютерной математики Mathcad. На основе обыкновенных дифференциальных уравнений проанализированы прогиб однопролётной балки и вынужденные колебания фундамента машины, а численным решением нелинейного уравнения Колбрука–Уайта определены коэффициент гидравлического трения и потери напора в трубопроводе. Для каждой задачи приведены математическая модель,

аналитическое решение, фрагмент документа Mathcad, а также результаты в виде графиков и таблиц. Результаты показывают, что сочетание аналитических и численных методов в среде Mathcad повышает точность и эффективность инженерных расчётов.

Ключевые слова: прикладная математика, математическая модель, Mathcad, дифференциальное уравнение, прогиб балки, вынужденные колебания, резонанс, уравнение Колбрука.

Abstract. The article considers the application of applied mathematics methods to engineering problems of structural mechanics, machine dynamics and hydraulics using the Mathcad computer algebra system. Based on ordinary differential equations, the deflection of a simply supported beam and the forced vibrations of a machine foundation are analyzed, while the hydraulic friction factor and head loss in a pipeline are determined by numerically solving the nonlinear Colebrook–White equation. For each problem, the mathematical model, analytical solution, a Mathcad worksheet fragment, and results in the form of graphs and tables are presented. The results show that combining analytical and numerical methods in the Mathcad environment improves the accuracy and efficiency of engineering calculations.

Keywords: applied mathematics, mathematical model, Mathcad, differential equation, beam deflection, forced vibration, resonance, Colebrook equation.

Kirish. Zamonaviy muhandislik amaliyotida konstruksiyalarning mustahkamligi, mashinalarning dinamik barqarorligi va gidravlik tizimlarning energiya samaradorligini asoslash murakkab matematik hisoblarni talab qiladi. Bunday hisoblarning nazariy asosini amaliy matematika – differensial tenglamalar, sonli usullar va chiziqli algebra tashkil etadi [1, 7]. Biroq ko‘plab real masalalar nochiziqli bo‘lib, ularning analitik yechimi mavjud emas yoki juda murakkab.

So‘nggi yillarda bu muammoni hal etishda Mathcad kabi kompyuter matematikasi tizimlari keng qo‘llanilmoqda. Mathcad hujjatida formulalar an‘anaviy matematik yozuvda kiritiladi, o‘lchov birliklari avtomatik nazorat qilinadi, hisoblash natijalari esa darhol grafik ko‘rinishda tasvirlanadi [5, 8]. Bu dasturlash tillaridan farqli ravishda muhandisning e‘tiborini algoritm yozishga emas, balki masalaning fizik mohiyatiga qaratish imkonini beradi.

Maqolaning maqsadi – muhandislikning uch yo‘nalishiga oid tipik masalalar misolida amaliy matematika usullari va Mathcad tizimini birgalikda qo‘llash metodikasini ishlab chiqish va natijalarning ishonchliligini asoslashdan iborat.

Tadqiqot metodologiyasi. Tadqiqot quyidagi bosqichlarda olib borildi: 1) muhandislik ob‘ekting hisob sxemasini tuzish; 2) mexanika va gidravlika qonunlari asosida matematik modelni shakllantirish; 3) modelni analitik usulda (imkon qadar) yechish; 4) Mathcad muhitida sonli yechim olish va uni analitik natija bilan solishtirish; 5) natijalarni me‘yoriy talablar bilan taqqoslab muhandislik xulosasi chiqarish. Hisoblashlarda Mathcad Prime tizimining root, odesolve funksiyalari va o‘lchov birliklari bilan ishlash imkoniyatlaridan foydalanildi.

1. Balka egilishini hisoblash (qurilish mexanikasi). Uzunligi L bo‘lgan, ikki uchi sharnirli tayangan va tekis taqsimlangan q yuklama ta’siridagi po‘lat balkani ko‘rib chiqamiz (1-rasm, a). Egilgan o‘q differensial tenglamasi [2]:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -M(x), \quad M(x) = \frac{qx(L-x)}{2}, \quad (1)$$

bu yerda E – elastiklik moduli, I – kesimning inersiya momenti. (1) ni ikki marta integrallab, $y(0)=y(L)=0$ chegaraviy shartlardan foydalansak, egilish chizig‘i tenglamasini olamiz:

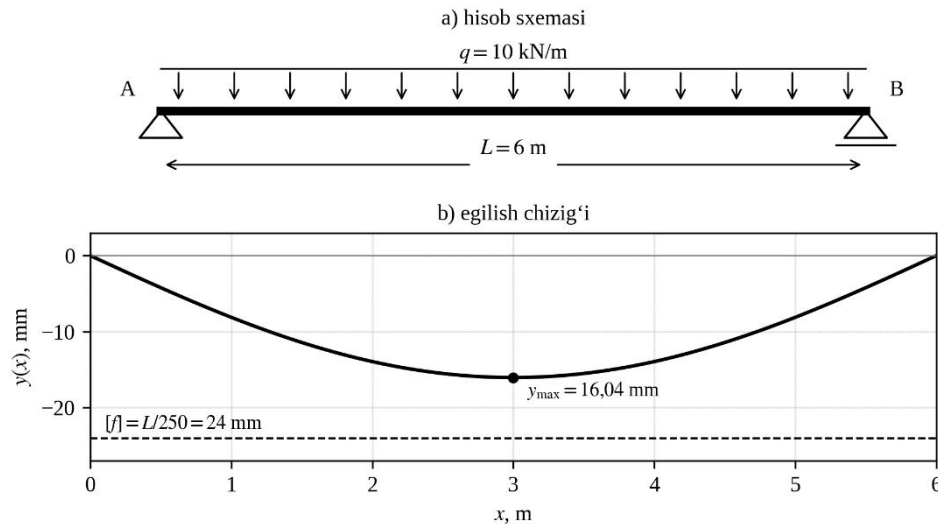
$$y(x) = \frac{qx(L^3 - 2Lx^2 + x^3)}{24EI}, \quad y_{\max} = y\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{5qL^4}{384EI}. \quad (2)$$

Hisob uchun $L=6$ m, $q=10$ kN/m, $E=2,1 \cdot 10^{11}$ Pa hamda 27-raqamli qo'shtavr ($I=5010$ sm⁴, $W=371$ sm³) qabul qilindi. Mathcad hujjati fragmenti:

$$L := 6 \text{ m} \quad q := 10 \text{ kN/m} \quad E := 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Pa} \quad I := 5010 \text{ cm}^4 \quad W := 371 \text{ cm}^3$$

$$y(x) := \frac{q \cdot x \cdot (L^3 - 2 \cdot L \cdot x^2 + x^3)}{24 \cdot E \cdot I} \quad y \left(\frac{L}{2} \right) = 16,04 \text{ mm} \quad \sigma := \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot W} = 121,3 \text{ MPa}$$

Maksimal salqilik $y_{\max}=16,04$ mm ruxsat etilgan $[f]=L/250=24$ mm dan, eng katta normal kuchlanish $\sigma_{\max}=121,3$ MPa esa po'latning hisobiy qarshiligi $R=210$ MPa dan kichik. Demak, balka bikrlilik va mustahkamlik shartlarini qanoatlantiradi. Mathcad o'lchov birliklarini avtomatik o'zgartirgani sababli (kN, sm⁴, Pa) birliklarni o'tkazishdagi xatolar istisno qilinadi.



1-rasm. Balkaning hisob sxemasi (a) va Mathcad'da qurilgan egilish chizig'i (b)

2. Mashina poydevorining majburiy tebranishlari (mashinalar dinamikasi). Garmonik kuch ta'siridagi poydevorni bir erkinlik darajali «massa – prujina – dempfer» tizimi sifatida modellashtiramiz [3]:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \cos \omega t, \quad x(0)=0, \quad \dot{x}(0)=0. \quad (3)$$

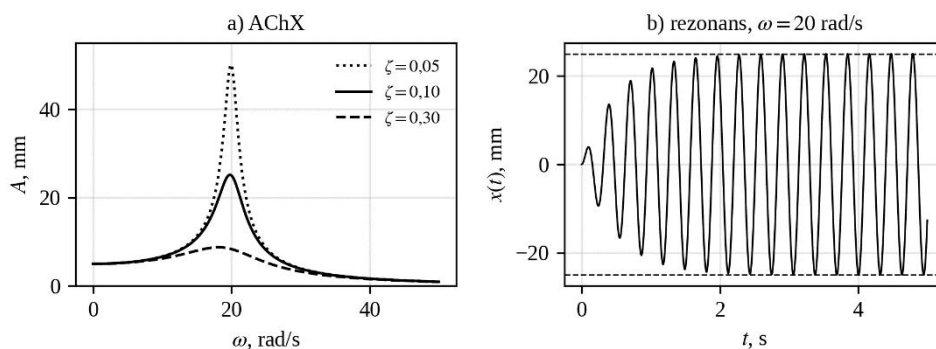
Barqaror rejimdagi tebranish amplitudasi, ya'ni amplituda-chastota xarakteristikasi (AChX):

$$A(\omega) = \frac{F_0}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}}, \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad \zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}. \quad (4)$$

$m=500$ kg, $k=2 \cdot 10^5$ N/m, $c=2000$ N·s/m, $F_0=1000$ N bo'lganda $\omega_0=20$ rad/s, so'nish koeffitsiyenti $\zeta=0,1$. (3) tenglama Mathcad'da quyidagicha yechildi:

$$m := 500 \text{ kg} \quad k := 2 \cdot 10^5 \text{ N/m} \quad c := 2000 \text{ N} \cdot \text{s/m} \quad F_0 := 1000 \text{ N} \quad \omega := 20 \text{ s}^{-1}$$

Yechish bloki: $m \cdot x''(t) + c \cdot x'(t) + k \cdot x(t) = F_0 \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad x(0)=0 \quad x'(0)=0 \quad x := \text{odesolve}(x(t), 5 \text{ s})$



2-rasm. Poydevorning AChX (a) va rezonans rejimidagi o'tish jarayoni (b)

2-rasm, b dan ko'rinadiki, rezonansda tebranishlar taxminan 2,5 s ichida barqaror 25 mm amplitudaga chiqadi. Bu qiymat (4) formula bo'yicha analitik natija $A(\omega_0)=F_0/(c \omega_0)=25$ mm bilan to'liq mos keladi hamda statik siljish $\delta_{st}=F_0/k=5$ mm dan 5 marta katta. Dempfirlashning ta'siri 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval. So'nish koeffitsiyentining rezonans amplitudasiga ta'siri

ζ	$c, \text{N}\cdot\text{s/m}$	$A_{\max}, \text{mm}$	Dinamik koeffitsiyent $\mu=A_{\max}/\delta_{st}$
0,05	1000	50,1	10,0
0,10	2000	25,1	5,0
0,30	6000	8,7	1,7

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, dempferlash koeffitsiyentini 3 marta oshirish rezonans amplitudasini qariyb 3 marta kamaytiradi. Bu natija vibroizolyatorlarni tanlashda amaliy tavsiya sifatida xizmat qiladi.

3. Quvurdagi napor yo'qotilishi (gidravlika). Turbulent oqimda gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti λ Kolbruk–Uayt noxiziqli tenglamasidan aniqlanadi [4, 6]:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{\Delta}{3,7d} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right), \quad Re = \frac{vd}{\nu}, \quad (5)$$

napor yo'qotilishi esa Darsi–Veysbax formulasi bilan hisoblanadi:

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}. \quad (6)$$

(5) tenglama λ ga nisbatan oshkor ko'rinishda yechilmaydi, shuning uchun Mathcad'ning root funksiyasi (oraliqni teng ikkiga bo'lish va vatarlar usullariga asoslangan) qo'llanildi:

$$d := 0,1 \text{ m} \quad l := 500 \text{ m} \quad \Delta := 0,2 \text{ mm} \quad \nu := 1,006 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad Re(\nu) := \frac{v \cdot d}{\nu}$$

$$\lambda(\nu) := \text{root} \left(\frac{1}{\sqrt{\lambda}} + 2 \cdot \lg \left(\frac{\Delta}{3,7 \cdot d} + \frac{2,51}{Re(\nu) \cdot \sqrt{\lambda}} \right), \lambda, 0,008, 0,1 \right) \quad h_f(\nu) := \lambda(\nu) \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Suvning oqish tezligiga bog'liq hisoblash natijalari 2-jadvalda berilgan.

2-jadval. Ishqalanish koeffitsiyenti va napor yo‘qotilishining oqim tezligiga bog‘liqligi ($d=100$ mm, $l=500$ m, $\Delta=0,2$ mm)

$v, \text{ m/s}$	$Re \cdot 10^{-3}$	λ	$h_f, \text{ m}$
0,5	49,7	0,0265	1,69
1,0	99,4	0,0251	6,40
1,5	149,1	0,0246	14,10
2,0	198,8	0,0243	24,79
3,0	298,2	0,0240	55,11

$v=2$ m/s da $\lambda=0,0243$, napor yo‘qotilishi $h_f \approx 24,8$ m, bosim yo‘qotilishi esa $\Delta p = \rho g h_f \approx 243$ kPa ni tashkil etadi. Tezlik 1 m/s dan 2 m/s gacha oshganda yo‘qotishlar 3,9 marta ortadi. Bu esa nasos quvvatini to‘g‘ri tanlash va quvur diametrini optimallashtirish zarurligini ko‘rsatadi.

Natijalar va muhokama. O‘tkazilgan hisoblar natijasida uch xil turdagi matematik masala – chegaraviy masala (balka), Koshi masalasi (tebranishlar) va noxiziqli algebraik tenglama (gidravlika) – yagona Mathcad muhitida samarali yechilishi ko‘rsatildi. Birinchi va ikkinchi masalalarda sonli natijalar analitik formulalar (2) va (4) bilan to‘liq mos keldi, bu qo‘llanilgan algoritmnining ishonchliligini tasdiqlaydi. Uchinchi masalada esa analitik yechim mavjud bo‘lmagani sababli sonli usul yagona amaliy vosita bo‘ldi. Mathca‘ning afzalliklari quyidagilarda namoyon bo‘ldi: formulalarning qog‘ozdagi matematik yozuvga yaqinligi hujjatni tekshirishni osonlashtiradi; o‘lchov birliklarining avtomatik nazorati birliklarni noto‘g‘ri o‘tkazish xatolarini bartaraf etadi; boshlang‘ich ma‘lumotlar o‘zgarganda barcha natijalar va grafiklar avtomatik qayta hisoblanadi. Bu parametrik tahlil (1-, 2-jadvallar) o‘tkazishni sezilarli darajada tezlashtiradi. Shu bilan birga, dasturning natijasi to‘g‘ri tuzilgan matematik modelga bog‘liq ekanini unutmashlik lozim: kompyuter tizimi muhandisning nazariy tayyorgarligini to‘ldiradi, lekin uning o‘rnini bosa olmaydi.

XULOSA

1. Amaliy matematika usullari va Mathcad tizimini birgalikda qo‘llash muhandislik masalalarini hisob sxemasidan tortib me‘yoriy tekshiruv gacha bo‘lgan to‘liq sikl bo‘yicha yechish imkonini beradi.
2. Ko‘rib chiqilgan misollarda balkaning bikrlilik va mustahkamlik sharti bajarilishi, poydevor rezonans amplitudasini dempferlash orqali 3 marta kamaytirish mumkinligi hamda quvurdagi napor yo‘qotilishining tezlikka kuchli noxiziqli bog‘liqligi asoslandi.
3. Analitik yechimlarni sonli natijalar bilan solishtirish kompyuter hisoblarining ishonchliligini ta‘minlashning samarali usuli hisoblanadi. Mathcad tizimini texnika oliy ta‘lim muassasalarida oliy matematika va umummuhandislik fanlari o‘qitishiga keng joriy etish maqsadga muvofiq.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Kreyszig E. Advanced Engineering Mathematics. 10th ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2011. – 1264 p.
- [2] Gere J.M., Goodno B.J. Mechanics of Materials. 8th ed. – Stamford: Cengage Learning, 2013. – 1152 p.
- [3] Rao S.S. Mechanical Vibrations. 6th ed. – Hoboken: Pearson, 2017. – 1136 p.

[4] Colebrook C.F. Turbulent flow in pipes, with particular reference to the transition region between the smooth and rough pipe laws // Journal of the Institution of Civil Engineers. – 1939. – Vol. 11, No. 4. – P. 133–156.

[5] Макаров Е.Г. Инженерные расчёты в Mathcad 15: учебный курс. – СПб.: Питер, 2011. – 400 с.

[6] Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

[7] Isroilov M.I. Hisoblash metodlari. 1-qism. – T.: O‘zbekiston, 2003. – 440 b.

[8] PTC Mathcad Prime: Help Center [Elektron resurs]. – URL: <https://support.ptc.com/help/mathcad> (murojaat sanasi: 17.09.2026).

OLIY TA’LIM TIZIMIDA RAQAMLI VA BULUTLI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA ALGORITMLARNI O‘QITISH SAMARADORLIGINI OSHIRISH

Ablaqulov Kamoliddin Bahriddinovich¹, Avlaqulov Jamoliddin Bahriddinovich²

¹Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi 180100, O‘zbekiston,

e-mail: abkamoliddin19_87@umail.uz

²Qarshi davlat universiteti, Qarshi 180103, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada oliy ta’limda raqamli texnologiyalar, elektron ta’lim resurslari va bulutli texnologiyalardan foydalanish masalalari yoritilgan. Shuningdek, talabalarining algoritmik fikrlashini rivojlantirish, algoritmlarning vaqt va fazoviy murakkabligini baholash hamda ularning samaradorligini tahlil qilishning asosiy jihatlari ko‘rib chiqilgan.

Kalit so‘zlar: raqamli ta’lim, sun’iy intellekt, algoritm, algoritmik fikrlash, algoritm murakkabligi, vaqt murakkabligi, fazoviy murakkablik, elektron ta’lim resurslari, bulutli texnologiyalar, ta’lim samaradorligi.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы использования цифровых технологий, электронных образовательных ресурсов и облачных технологий в высшем образовании. Особое внимание уделено развитию алгоритмического мышления студентов, оценке временной и пространственной сложности алгоритмов, а также анализу их эффективности.

Ключевые слова: цифровое образование, искусственный интеллект, алгоритм, алгоритмическое мышление, сложность алгоритма, временная сложность, пространственная сложность, электронные образовательные ресурсы, облачные технологии, эффективность образования.

Abstract. The article examines the use of digital technologies, electronic educational resources, and cloud technologies in higher education. Particular attention is paid to developing students’ algorithmic thinking, evaluating the time and space complexity of algorithms, and analyzing their efficiency.

Keywords: digital education, artificial intelligence, algorithm, algorithmic thinking, algorithm complexity, time complexity, space complexity, electronic educational resources, cloud technologies, educational efficiency.

Ta’lim uzluksiz va individual yo‘naltirilgani bu ayni damda raqamli texnologiyaning rivojlanganidan darak beradi. Bizga ma’lumki, XXI asr axborot texnologiyalari asri, shunday ekan, bu asrda texnologiyalarning rivojlanishiga alohida e’tibor qaratilmoqda. Hozirgi kunda texnologiyalarning hamma joyga kirib borishi bir qator muammolarni bartaraf qilib borayotganidan darak beradi [1]. Zamonaviy ta’lim tizimida o‘rganish uchun internet muhitidan foydalanish birinchi o‘rinda turadi [2-3].

Oliy ta'lim tizimida elektron ta'lim resurslarining zamonaviy imkoniyatlaridan foydalanish "Ta'lim to'g'risida"gi Qonun va Davlat ta'lim standartlari malaka talablari kabi me'yoriy hujjatlarda ko'rib chiqilgan bo'lib, unda elektron ta'lim resurslari ta'lim jarayonining muhim tarkibiy qismini amalga oshirishga xizmat qiladi. Davlat ta'lim standarti malaka talablariga muvofiq ravishda ta'lim jarayoni pedagog tomonidan qo'llab-quvvatlashga va talabalar mustaqilligini oshirishga yo'naltirilgan.

Shu bilan birga, elektron ta'lim resurslari yordamida o'qitishning zamonaviy shakl va metodlarini qo'llash bilan ta'limda zamonaviy axborot kommunikatsiya texnologiyalaridan faol foydalanish talab etiladi. Shu munosabat bilan professor-o'qituvchilardan qo'shimcha harakatlar: elektron darsliklar va boshqa o'quv materiallarini mahalliy tarmoqqa joylashtirish, savol va topshiriqlar ro'yxatini tuzish, mustaqil ishlarni bajarish bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqish, doimiy ravishda nazoratni olib borish va baholashni ta'minlash, agar kerak bo'lsa, talabalarga onlayn maslahat berish va shu kabilar talab qilinadi.

Oliy ta'lim muassasalarida tahsil olayotgan talabalarning mustaqil dasturiy ta'minotni ishlab chiqarish olishlarini samarali tashkil etishda kompyuterning pedagogik dasturiy vositalari hamda tarmoq texnologiyalari, jumladan Web platformadan foydalanish, ta'lim texnologiyalaridan foydalanish va ta'lim jarayonida bulutli texnologiyalarni qo'llashlari lozim bo'ladi [4-5].

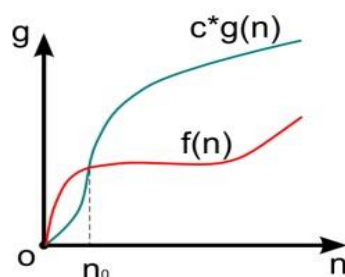
Kompyuter o'z hisoblash usuli bilan birga tezkor, aniq va shu bilan birga butunlay o'zgacha amallarni bajaruvchi hisoblanadi. Turli masalalarni yechishda undan foydalanganda kompyuter shunga mos qismlarni o'zi o'ylab topadi, – degan fikr xato, kompyuter ishlashi uchun unga aniq va to'liq masalalarni tushuntirishi kerak. Bu bilan qo'yilgan masala uchun algoritmi to'g'ri taqsimlash usuliga e'tibor qaratiladi. Algoritm – so'nggi natijani hosil qilish uchun kerakli bo'lgan, biror harakatni amalga oshiruvchi ketma-ket tartiblangan qat'iy o'rnatilgan tizim. Bu g'alati bo'lishi mumkin, lekin real hayotda bunday holatda har doim duch kelinadi. Omadli telefon qo'ng'irog'i uchun kerakli bo'lgan amallar tartibini o'z ichiga oluvchi telefon-avtomatdan foydalanish instruksiyasi ham shundan andoza oladi. Maishiy texnikadan foydalanish qoidalari va boshqalar tushunarli shaklda u yoki bu holda nima qilish kerakligidan qat'iy nazar harakatlar algoritmini belgilab ko'rsatadi [6-7].

Hisoblash muammolari cheklangan holda resurslaridan qisqa vaqt ichida oqilona foydalanish kerak. Bunday holat algoritmnining vaqt va fazoviy murakkabligi tushunchasiga olib boradi. Qoida tariqasida shuni aytish zarurki, algoritm turli vaqtlarda bajarishi mumkin bo'lgan turli xil amallarni o'z ichiga oladi.

Algoritmni baholash uchun ko'pgina mezonlar mavjuddir. Odatda algoritmni kirituvchi hamda berilganlarni ko'payishida masalani yechish uchun kerak bo'ladigan vaqt va xotira hajmlarini o'sish tartibini aniqlash muammosiga katta e'tibor qaratiladi. Har bir aniq kiritiladigan masalaga berilganlarni miqdorini aniqlovchi qandaydir sonni bog'lash zarur hisoblanadi. Bu yerda son masalaning kattaligi deb qabul qilinadi. Masalan, ikkita matritsani ko'paytirishda masalaning o'lchami va kattaligiga e'tibor berish zarurdir yoki graflar haqidagi masalada o'lcham sifatida graf uchlarning soni bo'lishi eng muhim ish hisoblanadi.

Murakkablikning o'sish tartibi katta kirish hajmi uchun algoritmnining murakkablik funksiyasining taxminiy xatti-harakatini ifodalaydi. Bundan kelib chiqadiki, vaqt murakkabligini baholashda elementar o'rtasidagi amallarni ko'rib chiqishning hojati yo'q bo'ladi, bunda faqat algoritm qadamlarini ko'rib chiqish kifoyadir. Algoritm qadami – bu ketma-ket joylashtirilgan elementar va amallar to'plami, uning bajarilish vaqtiga hamda kirish qadamiga bog'liq emas, ya'ni yuqoridan qandaydir chegaraviy qadamlar bilan cheklangandir.

Asimptotik baholashning ko'rinishlarini $F(n) > 0$ murakkabligini, bir xil tartibdagi $g(n) > 0$ funksiyasini hamda $n > 0$ o'lchamliligini ko'rib chiqaylik. Agar $f(n) = O(g(n))$ va $n > n_0$ uchun $c > 0$, $n_0 > 0$ konstantalar mavjud bo'lsa, u holda $0 < f(n)$ bo'ladi.



1-rasm. Asimptotik baholash

Bu holda $g(n)$ funksiyasi $f(n)$ uchun asimptotik-aniq baho hisoblangan bo'ladi. Agar $f(n)$ algoritmnining murakkablik funksiyasi bo'lsa, unda murakkablik tartibi $f(n)$ uchun - $O(g(n))$ deb qabul qilinadi. Ushbu ibora doimiy koeffitsiyentgacha $g(n)$ dan tez o'smaydigan funksiyalar sinfini belgilab beradi.

Algoritmlar samaradorligini hisoblashda kirish ma'lumotini qanday tanlash ko'rilayotgan algoritmnı bajarilishiga yaxshigina ta'sir ko'rsatib o'tadi. Masalan, agar kirish ma'lumotlari allaqachon saralangan bo'lsa, ba'zi saralash algoritmlari juda yaxshi ishlaydi, ayrimlari ancha past samaradorlik bilan ishlashi mumkin. Agar kirish ma'lumotlari saralanmagan, tartibsiz bo'lsa, u holda buni aksi bo'lishi mumkin. Shuni e'tiborga olgan holda algoritmlar tahlil qilinishi zarurdir.

Eng yaxshi holatlarida algoritm kirish ma'lumotlari tez bajarilishi uchun qulay ko'rinishda bo'lishi lozim, ya'ni algoritm kam sonli amallar bilan bajariladi va kam vaqt talab etadi. Masalan, agar tuzilmadan qidirayotgan element tuzilmaning birinchi elementi bo'lib hisobga olinsa, uni qidirishda eng kam vaqt sarflanadi. Chunki, tuzilmaning uzunligidan qat'iy nazar, bitta solishtirish yetarli bo'ladi. Algoritmlarni eng yaxshi holatlarini tahlil qilishda odatda, bajarilish vaqti konstanta birga teng bo'lishi sababli ko'pincha bunday holatlar tahlillarda ko'rilmaydi.

Eng og'ir holatlarida kirish ma'lumotlari algoritm bajarilishi uchun eng yomon og'ir holatda amalga oshiriladi va juda sekin bajariladi. Bu eng og'ir holat tahlillarida muhim hisoblanadi, chunki bu algoritm bajarilishi uchun ketishi mumkin bo'lgan maksimal vaqtni tahlil qilishga sabab bo'ladi. Masalan, qidirilayotgan element tuzilmaning eng oxirgi elementi bo'lsa, uni topish uchun barcha solishtirishlar ketma-ket amalga oshiriladi. O'rtacha holatlarida algoritmnıing o'rtacha ishlash imkoniyatini beruvchi kirish ma'lumotlari to'plami muhokama qilinadi.

Axborot-kommunikatsiya texnologiyalariga asoslangan innovatsion ta'lim tizimini samarali va tizimli ravishda joriy etish ta'lim sifatini oshirish, o'quv jarayonini zamonaviy raqamli vositalar bilan ta'minlash hamda ta'lim oluvchilarning mustaqil bilim olish imkoniyatlarini kengaytirishga xizmat qiladi. Ayniqsa, bulutli texnologiyalardan foydalanish elektron ta'lim resurslarini saqlash, qayta ishlash va ulardan istalgan vaqt hamda joyda foydalanish imkonini yaratadi. Bunday yondashuv ta'lim jarayonining uzluksizligi va moslashuvchanligini ta'minlab, professor-o'qituvchilar hamda talabalar o'rtasidagi raqamli hamkorlikni rivojlantiradi. Shu sababli ta'lim darajasini zamonaviy bulutli texnologiyalar imkoniyatlariga moslashtirish, raqamli ta'lim muhitini rivojlantirish va innovatsion pedagogik yondashuvlarni amaliyotga tatbiq etish bugungi ta'lim tizimining muhim vazifalaridan biri hisoblanadi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI:

[1] Романова И. Облачные технологии и их применение // Молодой ученый, № 17.1. 2016. С.109-112.

[2] Траинев. В.А. Новые информационно-коммуникационные технологии в образовании: Информационное общество. Информационно-образовательная среда. Электронная педагогика. Облачное модульное построение информационных технологий / М., Дашков, 2013. 320 с.

[3] Емелянова О.А. Применение облачных технологий в образовании // Молодой ученый, № 3 (62). 2014. С. 907-909.

[4] Ablaqulov K.B. Methodological and practical aspects of applying artificial intelligence technologies in education // Universum: психология и образование : электрон. научн. журн. 2026. 2(140). URL: <https://7universum.com/ru/psy/archive/item/21802>

[5] Ablaqulov K. (2026). Methodological aspects of teaching artificial intelligence fundamentals and data analysis in technical specializations. «ACTA NUUZ», 1(1.2), 42–45. Retrieved from <https://journals.nuu.uz/index.php/actanuuz/article/view/10856>

[6] Аблакулов К.Б. Применение облачных технологий и их преимущества и недостатки // Fan, innovatsion texnika va texnologiyalarning rivojlanish istiqbollari mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy anjumani. Qarshi. 2023. 322-325 b.

[7] Ablaqulov Kamoliddin Bahriddinovich REKURSIYA VA UNI DASTURLASHDA QO‘LLASH // Alfraganus. 2025. №6 (17). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rekursiya-va-uni-dasturlashda-qo-llash>

ISSIQLIK ALMASHINUVI JARAYONINI MATEMATIK MODELLASHTIRISH VA PROGNOZLASH

Axunova Gulnoza Baxodirovna

University of economics and pedagogy, Andijon shahri

Annotatsiya. Maqolada issiqlik almashinuvi jarayoni Nyutonning sovish qonuni asosida matematik modellashiriladi. Boshlang‘ich va kuzatilgan haroratdan model parametri aniqlanib, keyingi vaqt nuqtalari uchun prognoz va belgilangan haroratga yetish vaqti hisoblanadi. Shartli hisobiy misol yordamida modelni tuzish, yechish, parametrni baholash, qoldiqni tekshirish va qo‘llanish chegarasini belgilash bosqichlari ko‘rsatiladi. Natija matematik modelning foydasi uning farazlari va o‘lchov ma‘lumotlari bilan birgalikda baholanishiga bog‘liqligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: matematik modellashirish, issiqlik almashinuvi, Nyutonning sovish qonuni, differensial tenglama, parametrni baholash, prognoz, qoldiq.

Аннотация. В статье процесс теплообмена моделируется на основе закона охлаждения Ньютона. По начальной и наблюдаемой температурам определяется параметр модели, рассчитываются прогнозы и время достижения заданной температуры. На условном числовом примере представлены построение модели, решение уравнения, оценка параметра, анализ остатков и границ применимости. Показано, что полезность математической модели следует оценивать с учётом её допущений и измерительных данных.

Ключевые слова: математическое моделирование, теплообмен, закон охлаждения Ньютона, дифференциальное уравнение, оценка параметра, прогноз, остаток.

Abstract. This article models heat exchange using Newton’s law of cooling. The model parameter is estimated from an initial and an observed temperature, and predictions and the time to reach a target temperature are calculated. A hypothetical numerical example illustrates model formulation, solution, parameter estimation, residual checks, and limits of applicability. The usefulness of a mathematical model depends on examining its assumptions alongside measurement data.

Keywords: mathematical modeling, heat exchange, Newton’s law of cooling, differential equation, parameter estimation, prediction, residual.

KIRISH

Matematik modellashirish real jarayondagi muhim bog‘lanishlarni tanlab, ularni matematik ifoda orqali tasvirlash va shu ifodadan tekshiriladigan xulosalar olish jarayonidir. Fizik hodisaning barcha tafsilotlarini bitta tenglamaga sig‘dirish mumkin emas. Shuning uchun model tuzuvchi tadqiqot savolini, o‘lchanadigan kattaliklarni, farazlarni va model amal qiladigan sharoitni avvaldan

belgilaydi. Model yordamida olingan son o'z-o'zicha dalil bo'lmaydi: uni kuzatuvlar hamda fizik ma'no bilan solishtirish zarur [1; 2].

Issiq jismning atrof-muhit haroratiga yaqinlashishi sodda, ammo mazmunli modellashtirish misolidir. Uning yordamida o'zgarish tezligi, boshlang'ich shart, noma'lum parametr, prognoz va model xatoligi tushunchalarini bitta masalada bog'lash mumkin. Maqolaning maqsadi doimiy muhit harorati sharoitida sovish modelini tuzish, uni shartli kuzatuv asosida kalibrlash va natijani tanqidiy talqin qilishdir. Tadqiqot usullari analitik yechim, parametrni baholash, hisobiy jadval va qoldiq tahlilidan iborat. Bu ishda real tajriba o'tkazilgani da'vo qilinmaydi.

Modelning matematik qo'yilishi

Jism harorati $T(t)$, atrof-muhit harorati T_a bo'lsin. t vaqt minutlarda, harorat esa Selsiy gradusida o'lchanadi. Atrof-muhit harorati o'zgarmas, jismning ichki harorati bir jinsli va tashqi issiqlik manbai yo'q deb faraz qilamiz. Nyutonning sovish qonuniga ko'ra harorat o'zgarish tezligi jism va muhit haroratlari farqiga proporsional: $dT/dt = -k(T - T_a)$, bunda $k > 0$ sovish koeffitsiyenti va uning birligi min^{-1} [1]. Manfiy ishora $T > T_a$ holatda harorat kamayishini ifodalaydi.

Boshlang'ich shart $T(0) = T_0$ bo'lsa, tenglamaning yechimi $T(t) = T_a + (T_0 - T_a)e^{(-kt)}$ ko'rinishida olinadi. Bu formuladan $T(0) = T_0$ va t ortganda $T(t)$ ning T_a ga yaqinlashishi darhol kelib chiqadi. $T_0 > T_a$ va $k > 0$ bo'lganda $dT/dt < 0$; demak, model doirasida sovish monoton davom etadi. Formulani boshlang'ich shart va differensial tenglamaga qayta qo'yish yechimni tekshirishning zarur bosqichidir [1].

Model parametri k jism shakli, sirt xususiyati va tashqi muhitdagi issiqlik almashinuvi sharoitlarining umumlashgan ta'sirini ifodalaydi. Uni har bir vaziyat uchun o'zgarmas universal son deb qabul qilish mumkin emas. Masalan, havo oqimi o'zgarsa, kuzatilgan sovish tezligi ham o'zgarishi mumkin. Shu bois kalibrlash ma'lum bir jism va o'lchash sharoitiga bog'lanadi.

Parametrni aniqlash va hisobiy misol

Hisoblash tartibini ko'rsatish uchun shartli ma'lumotlar olamiz: $T_a = 20^\circ\text{C}$, $T_0 = 80^\circ\text{C}$ va 10 minutdan keyin $T(10) = 50^\circ\text{C}$. Ushbu qiymatlar haqiqiy tajribadan olingan kuzatuvlar emas. Modelga qo'ysak, $50 = 20 + 60e^{(-10k)}$, bundan $e^{(-10k)} = 1/2$ va $k = \ln 2 / 10 \approx 0,069315 \text{ min}^{-1}$ hosil bo'ladi. Demak, muhitdan ortiqcha harorat har 10 minutda ikki baravar kamayadi. Hosil bo'lgan model $T(t) = 20 + 60 \cdot 2^{(-t/10)}$ ko'rinishida yoziladi.

Bu model 20 minut uchun $T(20) = 35^\circ\text{C}$, 30 minut uchun $T(30) = 27,5^\circ\text{C}$ qiymatlarni beradi. Maqsad harorat 30°C bo'lsa, $30 = 20 + 60e^{(-kt)}$ tenglamasidan $t = \ln 6 / k = 10 \ln 6 / \ln 2 \approx 25,85$ minut kelib chiqadi. Natijani mazmunan tekshirsak, 20 minutdagi 35°C va 30 minutdagi $27,5^\circ\text{C}$ orasida 30°C joylashgani sababli topilgan vaqt 20 bilan 30 minut oralig'ida bo'lishi kerak. Hisob bu mezonga mos keladi.

Jadval 1. Shartli ma'lumotlar asosida model hisoblari

Vaqt, min	Model harorati, °C	Talqin
0	80,0	Boshlang'ich qiymat
10	50,0	Parametrni aniqlash nuqtasi
20	35,0	Prognoz
30	27,5	Prognoz

Bitta o'lchov nuqtasi parametrning algebraik qiymatini topishga yetadi, ammo modelning mosligini mustaqil tekshirib bermaydi. Yuqoridagi 20 va 30 minutlik sonlar formuladan hosil qilingan prognozlar bo'lib, mustaqil kuzatuv emas. Haqiqiy tajribada ular alohida o'lchanib, prognoz bilan qiyoslanishi kerak. Shu farq modelni ko'rsatish uchun tuzilgan misol bilan empirik tasdiqni chalkashtirmaslikka yordam beradi.

Bir nechta kuzatuv mavjud bo'lsa, k ni barcha nuqtalar asosida baholash maqsadga muvofiq. T_i kuzatilgan harorat, t_i esa o'lchash vaqti bo'lganda $Q(k) = \sum [T_i - T_a - (T_0 - T_a)e^{(-kt_i)}]^2$ funksiyani minimumga keltirish mumkin. Bu parametrni eng kichik kvadratlar usuli bilan baholashning ko'rinishidir. Uning natijasi optimallashtirish algoritmi, dastlabki taxmin va o'lchov sifati bilan bog'liq; parametrni topgandan so'ng qoldiqlarni ham tekshirish lozim [3].

Qoldiq, sezgirlik va prognozning ishonchliligi

Har bir vaqt nuqtasidagi qoldiq $e_i = T_i - \hat{T}(t_i)$ deb belgilanadi; bu yerda $\hat{T}$ model bashoratidir. Qoldiqlarning mutlaq kattaligi bilan bir qatorda vaqtga nisbatan tartibi ham ahamiyatli. Masalan, qoldiqlar ketma-ket bir xil ishorada qolsa yoki vaqt o'tishi bilan muntazam ortsa, muhit harorati o'zgargan, k doimiy bo'lmagan yoxud modelning boshqa farazi buzilgan bo'lishi mumkin. Qoldiq tahlili shunchaki bitta umumiy xatolik ko'rsatkichidan ko'ra ko'proq ma'lumot beradi [4].

Model sezgirligini analitik ko'rish mumkin: $\partial T / \partial k = -t(T_0 - T_a)e^{(-kt)}$. $t=0$ da k ning haroratga ta'siri nol; keyingi vaqt nuqtalarida ta'sir paydo bo'ladi. U juda katta t da yana kamayadi, chunki harorat muhit haroratiga yaqinlashadi. Shuning uchun parametrni ajratib olish uchun barcha o'lchovlarni faqat boshlanishda yoki faqat juda kech vaqtda yig'ish qulay emas. Vaqt nuqtalarining tanlanishi baholash aniqligiga ta'sir qiladi.

Muhit haroratini noto'g'ri kiritish ham parametr va prognozga ta'sir etadi. Agar T_a aslida vaqt davomida o'zgarsa, doimiy T_a li yechim vaqt oraliq'ining bir qismidagina yaqinlashuv bo'lishi mumkin. Bunday vaziyatda tashqi haroratning o'lchangan vaqt qatori $T_a(t)$ modelga kiritiladi va $dT/dt = -k[T - T_a(t)]$ tenglama qaraladi. Analitik yechim qulay bo'lmasa, sonli integrallash qo'llanadi. Murakkablikni oshirish faqat mavjud ma'lumot va aniqlik talabi bilan asoslanishi kerak.

30 °C ga yetish vaqti ham parametrga sezgir: $t^* = \ln[(T_0 - T_a)/(30 - T_a)]/k$. k qiymati ortsa, t^* kamayadi. Shartli misolda k 10 foiz yuqoriroq baholansa, maqsadga yetish vaqti taxminan 25,85/1,1 ≈ 23,50 minut; k 10 foiz pastroq bo'lsa, 25,85/0,9 ≈ 28,72 minut chiqadi. Bu hisob faqat k dagi farqni ajratib ko'rsatadi; boshqa parametrlar o'zgarishi ham natijaga ta'sir qiladi.

Vaqtning prognozlashda modelning ishlatiladigan oraliq'i muhim. 10 minutlik bir kuzatuvdan aniqlangan k ni 20 yoki 30 minutgacha qo'llash ham tekshirishni talab etadi; juda uzoq muddatga ekstrapolyatsiya qilish yanada noaniq. Model nazariy jihatdan T_a ga asimptotik yaqinlashadi, lekin real termometrning aniqlik chegarasi sababli juda kichik harorat farqlari amalda ajratilmasligi mumkin. Shuning uchun prognozni o'lchash aniqligidan ortiq aniqlikda talqin qilish to'g'ri emas.

Modellashtirish bosqichlarini o'qitishda qo'llash

Oliy matematika mashg'ulotida ushbu masalani olti izchil bosqichda ishlash mumkin: fizik vaziyatni tasvirlash, farazlarni yozish, tenglama va boshlang'ich shartni tuzish, parametrni baholash, prognoz hisoblash va natijani tekshirish. Birinchi bosqichda talabalar qanday kattalikni bashorat qilishini belgilaydi. Ikkinchi bosqichda muhit harorati va jismning ichki bir jinsliliigi haqidagi farazlarni muhokama qiladi. Keyingi bosqichlarda esa formuladagi har bir belgi o'lchov birligi bilan izohlanadi.

Masalan, talabadan " $k=0,069315$ " soni nimani anglatishi va nima uchun uning birligi min^{-1} ekani so'ralishi mumkin. Agar vaqt soniyalarda o'lchansa, koeffitsiyent $0,069315/60 \text{ s}^{-1}$ ko'rinishiga o'tadi; birlikni almashtirmay qoldirish noto'g'ri prognoz beradi. Yana bir topshiriqda $T_0=80 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_a=20 \text{ }^\circ\text{C}$ bo'lsa, 30 °C ga yetish vaqti 10 minutdan katta bo'lishini hisoblashdan oldin taxmin qildirish mumkin. Bunday oldindan baholash algebraik natijani mazmun bilan bog'laydi.

Elektron jadvalda vaqtlar va formuladan olingan haroratlar ustunini qurish, keyin haqiqiy o'lovlarini alohida ustunga kiritish qulay. Grafikda model chizig'i va kuzatuv nuqtalari bir o'qda tasvirlanadi. Kuzatuvlar chiziqdan muntazam og'sa, talabalar parametrni qayta baholash yoki farazlarni qayta ko'rish haqida asoslangan qaror chiqaradi. Raqamli vosita hisobni tezlashtiradi, ammo modelni tanlash va tekshirish mas'uliyati foydalanuvchida qoladi.

Bir xil formula boshqa jism yoki boshqa xona uchun avtomatik ko'chirilmaydi. Talabalar ikki sharoitda hisoblangan k larni taqqoslab, farqning fizik sababini izohlashi mumkin. Bunda faqat parametrlardan qaysi biri kattaligini aytish yetarli emas: harorat o'lovining sifati, vaqt oralig'i va muhitning barqarorligi ham ko'riladi. Shu tarzda matematik modellash tayyor formulani qo'llashdan ko'ra masalani qo'yish, taxmin qilish va dalilga qaytish ko'nikmasiga aylanadi.

Modelni tekshirish uchun o'lchash rejasini oldindan tuzish kerak. Agar harorat faqat $t=0$ va $t=10$ nuqtalarda qayd etilsa, k ni hisoblash mumkin, lekin modelning oraliqdagi shaklini tekshirish qiyin. Masalan, 5, 15, 20 va 25 minutlarda qo'shimcha o'lovlar olinsa, ba'zilar parametrni baholashga, qolganlari mustaqil tekshiruvga ajratilishi mumkin. Barcha nuqtalarni parametr tanlashda ishlatib, keyin aynan o'sha nuqtalarga yaqinlikni "mustaqil tasdiq" deb atash ilmiy jihatdan noto'g'ri. Bu ajratish ayniqsa kuzatuvlar soni kichik bo'lganda ochiq bayon qilinishi kerak.

Termometr o'lovining vaqt bo'yicha kechikishi ham muhim. Jismning harorati tez o'zgarayotgan dastlabki daqiqalarda qurilma ko'rsatishi haqiqiy haroratdan ortda qolishi mumkin. Shuningdek, o'lov jismning turli nuqtalarida bajarilsa, ichki harorat bir jinsli degan faraz buziladi. Bunday vaziyatda modelning har bir qoldig'ini faqat tasodifiy o'lchash xatosi deb tushuntirish yetarli emas. Tajriba protokolida termometr joyi, o'lchash vaqti va muhit harorati qayd etilishi natijalarni qayta ishlab ko'rish imkonini beradi.

Harorat farqining logarifmini olish yana bir diagnostik yo'l beradi: $\ln[T(t)-T_a]=\ln(T_0-T_a)-kt$. Agar T_a ma'lum va barcha o'lovlar T_a dan yuqori bo'lsa, ushbu kattalikning vaqtga nisbatan grafigi taxminan to'g'ri chiziq bo'lishi kutiladi. Chiziq qiyaligi $-k$ ga teng. Biroq logarifmlash xatolik tuzilishini o'zgartiradi: $T-T_a$ juda kichiklashganda haroratdagi ozgina xato logarifmda katta farq berishi mumkin. Shu sababli to'g'ri chiziqli grafik ko'rgazmali diagnostika bo'lsa-da, parametr bahosini tanlashda o'lov xatosi xususiyatini ham hisobga olish lozim.

Modelning muqobil shakllari ham tadqiqot savoliga bog'liq. Agar muhit harorati davriy o'zgarsa, $T_a(t)$ tashqi ta'sir sifatida kiritiladi. Agar jism ichida harorat bir xil bo'lmasa, faqat vaqtga bog'liq bitta $T(t)$ o'rniga fazoviy taqsimot ham qaraladi. Bunday holda issiqlik o'tkazuvchanligi tenglamasi kabi murakkabroq model talab qilinishi mumkin. Biroq murakkab model ko'proq parametr va ma'lumot talab etadi. Eng soddada model kuzatuvni yetarli darajada tushuntirayotgan bo'lsa, murakkablikni maqsadsiz oshirish hisobni qiyinlashtiradi.

Anjuman mavzusi nuqtai nazaridan bunday modellash texnologik jarayonda sovitish vaqtini rejalash, o'lchash jadvalini tanlash va kutilayotgan haroratni oldindan baholashga oid umumiy usulni ko'rsatadi. Har qanday amaliy qo'llanishda esa mazkur maqoladagi shartli sonlar o'rniga tegishli qurilma va sharoitda olingan o'lovlar ishlatilishi lozim. Qaror qabul qilishdan oldin model prognozi mustaqil nuqtalarda tekshiriladi va natija tegishli xavfsizlik yoki sifat talabi bilan solishtiriladi.

Natijalarni taqdim etish uchun ko'rsatkichlar ham bir xil aniqlikda yozilishi kerak. Boshlang'ich sonlar butun graduslarda berilganda 25,85 minut natijasi matematik hisobning qiymati bo'lib, kuzatuv noaniqligi aniqlanmaguncha 0,01 minut darajasidagi amaliy aniqlikni anglatmaydi. Masalan, $T(10)$ o'lovi 49 °C yoki 51 °C chiqsa, k mos ravishda boshqa qiymatga ega bo'ladi. Maqoladagi markaziy hisobni shu ikkita ehtimoliy qiymat bilan takrorlash o'lovdagi kichik farqning prognozga qanday uzatilishini ko'rsatadi. Bunday sezgirlik mashqi talabalarga model natijasidagi ko'p xonali sonni mutlaq haqiqat deb qabul qilmaslikni o'rgatadi.

$T(10)=49$ °C deb olinsa, $k=\ln(60/29)/10\approx 0,07269$ min⁻¹, 30 °C ga yetish vaqti taxminan 24,65 minut bo'ladi. $T(10)=51$ °C bo'lsa, $k=\ln(60/31)/10\approx 0,06603$ min⁻¹ va vaqt taxminan 27,14

minutga teng. Demak, faqat bitta kuzatilgan haroratning ± 1 °C farqi ham ushbu misolda maqsadga yetish vaqtini bir necha minutga siljitadi. Bu ± 1 °C ni termometrning e'lon qilingan aniqligi deb emas, sezgirlikni namoyish qiluvchi shartli o'zgarish deb talqin qilish kerak.

Yechimning matematik chegaralari ham mazmunli savollar tug'diradi. $T_0 > T_a$ bo'lganda model $T(t) > T_a$ tengsizlikni har qanday chekli t uchun saqlaydi. Shuning uchun "jism aynan qachon 20 °C bo'ladi?" degan savolga ushbu uzluksiz model chekli vaqt bermaydi: limitga yaqinlashish bilan aynan tenglik farqlanadi. Amalda esa qurilma aniqligi doirasida muhit haroratidan farq sezilmay qoladigan vaqt tanlanadi. Bu cheklov matematik idealizatsiya va tajribadagi o'lchash mezoni o'rtasidagi farqni ochib beradi.

Parametr bahosi va qoldiqlarni tekshirish uchun hisob jadvali yetarli bo'lishi mumkin. Har bir qatorga t_i , T_i , $\hat{T}_i$, e_i va e_i^2 yoziladi; oxirgi ustun yig'indisi $Q(k)$ ni beradi. k qiymatini o'zgartirib $Q(k)$ ning kamayishini kuzatish optimallashtirish ma'nosini ko'rsatadi. Biroq turli jadval yoki dasturdagi natijalarni qiyoslashda vaqt birligi, e soni uchun ishlatilgan aniqlik va qaysi nuqtalar kalibrlashga kiritilgani bir xil bo'lishi shart. Shunda usulni boshqa tadqiqotchi ham qayta hisoblay oladi.

Sovish koeffitsiyentining boshqa ta'riflari bilan chalkashmaslik kerak. Ayrim adabiyotlarda $dT/dt = k(T - T_a)$ ko'rinishi tanlanib, sovish uchun k manfiy bo'ladi. Ushbu maqolada esa $dT/dt = -k(T - T_a)$ va $k > 0$ kelishuvi ishlatilgan. Ikkala yozuv bir hodisani tasvirlashi mumkin, biroq hisobning barcha bosqichida ishora kelishuvi izchil saqlanishi lozim. Aks holda eksponent o'suvchi bo'lib qoladi va $T_0 > T_a$ sharoitida sovish o'rniga haroratning ortishi kelib chiqadi. Modelni tekshirishdagi dastlabki savol shu fizik yo'nalishning to'g'riligidir.

Boshlang'ich shartdagi xato ham keyingi vaqtga uzatiladi. Agar T_0 qiymatiga δT_0 tuzatish kiritilsa, boshqa shartlar o'zgarmaganda prognozning farqi $\delta T(t) = \delta T_0 e^{(-kt)}$ bo'ladi. Demak, boshlang'ich harorat xatosining ta'siri vaqt bilan kamayadi. Biroq T_a dagi xatolik boshqacha namoyon bo'ladi, chunki u yechimning uzoq muddatli chegarasini belgilaydi. Bu ikki omilni alohida o'zgartirib ko'rish talabalarga modelning qaysi kirish ma'lumoti qaysi vaqt oralig'ida muhimligini tushuntiradi.

Natija grafik ko'rinishda berilganda o'qlar nomi va birliklari yoziladi: gorizont o'qda vaqt, min; vertikal o'qda harorat, °C. Shartli $T_a = 20$ °C gorizont chiziq bilan ko'rsatilsa, egri chiziqlarning nimaga yaqinlashayotgani ravshan bo'ladi. Modelni kalibrlashda ishlatilgan $t = 10$ dagi nuqta va mustaqil tekshiruv uchun olinadigan nuqtalar turli belgi bilan tasvirlanishi maqsadga muvofiq. Grafikdagi ko'rinish hisob formulalarining o'rnini bosmaydi, ammo noto'g'ri birlik, ishora va kutilmagan og'ishni tez sezishga yordam beradi.

O'quv topshirig'ini baholashda faqat yakuniy son emas, model tuzish mantiqi ham e'tiborga olinadi. Talaba farazni aniq yozishi, parametr birligini ko'rsatishi, boshlang'ich shartni tekshirishi, hisob natijasini oraliq baho bilan solishtirishi va prognozning qaysi sharoitda amal qilishini izohlashi mumkin. Bir xil sonli javob turli, ba'zan noto'g'ri yo'llar bilan olingani uchun baholash mezoni bosqichlar bo'yicha tuziladi. Bunday mezon matematik hisoblash bilan modellashtirish fikrini farqlab beradi.

XULOSA

Nyutonning sovish qonuni asosida tuzilgan model shartli misolda $k = \ln 2 / 10 \text{ min}^{-1}$ qiymatini, 20 va 30 minutlarda mos ravishda 35 °C va 27,5 °C prognozlarni hamda 30 °C ga yetish uchun taxminan 25,85 minut vaqtini berdi. Ushbu sonlar tanlangan boshlang'ich shart va doimiy muhit harorati faraziga tegishli. Modelning haqiqiy jarayonga mosligini baholash uchun mustaqil o'lchovlar, qoldiq tahlili va parametr sezgirligi kerak. Matematik modellashtirishning amaliy qiymati aynan matematik yechim bilan tekshiriladigan kuzatuv o'rtasidagi bog'lanishda namoyon bo'ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Strang G., Herman E. Calculus Volume 2. Houston: OpenStax, 2016. 4.3-bo'lim: Separable Equations. URL: <https://openstax.org/books/calculus-volume-2/pages/4-3-separable-equations> (murojaat sanasi: 25.09.2026).
- [2] National Institute of Standards and Technology. Introduction to Process Modeling. nist/sematech e-Handbook of Statistical Methods. URL: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmd/section1/pmd1.htm> (murojaat sanasi: 25.09.2026).
- [3] National Institute of Standards and Technology. Nonlinear Least Squares Regression. nist/sematech e-Handbook of Statistical Methods. URL: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmd/section1/pmd142.htm> (murojaat sanasi: 25.09.2026).
- [4] National Institute of Standards and Technology. Are the model residuals well-behaved? nist/sematech e-Handbook of Statistical Methods. URL: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section2/pri24.htm> (murojaat sanasi: 25.09.2026).

TRANSPORT OQIMI DINAMIKASINI TAVSIFLOVCHI MATEMATIK MODELLAR

Baboyev Alijon Madaminovich¹, Komolova Gulmira Zufar qizi²

¹ O'z MUJF Amaliy matematika kafedrası dotsenti, t.f.n.

² O'z MUJF Amaliy matematika mutaxassisligi magistranti

Annotatsiya. Maqolada shahar transport oqimining vaqt va makon bo'yicha o'zgarishini matematik jihatdan ifodalash masalasi ko'rib chiqilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi transport oqimining zichligi, o'rtacha tezligi va harakat jadalligi o'rtasidagi bog'lanishlarni bitta tizimli yondashuvda tavsiflash hamda turli matematik modellarni amaliy qo'llash imkoniyatlarini aniqlashdan iborat. Ishda makroskopik yondashuvning asosiy g'oyasi, uzluksizlik tenglamasi va tezlik-zichlik munosabatlari tahlil qilinadi. Shuningdek, Greenshields tipidagi empirik bog'lanishdan foydalanib, oqim holatini baholash va LWR modelining transport oqimi dinamikasini tavsiflashdagi o'rni ko'rsatiladi. Model parametrlarining fizik mazmuni tushuntirilib, ularni real kuzatuv ma'lumotlari asosida aniqlash tartibi taklif etiladi. Natijalar transport oqimini prognozlash, tirbandlik shakllanishini tahlil qilish va yo'l harakatini boshqarish uchun matematik modellashtirishdan foydalanish mumkinligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: transport oqimi, harakat jadalligi, zichlik, tezlik, matematik model, makroskopik model, uzluksizlik tenglamasi, LWR modeli, Greenshields modeli, tirbandlik.

Аннотация. В статье рассматривается математическое описание изменения транспортного потока во времени и пространстве. Цель исследования заключается в системном описании взаимосвязи плотности потока, средней скорости и интенсивности движения, а также в определении возможностей практического применения различных математических моделей. Рассматриваются основные положения макроскопического подхода, уравнение непрерывности и зависимости между скоростью и плотностью. На основе эмпирической зависимости типа Гриншилдса показана возможность оценки состояния транспортного потока, а также рассмотрена роль модели LWR в описании его динамики. Раскрывается физический смысл параметров моделей и предлагается порядок их определения по данным реальных наблюдений. Полученные результаты показывают возможность использования математического моделирования для прогнозирования транспортных потоков, анализа формирования заторов и поддержки управления дорожным движением.

Ключевые слова: транспортный поток, интенсивность движения, плотность, скорость, математическая модель, макроскопическая модель, уравнение непрерывности, модель LWR, модель Гриншилдса, затор.

Abstract. The paper considers a mathematical description of the variation of urban traffic flow in time and space. The purpose of the study is to describe the relationship between traffic density, mean speed and flow intensity within a unified approach and to identify the practical applicability of mathematical models. The main ideas of the macroscopic approach, the conservation equation and speed-density relationships are considered. An empirical Greenshields-type relationship is used to characterize traffic states, while the role of the LWR model in describing traffic dynamics is discussed. The physical meaning of the model parameters is explained and a procedure for estimating them from real traffic observations is proposed. The results indicate that mathematical modelling can be used for traffic-flow forecasting, analysis of congestion formation and support of traffic management decisions.

Keywords: traffic flow, flow intensity, density, speed, mathematical model, macroscopic model, conservation equation, LWR model, Greenshields model, congestion.

KIRISH

Shahar hududlarida transport vositalari sonining ortishi yo‘l tarmog‘ining ishlash rejimiga sezilarli ta‘sir ko‘rsatmoqda. Transport oqimi bir vaqtning o‘zida ko‘plab transport vositalarining harakatidan tashkil topgani sababli uning holatini faqat alohida avtomobil harakati orqali tavsiflash ko‘pincha yetarli bo‘lmaydi. Amaliy masalalarda oqimni umumlashtiruvchi ko‘rsatkichlar, xususan, harakat jadalligi, zichlik va o‘rtacha tezlikdan foydalanish qulaydir.

Transport oqimining muhim xususiyati shundaki, mazkur ko‘rsatkichlar o‘zaro bog‘langan va yo‘lning turli qismlarida vaqt davomida o‘zgaradi. Erkin harakat sharoitida transport vositalari orasidagi masofa nisbatan katta bo‘ladi, oqim zichlashgan sari tezlik pasayadi. Ma‘lum chegaradan keyin yo‘l uchastkasining o‘tkazish qobiliyati kamayib, navbat va tirbandlik shakllanishi mumkin.

Shu sababli transport oqimining dinamikasini matematik modellar yordamida ifodalash transport tizimini tahlil qilishning muhim yo‘nalishlaridan biridir. Mazkur maqolada oqimning asosiy parametrlarini birlashtiruvchi makroskopik modellar, tezlik va zichlik orasidagi bog‘lanish hamda oqimning vaqt-makon bo‘yicha evolyutsiyasini tavsiflovchi uzluksizlik tenglamasi ko‘rib chiqiladi.

MATERIALLAR VA USULLAR

Tadqiqotda transport oqimini uzluksiz muhit sifatida qarashga asoslangan makroskopik yondashuv tanlandi. Bunday yondashuvda alohida avtomobillar emas, balki yo‘lning ma‘lum kesimidagi oqimning o‘rtacha holati o‘rganiladi. Asosiy o‘zgaruvchilar quyidagilar: $q(x,t)$ — harakat jadalligi, $k(x,t)$ — transport zichligi va $v(x,t)$ — o‘rtacha tezlik.

Ushbu kattaliklar orasidagi asosiy bog‘lanish quyidagicha yoziladi:

$$q(x,t) = k(x,t) \cdot v(x,t) \quad (1)$$

Bu tenglama bir xil vaqt oralig‘ida yo‘lning ma‘lum kesimidan o‘tuvchi transport vositalari soni zichlik va o‘rtacha tezlikning ko‘paytmasi bilan bog‘liqligini bildiradi. Tenglama transport oqimining asosiy parametrlarini yagona matematik tizimga birlashtirish imkonini beradi.

Oqimning saqlanish qonuni uzluksizlik tenglamasi orqali ifodalanadi:

$$\partial k / \partial t + \partial q / \partial x = 0 \quad (2)$$

Bu yerda $\partial k / \partial t$ yo‘lning qaralayotgan qismida transport zichligining vaqt bo‘yicha o‘zgarishini, $\partial q / \partial x$ esa oqimning fazoviy o‘zgarishini bildiradi. Agar ma‘lum bir yo‘l kesimida kiruvchi oqim chiquvchi oqimdan katta bo‘lsa, shu qismda transport vositalari zichligi ortadi; aksincha, chiquvchi oqim ustun bo‘lsa, zichlik kamayadi.

Modelni yopish uchun tezlikning zichlikka bog‘lanishini beruvchi funksional munosabat kerak bo‘ladi. Soddalashtirilgan empirik variant sifatida chiziqli Greenshields munosabati olinadi:

$$v(k) = v_f (1 - k/k_j) \quad (3)$$

Bu yerda v_f — erkin oqimdagi oʻrtacha tezlik, k_j — transport oqimining maksimal zichligi. (3) ifodani (1) ga qoʻyish orqali oqim-zichlik munosabati olinadi:

$$q(k) = v_f k (1 - k/k_j) \quad (4)$$

Mazkur modelda zichlik juda kichik boʻlganda oqim deyarli zichlikka proporsional ravishda ortadi. Zichlikning oʻsishi bilan tezlik kamayadi va oqim maʼlum kritik qiymatda maksimumga erishadi. Keyingi zichlashuv esa oqimning kamayishiga olib keladi.

Transport oqimining vaqt-makon boʻyicha dinamikasini tavsiflash uchun LWR tipidagi makroskopik modeldan foydalanish mumkin. Uning umumiy koʻrinishi:

$$\partial k / \partial t + \partial Q(k) / \partial x = 0 \quad (5)$$

bu yerda $Q(k)$ — oqimning zichlikka bogʻliq funksiyasi. Agar $Q(k)$ (4) koʻrinishda tanlansa, model transport oqimining zichligi yoʻl boʻylab qanday tarqalishini hisoblash imkonini beradi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Model natijalarini talqin qilish uchun transport oqimining uchta holatini ajratish mumkin. Birinchi holat — past zichlikdagi erkin oqim. Bunda avtomobillar orasidagi masofa yetarli boʻlib, tezlik asosan yoʻlning ruxsat etilgan tezligi va haydovchilarning harakat sharoitlari bilan belgilanadi. Ikkinchi holatda zichlik ortadi, avtomobillar oʻzaro taʼsiri kuchayadi va oʻrtacha tezlik pasaya boshlaydi. Uchinchi holatda yoʻlning oʻtkazish imkoniyati chegaralanib, oqimning barqarorligi buzilishi va tirbandlik zonasi paydo boʻlishi mumkin.

Greenshields modelidan kelib chiqib, oqimning maksimum qiymati kritik zichlikda yuzaga keladi. (4) funksiyaning hosilasini nolga tenglashtirish orqali:

$$dq/dk = v_f (1 - 2k/k_j) = 0$$

bundan kritik zichlik $k_{cr} = k_j/2$ ekanligi kelib chiqadi. Shunda maksimal oqim:

$$q_{max} = v_f k_j / 4 \quad (6)$$

koʻrinishida aniqlanadi. Bu natija modelning muhim xususiyatini koʻrsatadi: oqimni faqat transport vositalari sonini koʻpaytirish orqali cheksiz oshirib boʻlmaydi. Zichlik kritik qiymatdan oshganda avtomobillar oʻrtasidagi oʻzaro taʼsir kuchayishi sababli oqim kamayishi mumkin.

Model parametrlarini real shahar yoʻl tarmogʻiga moslashtirish uchun kuzatuv maʼlumotlaridan foydalanish zarur. Masalan, maʼlum vaqt oraligʻida yoʻl kesimidan oʻtgan avtomobillar soni orqali q , videokuzatuv yoki sensor maʼlumotlari orqali k , harakat tezligini oʻlchash orqali esa v aniqlanishi mumkin. Keyin kuzatilgan nuqtalar asosida $v(k)$ yoki $q(k)$ bogʻlanishining parametrlarini baholash mumkin.

Makroskopik modelning afzalligi uning umumiy transport holatini ixcham matematik ifodalar orqali tavsiflay olishidir. Shu bilan birga, chiziqli tezlik-zichlik munosabati real sharoitlarning barcha xususiyatlarini aks ettirmasligi mumkin. Svetoforlar, chorrahalar, piyodalar oqimi, yoʻlning geometrik xususiyatlari, ob-havo va transport tarkibi kabi omillar modelga qoʻshimcha oʻzgaruvchilar sifatida kiritilishi mumkin.

Amaliy hisoblashlarda modelni kalibrlash alohida ahamiyatga ega. Bir xil matematik model turli yoʻl uchastkalarida turlicha parametrlar bilan ishlashi mumkin. Shuning uchun v_f va k_j kabi kattaliklarni tayyor holda qabul qilish oʻrniga mahalliy kuzatuv maʼlumotlari asosida aniqlash modelning amaliy qiymatini oshiradi.

Transport oqimining dinamik modelini yanada rivojlantirish uchun vaqt qatori xususiyatlarini ham hisobga olish mumkin. Masalan, $q(x,t)$ qiymatining avvalgi vaqt nuqtalaridagi holati keyingi oqimni hisoblashda boshlangʻich yoki chegaraviy shart sifatida ishlatiladi. Natijada model real kuzatuvlar bilan bogʻlangan prognozlash tizimining matematik asosiga aylanishi mumkin.

XULOSA

Tadqiqotda transport oqimi dinamikasini tavsiflash uchun makroskopik matematik modellash tirish yondashuvi ko'rib chiqildi. Harakat jadalligi, zichlik va o'rtacha tezlik o'rtasidagi bog'lanish asosiy model tenglamalari orqali ifodalandi. Uzluksizlik tenglamasi transport vositalarining saqlanish xususiyatini aks ettirishi, tezlik-zichlik munosabati esa oqimning fizik holatini belgilashi ko'rsatildi.

Greenshields tipidagi bog'lanish asosida kritik zichlik va maksimal oqim uchun sodda analitik natijalar olindi. Mazkur natijalar transport oqimida zichlikning ortishi har doim ham oqimning ortishiga olib kelmasligini matematik jihatdan ko'rsatadi. LWR tipidagi tenglama esa zichlikning vaqt va makon bo'yicha tarqalishini ifodalash uchun asos yaratadi.

Kelgusida ushbu modelni real shahar yo'l uchastkalari bo'yicha yig'ilgan ma'lumotlar bilan kalibrlash, svetoforlar va chorrahalar ta'sirini hisobga olish, shuningdek, statistik va mashinali o'qitish usullari bilan birlashtirish mumkin. Bu transport oqimini bashorat qilish va tirbandlikni tahlil qilish uchun yanada moslashuvchan matematik modellar yaratishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Lighthill M.J., Whitham G.B. On kinematic waves II. A theory of traffic flow on long crowded roads // Proceedings of the Royal Society A. — 1955. — Vol. 229. — P. 317–345.
- [2] Richards P.I. Shock waves on the highway // Operations Research. — 1956. — Vol. 4, №1. — P. 42–51.
- [3] Greenshields B.D. A study of traffic capacity // Highway Research Board Proceedings. — 1935. — Vol. 14. — P. 448–477.
- [4] Treiber M., Kesting A. Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation. — Berlin: Springer, 2013.
- [5] May A.D. Traffic Flow Fundamentals. — Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1990.
- [6] Helbing D. Traffic and related self-driven many-particle systems // Reviews of Modern Physics. — 2001. — Vol. 73, №4. — P. 1067–1141.

LOGISTIK DIFFERENSIAL TENGLAMANI ANALITIK VA EYLER USULIDA YECHISH

Baxritdinov Baxodirjon

Andijon davlat universiteti, Andijon shahri

Annotatsiya. Maqolada birinchi tartibli differensial tenglamalarning boshlang'ich qiymat masalalarini analitik va sonli yechish usullari qiyosiy tahlil qilinadi. Logistik tenglama misolida o'zgaruvchilarni ajratish yordamida aniq yechim topilib, Eyler usulining uch xil qadamdagi natijalari hisoblanadi. Sonli natijaning aniq yechimdan og'ishi, qadam tanlash va model parametrlarini talqin qilish masalalari yoritiladi. Natijalar analitik tekshiruv va sonli hisobni birgalikda qo'llashning metodik ahamiyatini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: differensial tenglama, boshlang'ich qiymat masalasi, logistik model, analitik yechim, Eyler usuli, yaqinlashish, xatolik.

Аннотация. В статье сопоставлены аналитический и численный методы решения задачи Коши для дифференциального уравнения первого порядка. Для логистического уравнения получено точное решение методом разделения переменных и рассчитаны приближения методом Эйлера при трёх значениях шага. Рассмотрены отклонение численного результата от точного решения, выбор шага и интерпретация параметров модели. Показано методическое значение совместного применения аналитической проверки и численного расчёта.

Ключевые слова: дифференциальное уравнение, задача Коши, логистическая модель, аналитическое решение, метод Эйлера, сходимость, погрешность.

Abstract. This article compares analytical and numerical solutions of an initial value problem for a first order differential equation. For a logistic equation, an exact solution is obtained by separation of variables and Euler approximations are computed with three step sizes. The deviation from the exact solution, step selection, and interpretation of model parameters are discussed. The worked example shows the value of combining analytical verification with numerical computation.

Keywords: differential equation, initial value problem, logistic model, analytical solution, Euler method, convergence, error.

KIRISH

Differensial tenglama noma'lum funksiyaning o'zi va hosilalari orasidagi bog'lanishni ifodalaydi. Jarayonning ma'lum paytdagi holatini emas, vaqt yoki boshqa mustaqil o'zgaruvchi bo'yicha qanday o'zgarishini tasvirlashi bu tenglamalarning asosiy xususiyatidir. Oliy matematika kursida o'sish va kamayish, sovish, elektr zanjiri yoki harakatga oid masalalar orqali differensial tenglama tuziladi. Bu yerda modelni yozish, boshlang'ich shartni kiritish, yechimni topish va uni mazmunan tekshirish bir butun jarayonni tashkil etadi [1; 2].

Ko'plab sodda tenglamalar uchun aniq analitik formula olinadi. Murakkab modelda yoki amaliy hisobda esa sonli yaqinlashuvga ehtiyoj tug'iladi. Analitik formula parametrlarning ta'sirini va uzoq muddatli xatti-harakatni tushuntirishga qulay; sonli usul muayyan nuqtalarda qiymat olish va hisobni algoritmallashtirishga xizmat qiladi. Ushbu maqolaning maqsadi birinchi tartibli boshlang'ich qiymat masalasida mazkur ikki yo'lning vazifasini aniq hisoblangan misol orqali ko'rsatishdir. Tadqiqot usuli sifatida nazariy tahlil, analitik yechish, diskret hisob va natijalarni qiyoslash qo'llandi.

Boshlang'ich qiymat masalasining matematik qo'yilishi

Birinchi tartibli oddiy differensial tenglama $y'=f(t,y)$ shaklida yoziladi. $y(t_0)=y_0$ sharti berilganda aynan shu nuqtadan o'tadigan yechim izlanadi. Boshlang'ich shart umumiy yechimdagi erkin doimiyani aniqlaydi. Tenglama va boshlang'ich qiymatni birga ko'rmasdan sonli natijani talqin qilish xato bo'lishi mumkin: bir xil tenglama turli boshlang'ich shartlarda turli trayektoriyalar beradi. f funksiyasi yetarlicha silliq bo'lgan odatiy sohalarda yechimning mavjudligi va yagonaligi masalasi ham nazariy ahamiyatga ega [1].

Model sifatida $y'=r y(1-y/K)$, $y(0)=y_0$, $r>0$, $K>0$, $0<y_0<K$ logistik tenglamani olamiz. Bu yerda r boshlang'ich o'sish tezligi, K esa model doirasidagi chegaraviy sig'im sifatida talqin qilinadi. y kichik bo'lganda $1-y/K$ ko'paytuvchi birga yaqin va o'sish deyarli eksponensial kechadi. y qiymati K ga yaqinlashganda o'sish sekinlashadi. $y=0$ va $y=K$ doimiy yechimlar bo'lib, $0<y<K$ oralig'ida hosila musbat. Bu sifat tahlili sonli hisobdan oldin kutiladigan natija haqida mezon beradi [2; 3].

Analitik yechim va uni tekshirish

O'zgaruvchilarni ajratish orqali $dy/[y(1-y/K)]=r dt$ hosil qilinadi. Kasrni sodda hadlarga ajratib integrallaganda $\ln|y/(K-y)|=rt+C$ kelib chiqadi. Boshlang'ich shartni qo'llash natijasida $y(t)=K/[1+(K/y_0-1)e^{(-rt)}]$ formula olinadi. Bu ifoda $0<y_0<K$ holatda $y(t)$ ning ortib borishini va t cheksiz ortganda K ga intilishini ko'rsatadi. Formulani tenglamaga qo'yib hosila hisoblash va $t=0$ dagi qiymatni tekshirish analitik yechim to'g'riligini tasdiqlaydi [2].

Hisoblash qulayligi uchun $r=1$, $K=1$, $y_0=0,2$ deb belgilaymiz. Shunda masala $y'=y(1-y)$, $y(0)=0,2$ ko'rinishini oladi va aniq yechim $y(t)=1/[1+4e^{(-t)}]$ bo'ladi. $t=1$ nuqtada $y(1)=0,404609675\dots$. Boshlang'ich qiymat $0,2$ dan katta va 1 dan kichik bo'lgan bu natija modelning sifat xususiyatlariga mos. Ana shu qiymat sonli usulni baholash uchun tayanch hisoblanadi.

Eyler usulining algoritmi

Eyler usulida $t_n = t_0 + nh$ tugunlar tanlanadi va $y_{n+1} = y_n + h f(t_n, y_n)$ formula bilan navbatdagi qiymat topiladi. Bu formula joriy nuqtadagi urinma qiyaligini h masofaga davom ettirish g'oyasiga asoslanadi. h qadam kichrayganda odatda aniqlik ortadi, ammo hisoblash bosqichlari soni ham ko'payadi. Usulning mahalliy kesish xatoligi silliq yechim uchun $O(h^2)$, belgilangan chekli oraliqdagi umumiy xatoligi esa $O(h)$ tartibida bo'ladi [3; 4].

Tanlangan misolda hisoblash qoidasi $y_{n+1} = y_n + h y_n(1 - y_n)$ ga aylanadi. $h=0,5$ bo'lsa, birinchi qadam $y_1 = 0,2 + 0,5 \cdot 0,2 \cdot 0,8 = 0,28$; ikkinchi qadam $y_2 = 0,28 + 0,5 \cdot 0,28 \cdot 0,72 = 0,3808$ bo'ladi. $t_2 = 1$ ekanini hisobga olib, yaqinlashgan natija aniq qiymatdan 0,023809675 ga farq qilishini ko'ramiz. Bir qadamdagi qiyalik butun oraliqda o'zgarmas deb qabul qilinishi natijada pastroq bahoga olib kelgan.

Qadamni ikki baravar kamaytirib $h=0,25$ olsak, ketma-ket qiymatlar $y_0=0,2$; $y_1=0,24$; $y_2=0,2856$; $y_3=0,33660816$; $y_4=0,3924339367$ bo'ladi. $h=0,1$ bilan o'nta qadam bajarilganda $y_{10}=0,3996969923$ olinadi. Ushbu hisoblarda yaxlitlash faqat yakuniy natijaga qo'llangan; oraliq natijalarni erta yaxlitlash jadvaldagi farqni o'zgartirishi mumkin. Qadam qiymati bilan xatolik orasidagi bog'liqlikni quyidagi jadval umumlashtiradi.

Qadam h	Qadamlar soni	$y(1)$ yaqinlashuvi	Mutlaq xatolik
0,5	2	0,3808000000	0,0238096752
0,25	4	0,3924339367	0,0121757385
0,1	10	0,3996969923	0,0049126829

Jadvalda $h=0,5$ dan $h=0,25$ ga o'tilganda xatolik taxminan ikki baravar kamaygani kuzatiladi. $h=0,25$ dan $h=0,1$ ga o'tilganda ham aniqlik yaxshilanadi. Bunday munosabat birinchi tartibli usul uchun kutiladigan tendensiyaga mos keladi, biroq uchta raqamning o'zi usulning barcha masalalar uchun bir xil natija berishini isbotlamaydi. Xatolikni baholashda tenglama xossalari, vaqt oralig'i, qadam va mashina arifmetikasi birgalikda hisobga olinadi. Analitik yechim mavjud bo'lmagan vaziyatlarda qadamni kamaytirib qayta hisoblash va natijalar farqini kuzatish amaliy tekshiruv usullaridan biridir.

Geometrik talqin va sifat tekshiruvi

Tenglamaning $y' = y(1 - y)$ o'ng tomoni $0 < y < 1$ da musbat. Demak, shu oraliqdagi haqiqiy yechim monoton ortadi. Jadvaldagi barcha Eyler qiymatlari ham 0,2 dan yuqori va 1 dan past bo'lib, kutilgan yo'nalishni saqlaydi. Lekin bu xususiyat har qanday katta qadamda avtomatik ta'minlanmaydi. Masalan, qadam haddan ortiq yirik bo'lsa, diskret ketma-ketlik model chegarasidan chiqishi yoki tebranishi mumkin. Shuning uchun faqat sonning hisoblanishi yetarli emas; natija modeldan kelib chiqadigan belgi, chegara va monotonlik shartlari bilan taqqoslanadi.

Analitik yechim parametrlarning rolini aniqroq ochadi. r ortsa vaqt masshtabi qisqaradi va y tezroq K ga yaqinlashadi; K o'zgarsa muvozanat qiymati ham o'zgaradi. Sonli hisobda esa xuddi shu ta'sirlarni turli parametrlar bilan qayta hisoblab ko'rish mumkin. Bunda parametrlar o'lchov birliklariga ega ekanini unutmaslik kerak: vaqt kuni bilan o'lchansa, r bir kunning teskarisi o'lchovida beriladi. Modelni real ma'lumotga tatbiq qilish uchun r va K ni kuzatuvlardan baholash lozim. Ushbu maqoladagi qiymatlar esa usulni namoyish etish uchun tanlangan matematik misoldir.

Usullarni birgalikda qo'llashning afzalligi

Analitik va sonli yo'llar bir-birini tekshirish imkoniyatini beradi. Yechilishi mumkin bo'lgan soddaga tenglamada aniq formula dastur yoki elektron jadvaldagi algoritmnin sinash uchun etalon bo'ladi. Keyin usul murakkabroq tenglamaga qo'llanganda qadamni boshqarish va sifat xossalarni

tekshirish odati saqlanadi. Talaba uchun ham bu bog'liqlik "formula topish" va "son chiqarish"ni alohida mashq sifatida emas, bitta boshlang'ich qiymat masalasining ikki ko'rinishi sifatida tushunishga yordam beradi.

Elektron jadvalda t_n , y_n va $h y_n(1-y_n)$ ustunlarini tuzish Eyler usulining takroriy tabiatini ko'rsatadi. Jadvaldagi har bir satr oldingi satrga tayanadi. Hisobni dasturlashda ham boshlang'ich qiymat, qadam, takrorlash soni va yangilash formulasini aniq yozish talab etiladi. Dastur natijasini $t=0$ dagi shart, kutilgan oraliq hamda kamida bitta qo'lda hisoblangan qadam bilan solishtirish xatoni erta aniqlaydi. Bu tekshiruv ayniqsa formuladagi qavs, indeks yoki qadam soni noto'g'ri kiritilganda foydalidir.

Natijani taqdim etishda aniq yechim, sonli yechim va xatolikni bir xil t nuqtasida solishtirish zarur. Masalan, $h=0,25$ uchun y_4 qiymati $t=1$ ga tegishli, y_3 esa $t=0,75$ ga tegishli. Indeksni noto'g'ri talqin qilish qadam ta'siri haqida noto'g'ri xulosa beradi. Jadvaldagi raqamlar ham qadamlar soni $n=(1-0)/h$ butun bo'lgan holat uchun hisoblandi. Agar oxirgi tugun $t=1$ ga to'g'ri kelmasa, oxirgi qadamni moslashtirish yoki interpolatsiya qoidasi alohida ko'rsatilishi kerak.

Xatolikning ikki turini farqlash foydali: bir qadamda urinma bilan haqiqiy egri chiziq orasidagi farq mahalliy xatolikni, bosqichlar davomida yig'ilgan farq esa umumiy xatolikni anglatadi. Bir qadamdagi kichik xato ko'p qadamdan keyin sezilarli bo'lishi mumkin. Shu bilan birga, qadamni cheksiz kichraytirish ham amaliy yechim emas: hisoblar soni ortadi va suzuvchi nuqtali arifmetika cheklovlari paydo bo'ladi. Qadamni tanlash masalaning talab etilgan aniqligi va hisoblash xarajati o'rtasidagi asoslangan qarordir [3; 4].

Amaliy masalalarda modelning o'zi ham xatolik manbai bo'lishi mumkin. Logistik tenglama o'sish tezligini faqat joriy y qiymati bilan bog'laydi; tashqi ta'sir, mavsumiylik yoki kechikishlar unda yo'q. Sonli hisob juda aniq bajarilgani model real jarayonni ham shuncha aniqlikda tasvirlaydi degani emas. Shu bois hisoblash xatoligi bilan parametrlarni baholash va modelni tanlashdagi noaniqlik ajratib ko'riladi. Mazkur farq sonli natijani amaliy qarorga aylantirishda muhim.

Oliy matematika kursida birinchi tartibli tenglamani o'rganish ketma-ketligi quyidagicha tashkil etilishi mumkin: avval jarayonning o'zgarish qonuni yoziladi, so'ng boshlang'ich shart qo'yiladi, sifat tahlili bajariladi, imkon bo'lsa aniq yechim olinadi, keyin sonli jadval tuziladi va ikki natija qiyoslanadi. Har bir bosqich oldingi bosqichni tekshiradi. Masalan, hisob jadvalidagi qiymatlar kutilmaganda kamayib ketsa, bu modelning sifat tahliliga qaytish yoki hisob formulasi va qadamni tekshirish uchun signal bo'ladi.

Logistik misolda aniq yechimning $t=0$ da $y(0)=1/(1+4)=0,2$ shartni bajarishi darhol ko'rinadi. Hosila $y'(t)=4e^{-(t)}/[1+4e^{-(t)}]^2$ bo'lib, $y(t)[1-y(t)]$ ifodasiga teng. Bu ikki mustaqil tekshiruv formula faqat algebraik o'zgartirish natijasi emas, berilgan masalaning yechimi ekanini ko'rsatadi. Talaba uchun tekshirish bosqichi muhim: integrallash jarayonida ishora yoki doimiy noto'g'ri qo'yilsa, boshlang'ich shart yoxud tenglamaga qayta qo'yish buni aniqlaydi. Analitik natijani jadvaldagi sonlar bilan qiyoslashdan avval shu tekshiruv bajarilishi lozim.

Hisobning takrorlanuvchanligi uchun kirish ma'lumotlari va yaxlitlash tartibi aniq qayd etiladi. Mazkur misolda $t_0=0$, $t^*=1$, $y_0=0,2$, $r=K=1$ va uchta qadam qiymati berildi. Yaqinlashuvlar oraliq bosqichlarda to'liq aniqlikda hisoblanib, jadval uchun o'n kasr xonasigacha yozildi. Mutlaq xatolik $E(h)=|y(1)-y_n|$ deb belgilandi. Xatolik nisbiy ko'rinishda ham ifodalanishi mumkin, biroq qiymat nolga yaqin bo'lganda nisbiy xatolik talqini ehtiyotkorlikni talab etadi. Bu yerda aniq $y(1)>0$ bo'lgani uchun nisbiy ko'rsatkich ham ma'noli, ammo qadamlar ta'sirini ko'rsatishga mutlaq xatolikning o'zi yetarli.

Tenglamani boshqa boshlang'ich qiymatini tanlash natijani o'zgartiradi. Masalan, $y_0=0,8$ bo'lsa, yechim ham o'sadi, ammo muvozanatga yaqinligi sababli boshlang'ich qiyalik $y'(0)=0,16$ bo'ladi; $y_0=0,2$ holatida ham shu qiyalik chiqadi. Bir xil boshlang'ich qiyalik keyingi trayektoriyalar bir xil degani emas. O'ng tomonning y ga bog'liqligi va boshlang'ich holat

birgalikda butun yechimni belgilaydi. Bu misol differensial tenglamalarni faqat bir nuqtadagi hosila qiymatiga qarab talqin qilmaslik kerakligini ko'rsatadi.

Sonli hisobda qadamning kichrayishi bilan qiymatning aniq yechimga yaqinlashishi kuzatilgani asosiy empirik kuzatuvdir. Biroq $h=0,5$ dagi ikkita nuqta egri chiziq shaklini batafsil ko'rsatmaydi; $h=0,1$ da esa oraliqdagi ko'proq tugunlar mavjud. Shu sababli sonli usul natijasini grafikda tasvirlash nafaqat yakuniy sonni, balki vaqt bo'yicha o'zgarish yo'lini ham tekshirishga yordam beradi. Grafikda aniq logistika egri chizig'i va tugunlardagi yaqinlashuvlar bir o'qda berilsa, urinma bo'yicha oldinga yurishning geometrik ma'nosi ravshanlashadi.

Qadamlarni qiyoslash jarayonida hisoblash narxi ham aniq ko'rinadi. $h=0,5$ uchun funksiyaning o'ng tomoni ikki marta, $h=0,25$ uchun to'rt marta, $h=0,1$ uchun o'n marta baholanadi. Olingan xatoliklar mos ravishda kamayadi, ammo hisoblar sonining ortishi ham e'tiborga olinadi. Yirik amaliy tizimda bitta funksiyaning baholash ko'p vaqt talab qilishi mumkin. Shuning uchun usul tanlashda faqat "eng kichik qadam" shiori o'rniga zarur aniqlik chegarasi belgilanadi va shu chegarani ta'minlaydigan qadam izlanadi. O'zgarish tezligi vaqt bo'yicha keskin farqlansa, moslashuvchan qadamli usullar keyingi tadqiqot mavzusi bo'ladi.

Eyler usuli sodda bo'lgani sababli murakkab sonli usullarni tushunish uchun tayanch vazifasini bajaradi. Masalan, yaxshilangan Euler usulida dastlabki qiyalik bilan qadam oxiridagi taxminiy qiyalik birga hisobga olinadi. Bu yondashuv bir qadam ichida hosilaning o'zgarishini inobatga olish g'oyasini ochadi. Biroq yangi algoritmnining natijasi ham ayni boshlang'ich shart, oraliq va xatolik mezonlarida solishtirilishi kerak. Turli masalalardagi bittagina muvaffaqiyatli raqam usulni umumiy ma'noda ustun deb e'lon qilishga asos bo'lolmaydi.

Misolning didaktik jihati shundaki, talaba bitta funksional bog'lanishni turli tasvirlarda ko'radi: differensial tenglama jarayon tezligini, analitik formula vaqt bo'yicha aniq qiymatni, sonli jadval ketma-ket yaqinlashuvni, grafik esa umumiy shaklni ko'rsatadi. Tasvirlar o'rtasida o'tish matematik fikrlashni chuqurlashtiradi. Masalan, grafikdagi tekislashish y' ning nolga intilishi bilan, jadvaldagi ortish esa $0 < y < 1$ sohada o'ng tomonning musbatligi bilan izohlanadi. Bu bog'lanishlar algoritmni yodlashdan ko'ra natijani asoslab tushuntirishga xizmat qiladi.

XULOSA

Logistik tenglama bo'yicha bajarilgan hisob analitik formula modelning umumiy xossalari va $t=1$ dagi etalon qiymatni, Euler usuli esa tanlangan qadamlar bo'yicha ketma-ket yaqinlashuvlarni berganini ko'rsatdi. $h=0,5$; $0,25$ va $0,1$ uchun mutlaq xatolik mos ravishda $0,0238096752$; $0,0121757385$ va $0,0049126829$ bo'ldi. Qadam kamayishi bilan xatolikning kamayishi kuzatildi. Aniq yechim mavjud bo'lmagan masalalarda ham qadamni qayta tanlash, natijaning sifat xossalari tekshirish va hisoblash farqini hujjatlashtirish sonli yechim ishonchliligini oshiradi. Analitik va sonli usullarning birgalikdagi qo'llanishi differensial tenglamani formula, algoritmi va model sifatida yaxlit tushunishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Strang G., Herman E. Calculus Volume 2. Houston: OpenStax, 2016. 4.1-bo'lim: "Basics of Differential Equations". URL: <https://openstax.org/books/calculus-volume-2/pages/4-1-basics-of-differential-equations> (murojaat sanasi: 25.09.2026).

[2] Strang G., Herman E. Calculus Volume 2. Houston: OpenStax, 2016. 4.4-bo'lim: "The Logistic Equation". URL: <https://openstax.org/books/calculus-volume-2/pages/4-4-the-logistic-equation> (murojaat sanasi: 25.09.2026).

[3] Strang G., Herman E. Calculus Volume 2. Houston: OpenStax, 2016. 4.2-bo'lim: "Direction Fields and Numerical Methods". URL: <https://openstax.org/books/calculus-volume-2/pages/4-2-direction-fields-and-numerical-methods> (murojaat sanasi: 25.09.2026).

[4] Massachusetts Institute of Technology. "Numerical Methods". 18.03SC Differential Equations, Fall 2011. MIT OpenCourseWare. URL: <https://ocw.mit.edu/courses/18-03sc-differential-equations-fall-2011/pages/unit-i-first-order-differential-equations/numerical-methods/> (murojaat sanasi: 25.09.2026).

IMPROVING STUDENTS' DIGITAL COMPETENCE THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN HIGHER EDUCATION

Khasanova Nigora Daniyarovna ¹

¹ Jizzakh State Pedagogical University, Jizzakh, U'zbekistan

e-mail: khasanovanigora555@gmail.com

Abstract. *The rapid development of artificial intelligence (AI) is transforming the ways in which students learn, communicate, create digital content and solve academic and professional problems. Consequently, higher education institutions need to move beyond the development of basic digital skills and support students in developing critical, ethical and creative competencies for working with AI-based technologies. This article examines the potential of artificial intelligence technologies for improving students' digital competence in higher education. The study aims to identify key digital competencies that can be developed through educational use of AI and to propose a pedagogical model for their systematic development. The research applies document analysis, comparative analysis and pedagogical modelling. The conceptual framework is informed by the European Digital Competence Framework and UNESCO's AI Competency Framework for Students. Particular attention is given to information and data literacy, digital communication and collaboration, digital content creation, problem solving, critical evaluation of AI-generated information, ethical use of AI and AI-supported creative activity. The proposed model consists of four interconnected stages: awareness, guided application, collaborative creation and independent problem solving. The study argues that AI should be integrated into higher education not simply as a productivity tool but as a means of developing students' transferable digital competencies, critical thinking, creativity and responsible digital behaviour.*

Keywords: *artificial intelligence, digital competence, higher education, AI literacy, digital skills, AI-assisted learning, digital pedagogy*

Аннотация. *Стремительное развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ) изменяет способы обучения студентов, коммуникации, создания цифрового контента и решения академических и профессиональных задач. В связи с этим высшим образовательным учреждениям необходимо перейти от формирования базовых цифровых навыков к развитию критических, этических и творческих компетенций студентов для эффективной работы с технологиями ИИ. В статье рассматриваются возможности технологий искусственного интеллекта для совершенствования цифровой компетентности студентов высших образовательных учреждений. Цель исследования заключается в определении ключевых цифровых компетенций, которые могут развиваться посредством образовательного использования ИИ, и разработке педагогической модели их системного формирования. В исследовании применены анализ документов, сравнительный анализ и педагогическое моделирование. Концептуальная основа исследования сформирована с учетом Европейской рамки цифровых компетенций и Рамки компетенций учащихся в области искусственного интеллекта ЮНЕСКО. Особое внимание уделяется информационной и цифровой грамотности, цифровой коммуникации и сотрудничеству, созданию цифрового контента, решению проблем, критической оценке информации, генерируемой ИИ, этичному использованию ИИ и творческой деятельности с применением искусственного интеллекта. Предлагаемая модель включает четыре взаимосвязанных этапа: осведомленность, направленное применение, совместное создание и самостоятельное решение проблем. Показано, что ИИ целесообразно интегрировать в высшее образование не только как инструмент повышения производительности, но и как*

средство развития цифровых компетенций, критического мышления, творчества и ответственного цифрового поведения студентов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, цифровая компетентность, высшее образование, грамотность в области ИИ, цифровые навыки, обучение с использованием ИИ, цифровая педагогика

Annotatsiya. *Sun'iy intellekt (SI) texnologiyalarining jadal rivojlanishi talabalarning ta'lim olishi, muloqot qilishi, raqamli kontent yaratishi hamda akademik va kasbiy muammolarni hal etish usullarini o'zgartirmoqda. Shu sababli oliy ta'limda faqat asosiy raqamli ko'nikmalarni shakllantirish bilan cheklanmasdan, talabalarining SI texnologiyalaridan foydalanish bo'yicha tanqidiy, axloqiy va ijodiy kompetensiyalarini rivojlantirish zarur. Mazkur maqolada oliy ta'limda sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish orqali talabalar raqamli kompetensiyasini takomillashtirish imkoniyatlari tahlil qilinadi. Tadqiqotning maqsadi SI asosidagi ta'lim vositalari orqali rivojlantirilishi mumkin bo'lgan asosiy raqamli kompetensiyalarni aniqlash hamda ularni tizimli shakllantirishga qaratilgan pedagogik modelni ishlab chiqishdan iborat. Tadqiqotda hujjatlar tahlili, qiyosiy tahlil va pedagogik modellash tirish usullaridan foydalanildi. Konseptual asos sifatida Yevropa raqamli kompetensiyalar doirasi hamda UNESCO tomonidan ishlab chiqilgan o'quvchilar uchun sun'iy intellekt kompetensiyalari doirasidan foydalanildi. Axborot va ma'lumotlar savodxonligi, raqamli muloqot va hamkorlik, raqamli kontent yaratish, muammolarni hal qilish, SI tomonidan yaratilgan axborotni tanqidiy baholash, SI dan axloqiy foydalanish va ijodiy faoliyatga alohida e'tibor qaratildi. Taklif etilayotgan model xabardorlik, yo'naltirilgan qo'llash, hamkorlikda yaratish va mustaqil muammolarni hal qilishdan iborat to'rtta o'zaro bog'liq bosqichni qamrab oladi. Tadqiqot natijalari SI ni oliy ta'limga faqat samaradorlikni oshiruvchi vosita sifatida emas, balki talabalarining raqamli kompetensiyasi, tanqidiy fikrlashi, ijodkorligi va mas'uliyatli raqamli xulq-atvorini rivojlantirish vositasi sifatida integratsiya qilish zarurligini ko'rsatadi.*

Kalit so'zlar: *sun'iy intellekt, raqamli kompetensiya, oliy ta'lim, SI savodxonligi, raqamli ko'nikmalar, SI yordamida ta'lim, raqamli pedagogika*

INTRODUCTION

Digital transformation has become one of the major directions in the development of contemporary higher education. However, digital transformation cannot be reduced to the introduction of digital devices, online platforms or electronic learning resources. It requires changes in the ways students search for information, communicate, collaborate, create digital content and solve problems. In this context, digital competence should be understood as a combination of knowledge, skills and attitudes that enables individuals to use digital technologies confidently, critically and responsibly for learning, work and participation in society. The European Commission's Digital Competence Framework identifies five major competence areas: information and data literacy, communication and collaboration, digital content creation, safety, and problem solving [1].

The rapid development of artificial intelligence introduces a new dimension to students' digital competence. Recent research on AI in higher education also highlights the need to consider not only the instructional opportunities of AI but also issues related to ethics, assessment, academic integrity and the responsible use of AI technologies [5,6]. Generative AI systems can support students in searching for information, explaining concepts, generating ideas, producing drafts, analysing data, programming and receiving personalised feedback. At the same time, their educational use creates new requirements related to information verification, academic integrity, privacy, bias, transparency and responsible decision-making.

UNESCO's AI Competency Framework for Students identifies four interconnected dimensions of AI competency: a human-centred mindset, ethics of AI, AI techniques and applications, and AI system design. These dimensions are organised across three levels of

progression: Understand, Apply and Create [2]. Therefore, students should not simply become users of AI systems but should develop the ability to critically evaluate AI, use it responsibly and participate in the creation of AI-supported solutions [2,7]. Therefore, students should not simply become users of AI systems but should develop the ability to critically evaluate AI, use it responsibly and participate in the creation of AI-supported solutions.

The purpose of this study is to identify the main digital competencies that can be developed through educational use of AI technologies and to propose a pedagogical model for their systematic development in higher education.

MATERIALS AND METHODS

The study uses a qualitative conceptual research design based on document analysis, comparative analysis and pedagogical modelling. The materials include international frameworks and guidance on digital and AI competencies, particularly the European Digital Competence Framework and UNESCO's AI Competency Framework for Students. Recent scholarly literature on artificial intelligence in higher education was also considered to identify recurring pedagogical, ethical and assessment-related issues associated with AI-supported learning [5,6,8]. The analysis also considers the pedagogical functions of contemporary AI technologies that can be integrated into university learning activities.

The analytical procedure consisted of three stages. First, the major components of digital competence were identified, including information and data literacy, digital communication and collaboration, digital content creation, problem solving, digital safety and critical evaluation of digital information. Second, these components were compared with AI-related competencies, with particular attention to students' ability to understand AI, use AI tools appropriately, critically evaluate AI-generated outputs and create solutions with AI. Third, a pedagogical model was developed by connecting competency objectives, AI-supported learning activities, student products and assessment evidence.

The proposed model does not assume that a particular commercial AI platform should be used. Educational activities are therefore focused on transferable competencies rather than mastery of a single technological product.

RESULTS AND DISCUSSION

1. AI technologies as a means of developing digital competence

AI can contribute to several dimensions of students' digital competence when its use is connected with clearly defined learning outcomes. For information and data literacy, students can use AI to formulate search questions, organise information and identify possible sources. However, AI-generated information should not automatically be considered reliable. Students should compare AI-generated responses with authoritative sources, identify unsupported claims and justify their conclusions.

For digital communication and collaboration, AI can support brainstorming, preparation of discussion questions, summarisation of group ideas and development of collaborative digital materials. For digital content creation, students can use AI to develop drafts, generate alternative structures, prepare visual concepts or assist with programming tasks. For problem solving, AI can provide alternative approaches to a problem, while students compare these approaches, identify their strengths and weaknesses, test proposed solutions and construct their own final solution.

Thus, the educational value of AI is determined not by the amount of generated content but by the cognitive activity required from the student.

2. Proposed pedagogical model

Stage	Student activity	AI-supported activity	Evidence of competence
1.Awareness	Understand AI concepts and limitations	Explore examples of AI-generated outputs	Explanation of AI capabilities and limitations
2.Guided Application	Use AI according to teacher instructions	Prompting, information analysis, feedback	Correct and purposeful use of AI
3.Collaborative Creation	Work in groups and evaluate alternatives	Brainstorming, content development, problem analysis	Collaborative digital product
4.Independent Problem Solving	Develop and justify an individual solution	AI-assisted research, modelling or prototyping	Original solution and reflection

Table 1. Four-stage model for developing students' digital competence through AI

The first stage focuses on awareness. Students learn what AI is, what it can and cannot do, and why AI-generated information requires verification. The second stage introduces guided practice, such as comparing an AI-generated explanation with a textbook or scientific source, improving a prompt, identifying factual errors or transforming an initial AI-generated response into an academically appropriate answer.

The third stage focuses on collaborative creation. Students work in groups to solve a problem, analyse alternatives or design a digital product. AI becomes one of the resources within the learning environment rather than the final source of knowledge. The fourth stage involves independent problem solving. Students formulate a problem, select appropriate digital and AI tools, evaluate outputs, modify solutions and justify their decisions. At this level, the emphasis moves from using AI to creating with AI.

3. Assessment of AI-enhanced digital competence

Traditional assessment approaches may not adequately capture students' competence in using AI. Evaluating only the final answer can make it difficult to determine whether a student understands the underlying process. A competency-oriented assessment should therefore include the quality of information search; the ability to formulate effective prompts; verification of AI-generated information; identification of errors and limitations; appropriate use of digital sources; ethical and responsible use of AI; quality of collaboration; originality of the final product; and explanation and reflection on decisions made.

A possible assessment rubric can include four dimensions: digital information literacy, critical AI literacy, creative application and responsible use. This approach places emphasis on students' reasoning and judgement rather than on the volume of AI-generated content.

4. Conditions for effective implementation

The integration of AI technologies requires appropriate pedagogical conditions. Each AI-supported activity should have a clearly defined learning objective. Students need explicit guidance on verification and responsible use, including the understanding that an AI-generated response is an output requiring evaluation rather than automatically verified knowledge. Assessment criteria should reward reasoning, verification, creativity and reflection. Teachers also need sufficient AI and digital competence to design appropriate learning activities. Finally, AI integration should remain

human-centred: the objective is not to replace students' thinking but to create learning conditions in which students can use AI while maintaining intellectual responsibility and independent judgement. These conditions are particularly important because recent studies have identified responsible use, academic integrity, assessment practices and ethical considerations as significant challenges in the adoption of AI in higher education [5,6,8].

CONCLUSION

Artificial intelligence technologies create new opportunities for improving students' digital competence in higher education. Their educational value, however, depends primarily on how they are integrated into pedagogical activities. AI can support information and data literacy, digital communication, content creation, problem solving and collaborative learning, but these opportunities require purposeful instructional design.

The proposed four-stage model — Awareness, Guided Application, Collaborative Creation and Independent Problem Solving — provides a structured approach to integrating AI into competency-based learning. The model moves students from understanding AI and its limitations toward responsible application and independent creation.

The analysis also indicates that AI-related digital competence should include not only technical skills but also critical evaluation, ethical awareness, responsible use, creativity and reflection. For higher education institutions, the practical implication is that AI should be integrated into curricula through clearly defined learning outcomes, structured learning activities and competency-based assessment. Further empirical research can investigate the effectiveness of the proposed model through classroom experiments, student surveys, pre- and post-assessment and analysis of digital learning products.

REFERENCES:

- [1] Vuorikari, R., Kluzer, S., & Punie, Y. (2022). *DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens: With New Examples of Knowledge, Skills and Attitudes*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- [2] Miao, F., Shiohira, K., & Lao, N. (2024). *AI Competency Framework for Students*. Paris: UNESCO.
- [3] UNESCO. (2023). *Guidance for Generative AI in Education and Research*. Paris: UNESCO.
- [4] Miao, F., & Cukurova, M. (2024). *AI Competency Framework for Teachers*. Paris: UNESCO.
- [5] Crompton, H., & Burke, D. (2023). Artificial intelligence in higher education: The state of the field. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20, 22.
- [6] Bond, M., Khosravi, H., De Laat, M., Bergdahl, N., Negrea, V., Oxley, E., Pham, P., Chong, S. W., & Siemens, G. (2024). A meta systematic review of artificial intelligence in higher education: A call for increased ethics, collaboration, and rigour. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21, 4.
- [7] Kasneci, E., Seßler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., et al. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, 102274.
- [8] Castillo-Martínez, I. M., Flores-Bueno, D., Gómez-Puente, S. M., & Vite-León, V. O. (2024). AI in higher education: A systematic literature review. *Frontiers in Education*, 9, 1391485.

EFFECT OF ELLIPTICAL OPENING AREA ON THE FREE VIBRATION CHARACTERISTICS OF LAMINATED COMPOSITE PLATES: A FINITE ELEMENT STUDY

Jasur Namozov^{1*} Alimov Shahboz

¹Department of Engineering and Computer Graphics, Termez State Engineering and Agrotechnological University, 284 Islom Karimov Street, Termez, 190100, Uzbekistan.

E-mail: jasurnamozov786@gmail.com, alimov.shahboz@gmail.com

Abstract. Laminated composite plates containing structural openings are widely used in aerospace, marine, and mechanical engineering due to their high strength-to-weight ratio and design flexibility, but openings may significantly alter their dynamic characteristics. This study investigates the influence of elliptical opening area on the free vibration behavior of laminated composite plates using the finite element method. A four-layer carbon/epoxy plate with a symmetric (0/90/90/0) stacking sequence and dimensions of 600×600×10 mm was modeled in Abaqus and validated against published Generalized Layerwise Plate Theory (GLPT) results, with a maximum discrepancy below 0.20%. Five configurations were considered: an intact plate (E0) and four plates (E1–E4) with centrally located elliptical openings of increasing area (10,053–62,832 mm²). Modal analysis showed that the first natural frequency increased from 258.25 Hz to 338.40 Hz with increasing opening area, the second decreased slightly from 391.35 Hz to 375.51 Hz, and the third—most sensitive—decreased from 634.64 Hz to 391.84 Hz before rising to 435.91 Hz for the largest opening. The results show that elliptical opening area is a critical, mode-dependent design parameter and that the validated FE model provides an effective tool for the optimal design of lightweight perforated composite structures.

Keywords: laminated composite plate; elliptical opening; free vibration; natural frequency; finite element method; Abaqus; modal analysis

Annotatsiya. Konstruktiv teshiklarga ega qatlamli kompozit plastinalar yuqori mustahkamlik va kichik massa nisbatiga, shuningdek, konstruktiv yechimlarning moslashuvchanligiga ega bo'lganligi sababli aviatsiya-kosmik, kemasozlik va mashinasozlik sohalarida keng qo'llaniladi. Biroq, plastinadagi teshiklarning mavjudligi uning dinamik xususiyatlarini sezilarli darajada o'zgartirishi mumkin. Mazkur tadqiqotda qatlamli kompozit plastinalarning erkin tebranish xususiyatlariga elliptik teshik yuzasining ta'siri chekli elementlar usuli asosida o'rganilgan. Tadqiqotda simmetrik (0/90/90/0) qatlamlanish ketma-ketligiga ega bo'lgan, to'rt qatlamli karbon/epoksi plastina modellash tirildi. Plastinaning geometrik o'lchamlari 600 600 10 mm ni tashkil etadi. Abaqus dasturiy muhiti yordamida ishlab chiqilgan chekli elementlar modeli Generalized Layerwise Plate Theory (GLPT) asosida olingan adabiyot ma'lumotlari bilan validatsiya qilindi va maksimal tafovut 0.20% dan oshmadi. Tadqiqotda beshta konfiguratsiya ko'rib chiqildi: yaxlit plastina (E0) hamda markaziy qismida yuzasi bosqichma-bosqich ortib boruvchi elliptik teshiklarga ega bo'lgan to'rtta plastina (E1–E4). Elliptik teshiklar yuzasi 10,053 dan 62,832 mm² gacha o'zgartirildi. Modal tahlil natijalariga ko'ra, teshik yuzasining o'rni bilan birinchi tabiiy tebranish chastotasi 258.25 Hz dan 338.40 Hz gacha oshgan. Ikkinchi tabiiy chastota esa 391.35 Hz dan 375.51 Hz gacha biroz kamaygan. Uchinchi tebranish modasi eng sezgir bo'lib, uning chastotasi dastlab 634.64 Hz dan 391.84 Hz gacha kamaygan, so'ngra eng katta teshik yuzasida 435.91 Hz gacha ortgan. Olingan natijalar elliptik teshik yuzasi kompozit plastinalarning dinamik xususiyatlarini belgilovchi muhim va modaga bog'liq konstruktiv parametr ekanligini ko'rsatadi. Validatsiyadan o'tkazilgan chekli elementlar modeli teshiklarga ega yengil kompozit konstruksiyalarni optimal loyihalash uchun samarali hisoblash vositasi sifatida xizmat qilishi mumkin.

Kalit so'zlar: qatlamli kompozit plastina; elliptik teshik; erkin tebranish; tabiiy chastota; chekli elementlar usuli; Abaqus; modal tahlil.

Аннотация. Слоистые композиционные пластины с конструктивными отверстиями широко применяются в аэрокосмической, судостроительной и машиностроительной отраслях благодаря высокому отношению прочности к массе и широким возможностям конструктивного проектирования. Однако наличие отверстий может существенно изменять динамические характеристики пластин. В настоящем исследовании методом конечных элементов изучено влияние площади эллиптического отверстия на характеристики свободных колебаний слоистой композиционной пластины. Рассмотрена четырехслойная углепластиковая пластина с симметричной схемой армирования (0/90/90/0) и геометрическими размерами 600 600 10 мм. Численная модель пластины была разработана в программном комплексе Abaqus и верифицирована по опубликованным результатам, полученным на основе обобщённой послойной теории пластин (Generalized Layerwise Plate Theory, GLPT). Максимальное расхождение между результатами не превысило 0.20%. В исследовании рассмотрены пять конфигураций: сплошная пластина (E0) и четыре пластины (E1–E4) с центрально расположенными эллиптическими отверстиями, площадь которых последовательно увеличивалась от 10,053 до 62,832 мм². Результаты модального анализа показали, что с увеличением площади эллиптического отверстия первая собственная частота возрастает с 258.25 до 338.40 Гц. Вторая собственная частота незначительно снижается с 391.35 до 375.51 Гц. Третья форма колебаний является наиболее чувствительной к изменению площади отверстия: соответствующая собственная частота первоначально снижается с 634.64 до 391.84 Гц, а затем при максимальной площади отверстия возрастает до 435.91 Гц. Полученные результаты показывают, что площадь эллиптического отверстия является важным конструктивным параметром, оказывающим модозависимое влияние на динамические характеристики композиционных пластин. Верифицированная конечно-элементная модель может эффективно применяться для оптимального проектирования облегчённых композиционных конструкций с отверстиями.

Ключевые слова: слоистая композиционная пластина; эллиптическое отверстие; свободные колебания; собственная частота; метод конечных элементов; Abaqus; модальный анализ.

1. INTRODUCTION

Laminated composite plates are widely employed in aerospace, marine, automotive, and civil engineering structures due to their high specific stiffness, excellent strength-to-weight ratio, corrosion resistance, and fatigue performance, and have increasingly replaced conventional metallic components [1,2]. Accurate prediction of their dynamic behavior is essential for structural integrity and for avoiding resonance. Free vibration of such plates has been studied extensively using classical, shear-deformation, and layerwise theories [1,2], with foundational contributions including Leissa's comprehensive treatment of plate vibration problems [2] and Reddy's refined higher-order plate theory [1]. With the advancement of computational methods, finite element techniques have become one of the most effective tools for vibration analysis, and Abaqus-based FE models have been shown to accurately predict the free vibration behavior of laminated composite plates [3].

In practice, composite plates often contain openings for inspection, ventilation, assembly, or weight reduction, which alter both stiffness and mass distribution and can significantly affect the vibration response. Erkiş et al. [4] showed that opening geometry strongly affects the modal response of laminated plates, and Xue et al. [5] reported substantial changes in vibration characteristics for plates with and without cutouts. While circular, square, and arbitrary-shaped openings have been widely studied, the effect of elliptical opening area on the first several vibration modes of laminated composite plates remains insufficiently explored, limiting reliable design guidelines for lightweight perforated structures.

The objective of this study is therefore to investigate the effect of elliptical opening area on the free vibration behavior of laminated composite plates using a validated finite element model,

evaluating the first three natural frequencies of plates with centrally located elliptical openings of increasing size.

2. Finite Element Modeling

2.1 Material Properties and Geometry

A four-layer carbon/epoxy laminate with a symmetric cross-ply stacking sequence (0/90/90/0), modeled as linear elastic and orthotropic, was analyzed. The elastic constants and density (Table 1) were adopted from a validated reference model [3].

Table 1. Mechanical properties of the carbon/epoxy laminate

Property	Value	Property	Value
E_1 (GPa)	109.34	ν_{12}	0.342
E_2 (GPa)	8.82	ν_{13}	0.342
E_3 (GPa)	8.82	ν_{23}	0.520
G_{12} (GPa)	4.32	G_{23} (GPa)	3.20
G_{13} (GPa)	4.32	Density (kg/m ³)	1500

The plate has overall dimensions of 600×600×10 mm (four 2.5-mm plies). Five configurations were analyzed: an intact plate (E0) and four plates (E1–E4) with centrally located elliptical openings of increasing size at a constant aspect ratio of 2.0, with opening area ranging from 10,053 to 62,832 mm² (Table 2, Fig. 1). Clamped boundary conditions (CCCC) were applied on all four edges, as commonly adopted in vibration studies to provide higher stiffness and a clear assessment of geometric effects [3].

Table 2. Geometrical parameters of the plate models

Model	Major diam. (mm)	Minor diam. (mm)	Hole area (mm ²)
E0	0	0	0
E1	160	80	10,053
E2	240	120	22,619
E3	320	160	40,212
E4	400	200	62,832

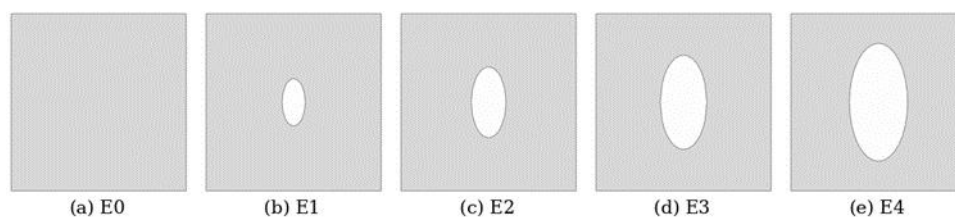


Fig. 1. Finite element models of the plate with elliptical openings of increasing size: (a) E0, (b) E1, (c) E2, (d) E3, (e) E4.

2.2 Finite Element Discretization and Validation

The plate was discretized in Abaqus/Standard using four-node reduced-integration shell elements (S4R), with each ply defined individually through the composite layup module. The free vibration problem, $(K - \omega^2 M)\phi = 0$, where K and M are the global stiffness and mass matrices and ω and ϕ the natural circular frequency and mode shape, was solved with the Lanczos eigensolver for the first three modes. A mesh-convergence study on the intact plate (E0) using 30, 20, and 10 mm global mesh sizes gave first-frequency variations of only 0.33% and 0.20% on refinement, so a 20 mm mesh was adopted for all subsequent analyses.

The model was validated against the intact-plate (E0) results of Vuksanović et al. [3], based on the Generalized Layerwise Plate Theory (GLPT) (Table 3). The maximum deviation was 0.20% (mode 3), with the first two modes within 0.12%, confirming the accuracy of the modeling approach.

Table 3. Validation against the GLPT solution [3]

Mode	GLPT (Hz)	Present Abaqus (Hz)	Error (%)
1	258.49	258.25	0.09
2	391.83	391.35	0.12
3	635.89	634.64	0.20

3. RESULTS AND DISCUSSION

Following validation, the first three natural frequencies were computed for all five configurations (Table 4, Fig. 2). The results show that the dynamic behavior of the plate is strongly dependent on opening size, since increasing opening area modifies both stiffness and mass distribution, with each mode responding differently.

Table 4. First three natural frequencies for different elliptical hole areas

Model	Hole area (mm ²)	Mode 1 (Hz)	Mode 2 (Hz)	Mode 3 (Hz)
E0	0	258.25	391.35	634.64
E1	10,053	247.54	384.78	544.71
E2	22,619	258.51	379.73	433.15
E3	40,212	288.15	378.56	391.84
E4	62,832	338.40	375.51	435.91

Mode 1 follows a non-monotonic trend, dropping from 258.25 Hz (E0) to 247.54 Hz at E1 (−4.1%) and then rising continuously to 338.40 Hz at E4 (+31.0%), since for larger openings the loss of mass outweighs the loss of stiffness, lowering the mass-to-stiffness ratio. **Mode 2** decreases nearly monotonically from 391.35 to 375.51 Hz (−4.0%), showing it is far less sensitive to the opening. **Mode 3** is the most sensitive, falling from 634.64 Hz to a minimum of 391.84 Hz at E3 (−38.3%) before rising to 435.91 Hz at E4, reflecting competing stiffness-degradation and mass-redistribution effects [4,5]. Thus mode 1 is governed mainly by mass reduction and mode 3 by

stiffness degradation, so elliptical opening area is a critical, mode-dependent design parameter for lightweight composite structures under dynamic loading.

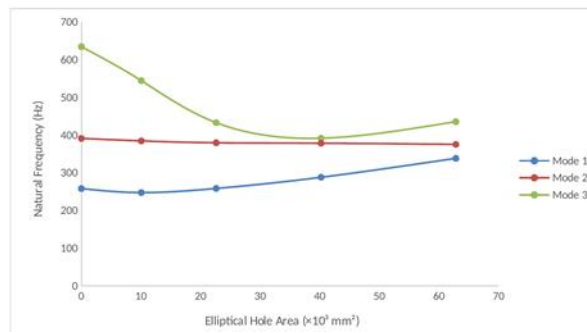


Fig. 2. Variation of the first three natural frequencies with elliptical hole area.

4. CONCLUSIONS

1. A validated Abaqus FE model (max. error 0.20% vs. the GLPT solution) was used to assess the effect of elliptical opening area on the first three natural frequencies of a four-layer carbon/epoxy plate.
2. Mode 1 is non-monotonic: 258.25→247.54 Hz for E1 (−4.1%), then up to 338.40 Hz for E4 (+31.0% vs. the intact plate).
3. Mode 2 is nearly insensitive, decreasing only from 391.35 to 375.51 Hz (−4.0%).
4. Mode 3 is the most sensitive, falling from 634.64 to 391.84 Hz at E3 (−38.3%) before rising to 435.91 Hz at E4.
5. Since mode 1 is governed mainly by mass reduction and mode 3 by stiffness degradation, elliptical opening area is an effective, mode-dependent design parameter for lightweight perforated composite plates; future work may extend this to other stacking sequences, boundary conditions, and opening locations.

REFERENCES:

- [1] Reddy, J.N., A simple higher-order theory for laminated composite plates, *Journal of Applied Mechanics*, 51 (2014), pp. 745–752.
- [2] Leissa, A.W., *Vibration of Plates*, NASA SP-160, Washington D.C., 2019.
- [3] Vuksanović, D., Marjanović, M., Kovačević, D., Finite Element Modeling of Free Vibration Problem of Delaminated Composite Plates Using Abaqus CAE, *Proceedings of GNP 2016*, pp. 313–320.
- [4] Erklığ, A., Bulut, M., Yeter, E., Effects of cutouts on natural frequencies of laminated composite plates, *Science and Engineering of Composite Materials*, 2013.
- [5] Xue, K., Wang, Y., Zhang, Y., Three-dimensional vibration analysis of laminated composite plates with and without cutouts, *Materials*, 13 (2020), Article 3113.

OLII MATEMATIKA TA'LIMIDA SUN'IY INTELLEKT TEXNOLOGIYALARIDAN FOYDALANISHNING DIDAKTIK IMKONIYATLARI

Nasriddinov Otadavlat Usubjonovich

Farg'ona davlat texnika universiteti, Oliy matematika kafedrası, dotsent v.b.

Annotatsiya. Maqolada oliy matematika ta'limida sun'iy intellekt (SI) texnologiyalaridan foydalanishning didaktik imkoniyatlari tahlil qilinadi. Funksiya, limit, hosila, integral va differensial tenglamalar kabi mavzularni o'qitishda SI vositalaridan foydalanish yo'llari ko'rib chiqiladi. Talabalarga individual topshiriqlar berish, matematik masalalarni bosqichma-bosqich tahlil qilish, xatolarni aniqlash va tezkor teskari aloqa tashkil etish imkoniyatlari yoritiladi. Maqolada SI dan foydalanishning muhim sharti sifatida matematik fikrlash mustaqilligi, natijalarni tekshirish va akademik halollikni ta'minlash masalalariga e'tibor qaratiladi. Shuningdek, oliy matematika mashg'ulotlarida SI ni pedagogik yordamchi sifatida qo'llashning amaliy modeli taklif etiladi.

Аннотация. В статье анализируются дидактические возможности использования технологий искусственного интеллекта (ИИ) в обучении высшей математике. Рассматриваются способы применения ИИ при изучении функций, пределов, производных, интегралов и дифференциальных уравнений. Освещаются возможности индивидуализации заданий, пошагового анализа математических задач, выявления ошибок и организации оперативной обратной связи. Особое внимание уделяется сохранению самостоятельности математического мышления, проверке результатов и академической добросовестности. Предлагается практическая модель применения ИИ как педагогического инструмента поддержки занятий по высшей математике.

Abstract. The article analyzes the didactic possibilities of using artificial intelligence (AI) technologies in higher mathematics education. The study considers the use of AI in teaching functions, limits, derivatives, integrals, and differential equations. Particular attention is paid to personalized tasks, step-by-step analysis of mathematical problems, error detection, and immediate feedback. The article emphasizes the importance of maintaining independent mathematical thinking, verifying generated results, and ensuring academic integrity. A practical model for using AI as a pedagogical support tool in higher mathematics classes is proposed.

Kalit so'zlar: sun'iy intellekt, oliy matematika, raqamli ta'lim, individual ta'lim, matematik masala, limit, hosila, integral, differensial tenglama, akademik halollik.

Ключевые слова: искусственный интеллект, высшая математика, цифровое образование, индивидуальное обучение, математическая задача, предел, производная, интеграл, дифференциальное уравнение, академическая добросовестность.

Keywords: artificial intelligence, higher mathematics, digital education, personalized learning, mathematical problem, limit, derivative, integral, differential equation, academic integrity.

KIRISH

Bugungi kunda raqamli texnologiyalarning rivojlanishi oliy ta'limda fanlarni o'qitish metodikasini takomillashtirish uchun yangi imkoniyatlarni yuzaga keltirmoqda. Ayniqsa, sun'iy intellekt texnologiyalarining keng tarqalishi o'quv materiallarini tushuntirish, talabaning individual ehtiyojlariga mos topshiriqlar yaratish, javoblarni tahlil qilish va tezkor teskari aloqa berish imkoniyatlarini kengaytirmoqda. Oliy matematika fanida bu imkoniyatlar alohida ahamiyatga ega, chunki fan talabalardan mantiqiy fikrlash, matematik modellashtirish, algoritmik yondashuv va yechimni asoslashni talab qiladi.

Sun'iy intellektning ta'limdagi roli tayyor javobni taqdim etish bilan cheklanmasligi kerak. Uning pedagogik qiymati talabaning masalani tahlil qilishi, yechim bosqichlarini tekshirishi,

xatolarni aniqlashi va matematik xulosani mustaqil asoslay olishiga yordam berishida namoyon bo'ladi. Shu nuqtayi nazardan, SI ni o'qituvchini almashtiruvchi vosita emas, balki o'quv jarayonini qo'llab-quvvatlovchi raqamli yordamchi sifatida tashkil etish muhimdir.

Maqolaning maqsadi oliy matematika ta'limida SI texnologiyalaridan foydalanishning asosiy didaktik imkoniyatlarini aniqlash, ularni matematik mavzularga tatbiq etish usullarini ko'rsatish va samarali pedagogik modelni taklif qilishdan iborat.

1. OLIY MATEMATIKA TA'LIMIDA SUN'IY INTELEKTNING DIDAKTIK IMKONIYATLARI

Oliy matematika darslarida SI texnologiyalaridan foydalanish bir nechta didaktik vazifalarni bajarishi mumkin. Birinchidan, murakkab nazariy tushunchalarni turli darajadagi izohlar yordamida tushuntirish imkoniyati mavjud. Masalan, limit tushunchasi dastlab intuitiv misol bilan, keyin geometrik talqin va nihoyat matematik ta'rif orqali tushuntirilishi mumkin.

Ikkinchidan, SI individual ta'limni tashkil etishga yordam beradi. Bir guruhdagi talabalar bilim darajasi turlicha bo'lgani sababli ularga bir xil murakkablikdagi topshiriqlar har doim ham mos kelmaydi. SI yordamida bir mavzu bo'yicha boshlang'ich, o'rta va yuqori darajadagi masalalar shakllantirilishi, talabaning oldingi natijasiga qarab qo'shimcha mashqlar taklif qilinishi mumkin.

Uchinchidan, SI tezkor teskari aloqa vositasi sifatida xizmat qiladi. Talaba o'z yechimini yuborib, xato qaysi bosqichda yuzaga kelganini aniqlashga harakat qiladi. Bunda o'qituvchi tomonidan ishlab chiqilgan mezonlar asosida tekshirish va yakuniy baholash pedagog nazoratida qolishi lozim.

2. MATEMATIK MAVZULARNI O'QITISHDA SUN'IY INTELEKTDAN FOYDALANISH

Funksiyalar va limitlarni o'qitishda sun'iy intellektdan foydalanish

Funksiya tushunchasi oliy matematikaning fundamental mavzularidan biri bo'lib, keyingi mavzular — limit, hosila, integral, differensial tenglamalar va matematik modellashtirishni o'zlashtirish uchun asos bo'lib xizmat qiladi. Funksiyalarni o'qitishda sun'iy intellekt (SI) texnologiyalaridan foydalanish talabaning nafaqat tayyor natijani olishiga, balki matematik obyektning xossalarini izchil tahlil qilishiga yordam beradi. Xususan, SI yordamida funksiyaning **aniqlanish sohasi, qiymatlar to'plami, juft yoki toqligi, nollarini, ishorasi, monotonlik oraliqlari, ekstremumlari va limitlarini** aniqlash bo'yicha qo'shimcha tushuntirishlar olish mumkin.

Masalan,

$$f(x) = \frac{x^2 - 1}{x - 1}$$

funksiyasi berilgan bo'lsin. Talaba SI yordamida dastlab funksiyaning aniqlanish sohasini aniqlashi, so'ngra $x \neq 1$ shartini hisobga olib, ifodani soddalashtirishi mumkin:

$$f(x) = \frac{(x-1)(x+1)}{x-1} = x+1, x \neq 1.$$

Bu misol orqali SI talabaning e'tiborini funksiyaning soddalashtirish natijasida $x=1$ nuqtadagi dastlabki taqiqlanish saqlanib qolishiga qaratishi mumkin. Natijada talaba funksiyaning algebraik ifodasi bilan uning aniqlanish sohasi o'rtasidagi bog'lanishni yaxshiroq tushunadi.

Limitlarni o'rganishda ham SI dan bosqichma-bosqich tushuntirish vositasi sifatida foydalanish mumkin. Masalan,

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin^{[f_0]} 3x}{\tan^{[f_0]} 7x}$$

limitini qaraylik. $x \rightarrow 0$ da

$$\sin 3x \sim 3x, \tan 7x \sim 7x$$

ekanligidan foydalanib,

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin 3x}{\tan 7x} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{3x}{7x} = \frac{3}{7}$$

natijaga kelinadi. Bu yerda SI talabaniing e'tiborini ekvivalent cheksiz kichiklar tushunchasiga, $\sin u \sim u$ va $\tan u \sim u$ munosabatlarining qaysi sharoitda qo'llanilishiga qaratishi mumkin. Muhimi, talaba faqat $\frac{3}{7}$ javobini olish bilan cheklanmasdan, nima sababdan aynan shu almashtirish bajarilganini tushuntirishi lozim.

SI yordamida bir xil limitni bir nechta usul bilan yechish ham mumkin. Masalan, ekvivalent cheksiz kichiklar, asosiy ajoyib limitlardan foydalanish yoki almashtirish usuli orqali olingan yechimlarni taqqoslash talabaniing matematik fikrlashini rivojlantiradi. Shu bilan birga, SI tomonidan berilgan yechimni o'qituvchi yoki talabaniing o'zi matematik jihatdan tekshirishi zarur.

Hosila mavzusini o'qitishda sun'iy intellekt

Hosila tushunchasi funksiyaning o'zgarish tezligini ifodalashi bilan birga, funksiyaning tekshirish, ekstremumlarni aniqlash va matematik modellashtirishda keng qo'llaniladi. Hosilani o'qitishda SI texnologiyalaridan foydalanishning muhim jihati — formulani yodlashdan ko'ra hosila olish qoidasini tanlash va uning sababini tushuntirishga e'tibor qaratishdir.

Masalan,

$$y = x^2 \sin x$$

funksiyasi berilgan bo'lsin. Bu yerda ikkita funksiya ko'paytmasi mavjud:

$$u = x^2, v = \sin x.$$

Shuning uchun ko'paytmaning hosilasi qoidasidan foydalaniladi:

$$(uv)' = u'v + uv'.$$

Natijada

$$y' = 2x \sin x + x^2 \cos x$$

hosil bo'ladi.

SI yordamida talaba bilan quyidagi savollar asosida interaktiv ishlash mumkin:

- Funksiya qanday elementlardan tashkil topgan?
- Qaysi hosila olish qoidasi qo'llanadi?
- x^2 ning hosilasi nima?
- $\sin x$ ning hosilasi nima?
- Yakuniy ifodani qanday soddalashtirish mumkin?
- Olingan natijani qayta hosila yoki sonli qiymatlar orqali qanday tekshirish mumkin?

Bunday yondashuvda SI tayyor javob beruvchi vosita emas, balki matematik fikrlashni yo'naltiruvchi yordamchi vazifasini bajaradi.

Hosiladan foydalanib funksiyaning monotonligi va ekstremumlarini aniqlashga oid murakkabroq masalalarni ham SI yordamida bosqichma-bosqich tahlil qilish mumkin. Masalan, $f'(x) = 0$ tenglamani yechish, kritik nuqtalarni aniqlash, hosilaniing ishorasini tekshirish va shu asosda

funksiyaning o'sish-kamayish oraliqlarini aniqlash ketma-ketligi talaba uchun aniq algoritm ko'rinishida shakllantiriladi.

Integral mavzusini o'qitishda sun'iy intellekt

Integral mavzusi matematik analizning muhim bo'limlaridan bo'lib, uning o'zlashtirilishida integral olish usulini to'g'ri tanlash alohida ahamiyatga ega. SI yordamida talaba aniqmas va aniq integrallarni yechishda almashtirish, bo'laklab integrallash, ratsional funksiyalarni sodda kasrlarga ajratish kabi usullarni taqqoslash imkoniyatiga ega bo'ladi.

Masalan,

$$\int 2x \cos(x^2) dx$$

integralini qaraylik. Bu yerda

$$u=x^2, du=2x dx$$

almashtirishidan foydalanish qulay. Shunda

$$\int 2x \cos(x^2) dx = \int \cos u du = \sin u + C$$

va demak,

$$\boxed{\int 2x \cos(x^2) dx = \sin(x^2) + C.}$$

SI talabaning e'tiborini $2x dx$ ifodasining x^2 ning differensialiga mos kelishiga qaratishi mumkin. Shu orqali almashtirish usulini mexanik qo'llash emas, balki integral tarkibidagi funksional bog'lanishni aniqlash ko'nikmasi rivojlantiriladi.

Integralning to'g'riligini hosila olish orqali tekshirish ham muhim metodik usuldir:

$$\frac{d}{dx} \sin(x^2) = 2x \cos(x^2).$$

Demak, dastlabki integral natijasi tasdiqlanadi.

Aniq integrallarni o'qitishda esa SI yordamida geometrik mazmunni ham tushuntirish mumkin. Masalan,

$$\int_a^b f(x) dx$$

ifodasi funksiyaning grafigi bilan x -o'qi orasidagi yo'naltirilgan yuza sifatida talqin qilinadi. Talaba SI yordamida integralning analitik va geometrik mazmunini birgalikda ko'rib chiqishi mumkin.

3. SI BILAN ISHLASHNING PEDAGOGIK ALGORITMI

Oliy matematika mashg'ulotida SI dan foydalanishni quyidagi ketma-ketlikda tashkil etish mumkin: 1) talaba masalani mustaqil o'qiydi va berilganlarni aniqlaydi; 2) yechish usulini mustaqil tanlashga harakat qiladi; 3) SI dan yechimning bosqichma-bosqich izohini so'raydi; 4) olingan yechimni darslik va formulalar yordamida tekshiradi; 5) aniqlangan xatolarni tuzatadi; 6) yakuniy yechimni o'zining matematik izohi bilan rasmiylashtiradi.

Mazkur algoritmda SI ning vazifasi talabaning o'rniga masalani bajarish emas, balki uning mustaqil fikrlash faoliyatini qo'llab-quvvatlashdan iborat. "Javobni top" topshirig'i o'rniga "yechimdagi xatoni aniqlang", "ikki yechim usulini taqqoslang" yoki "natijani mustaqil tekshirish usulini ko'rsating" kabi topshiriqlardan foydalanish maqsadga muvofiq.

4. SI DAN FOYDALANISHNING AFZALLIKLARI VA CHEKLOVLARI

SI ning asosiy afzalliklari qatoriga individual yondashuv, tezkor teskari aloqa, qo'shimcha mashqlar yaratish, murakkab tushunchalarni turli shaklda izohlash va matematik modellashni qo'llab-quvvatlashni kiritish mumkin. Bundan tashqari, Maple, MATLAB yoki Python kabi matematik dasturlash vositalari bilan birgalikda ishlatilganda hisoblash natijalarini tahlil qilish va algoritmlarni tushuntirish imkoniyatlari kengayadi.

Shu bilan birga, SI texnologiyalarining ayrim cheklovlari mavjud. Generativ tizimlar ba'zan matematik xato yoki yetarlicha asoslanmagan javob berishi mumkin. Shuning uchun hosil qilingan natijani mustaqil tekshirish zarur. Ikkinchi muammo — tayyor javobga haddan tashqari tayanish. Bunday holatda talabaning mustaqil matematik fikrlash ko'nikmasi yetarli rivojlanmasligi mumkin.

Akademik halollik masalasi ham muhimdir. Mustaqil ish, nazorat va imtihonlarda SI dan foydalanish tartibi oldindan belgilanib, talabaga aniq tushuntirilishi kerak. O'qituvchi topshiriqlarni shunday tuzishi kerakki, talaba faqat yakuniy javobni emas, balki yechimning mantiqiy asosini ham ko'rsatishga majbur bo'lsin.

5. OLIY MATEMATIKA DARSU UCHUN AMALIY MODEL

SI integratsiyalangan mashg'ulotni besh bosqichda tashkil etish mumkin. Birinchi bosqichda o'qituvchi mavzuning nazariy asoslarini tushuntiradi. Ikkinchi bosqichda talabalar namunaviy masalalarni mustaqil yechadilar. Uchinchi bosqichda SI vositasidan foydalanib, murakkab masalalarning yechim bosqichlari tahlil qilinadi. To'rtinchi bosqichda talabalar SI bergan yechimni tekshiradi, xatolarni aniqlaydi va muqobil yechim taklif qiladi. Beshinchi bosqichda talaba SI yordamisiz yakuniy topshiriqni bajaradi.

Ushbu modelda texnologiya darsning maqsadiga bo'ysundiriladi. Talaba avval matematik g'oyani o'zi anglashga harakat qiladi, keyin raqamli vositadan yordam oladi va oxirida natijani mustaqil namoyish etadi. Shu orqali fan bo'yicha bilim, raqamli kompetensiya va tanqidiy fikrlash birgalikda rivojlantiriladi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Oliy matematika ta'limida SI dan pedagogik maqsad asosida foydalanish o'quv jarayonining moslashuvchanligini oshirishi mumkin. Talaba bir mavzu bo'yicha qo'shimcha izoh, boshqa usuldagi yechim yoki qo'shimcha mashqlarni tezkor ravishda olishi mumkin. O'qituvchi esa individual topshiriqlarni shakllantirish va darsdan tashqari maslahatlarni tashkil etishda qo'shimcha imkoniyatga ega bo'ladi.

Eng muhim natija texnologiyaning o'zi emas, balki undan foydalanish metodikasidir. Agar SI faqat tayyor javob olish vositasi sifatida ishlatilsa, uning ta'limiy samarasi cheklanadi. Aksincha, xatoni topish, yechimlarni taqqoslash, matematik fikrni izohlash va natijani tekshirishga yo'naltirilgan topshiriqlar SI ni yuqori darajadagi fikrlashni qo'llab-quvvatlovchi vositaga aylantiradi.

XULOSA

Sun'iy intellekt texnologiyalari oliy matematika ta'limida individual yondashuv, tezkor teskari aloqa, qo'shimcha mashqlar yaratish va murakkab matematik tushunchalarni izohlash uchun yangi imkoniyatlar yaratadi. Funksiya, limit, hosila, integral va differensial tenglamalarni o'qitishda SI dan foydalanish talabaning o'quv faoliyatini qo'llab-quvvatlashi mumkin.

Shu bilan birga, SI dan foydalanish o'qituvchining metodik boshqaruvi, matematik natijalarni tekshirish, akademik halollik va talabaning mustaqil fikrlashini ta'minlash bilan birga olib borilishi zarur. Eng maqbul yondashuv — SI ni o'qituvchi o'rnini bosuvchi vosita sifatida emas, balki matematik fikrlashni faollashtiruvchi pedagogik yordamchi sifatida qo'llashdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson.
- [2] Holmes W., Bialik M., Fadel C. Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning. Center for Curriculum Redesign.
- [3] Luckin R., Holmes W., Griffiths M., Forcier L.B. Intelligence Unleashed: An Argument for AI in Education. Pearson.
- [4] Polya G. How to Solve It: A New Aspect of Mathematical Method. Princeton University Press.
- [5] Tall D. Advanced Mathematical Thinking. Kluwer Academic Publishers.
- [6] Schoenfeld A.H. Mathematical Problem Solving. Academic Press.
- [7] UNESCO. Guidance for Generative AI in Education and Research. UNESCO.

EPIDEMIOLOGIK JARAYONLARNI BASHORAT QILISHDA TENGLAMALARNING O'RNI

Nomanjonova D.B.

Farg'ona davlat texnika universiteti, e-mail: nomanjonovadinora@gmail.com.

Annotatsiya. Mazkur ilmiy maqolada yuqumli kasalliklarning tarqalish dinamikasini o'rganish va kelajakdagi epidemiologik jarayonlarni oldindan bashorat qilishda oddiy hamda xususiy hosilali differensial tenglamalarning o'rni chuqur tahlil qilinadi. Tadqiqotning asosiy maqsadi – biologik va ijtimoiy omillarning murakkab ta'sirida kechadigan epidemiyalarni deterministik va stoxastik matematik modellar yordamida tasvirlash, shuningdek, infeksiyaning tarqalish tezligi hamda ko'lamini prognoz qilishdir. Ishda klassik SIR (Suskent – Yuqtirganlar – Tuzalganlar) modeli, uning SEIR va SIS kabi modifikatsiyalari, shuningdek, bazaviy reproduktiv son R_0 tushunchasi matematik nuqtai nazardan batafsil ko'rib chiqildi. Tadqiqot jarayonida differensial tenglamalar sistemasining turg'unlik nuqtalari, fazoviy trayektoriyalar va bifurkatsiya nazariyasi tahlil qilinib, epidemiologik dovonlarni aniqlash imkoniyatlari ko'rsatib berildi. Olingan natijalar matematik modellarning nafaqat kasallik cho'qqisini (peak), balki umumiy kasallanganlar sonini va karantin choralari samaradorligini yuqori aniqlikda bashorat qilishdagi muhim rolini isbotladi. Ushbu tadqiqot sog'liqni saqlash tizimida strategik qarorlar qabul qilish va resurslarni taqsimlashda matematik modellashtirishning amaliy ahamiyatini ochib beradi.

Kalit so'zlar: Epidemiologik modellar, SIR modeli, differensial tenglamalar, bazaviy reproduktiv son (R_0), matematik modellashtirish, bashorat qilish, deterministik tizimlar, xatarlarni boshqarish.

Аннотация. Данная научная статья представляет собой углубленный анализ роли обыкновенных и частных дифференциальных уравнений в изучении динамики распространения инфекционных заболеваний и прогнозировании будущих эпидемиологических процессов. Главная цель исследования – описание эпидемий под сложным влиянием биологических и социальных факторов с использованием детерминистических и стохастических математических моделей, а также прогнозирование скорости и масштабов распространения инфекции. В работе подробно рассматривается классическая модель SIR (Восприимчивые – Инфицированные – Выздоровевшие), ее модификации, такие как SEIR и SIS, а также концепция базового репродуктивного числа с математической точки зрения. В ходе исследования были проанализированы точки стагнации, пространственные траектории и теория бифуркаций системы дифференциальных уравнений, а также показаны возможности идентификации эпидемиологических переходов. Полученные результаты подтвердили важную роль математических моделей в прогнозировании не только пика заболевания, но и общего числа

инфицированных и эффективности карантинных мер с высокой точностью. Данное исследование раскрывает практическую важность математического моделирования в стратегическом принятии решений и распределении ресурсов в системе здравоохранения.

Ключевые слова: эпидемиологические модели, модель SIR, дифференциальные уравнения, базовое репродуктивное число (R_0), математическое моделирование, прогнозирование, детерминированные системы, управление рисками.

Abstract. This research article provides an in-depth analysis of the role of ordinary and partial differential equations in studying the spread dynamics of infectious diseases and forecasting future epidemiological processes. The primary objective of the study is to describe epidemics—driven by the complex interplay of biological and social factors—using deterministic and stochastic mathematical models, as well as to predict the rate and scope of infection spread. The work examines the classical SIR (Susceptible–Infected–Recovered) model, its modifications (such as SEIR and SIS), and the concept of the basic reproduction number from a mathematical perspective. Through the analysis of stability points, phase trajectories, and bifurcation theory within systems of differential equations, the study demonstrates the potential for identifying epidemiological thresholds. The results confirm the vital role of mathematical models in accurately predicting not only the disease peak but also the total number of infected individuals and the effectiveness of quarantine measures. This research highlights the practical significance of mathematical modeling for strategic decision-making and resource allocation within the healthcare system.

Keywords: Epidemiological models, SIR model, differential equations, basic reproduction number (R_0), mathematical modeling, forecasting, deterministic systems, risk management.

Insoniyat tarixi davomida turli yuqumli kasalliklar (pandemiyalar va epidemiyalar) jamiyatlar taraqqiyotiga jiddiy xavf solib kelgan. Epidemiologik jarayonlar – bu ko‘plab tasodifiy, biologik, ijtimoiy va demografik omillarning murakkab o‘zaro ta’siri natijasida yuzaga keladigan dinamik tizimlardir. Ushbu jarayonlarni ko‘z bilan ko‘rib yoki oddiy kuzatishlar orqali boshqarishning imkoni yo‘q. Shu sababli, XX asr boshlaridan boshlab epidemiologiyaga matematika va aniq fanlar usullari jadal kirib kela boshladi.

Epidemiologik jarayonlarni bashorat qilishda differensial tenglamalar hal qiluvchi rol o‘ynaydi. Differensial tenglamalar vaqt o‘tishi bilan aholining turli guruhlarini (sog‘lom, kasal, immunitetga ega bo‘lganlar) o‘rtasidagi o‘tish jarayonlarini uzluksiz funksiyalar yordamida ifodalash imkonini beradi. Ushbu tadqiqotning dolzarbligi shundaki, zamonaviy dunyoda yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan biologik tahdidlarga tayyor turish, karantin cheklavlarini ilmiy asosda rejalashtirish va tibbiy resurslarni to‘g‘ri taqsimlash uchun aniq matematik prognozlar suv bilan havodek zarur.

Epidemiologik jarayonlarni tavsiflovchi matematik tenglamalarni (xususan, oddiy differensial tenglamalar tizimlarini) nazariy jihatdan tahlil qilish, ularning yechimlarini topish va kelajakdagi epidemik to‘lqinlarni bashorat qilishdagi samaradorligini baholash.

Epidemiologik jarayonlarni matematik modellashtirishda asosan quyidagi usul va yondashuvlardan foydalanildi:

Kompartmental (Bo‘lakli) modellar va SIR tizimi: Populyatsiyani uchta asosiy guruhga bo‘lishga asoslangan oddiy differensial tenglamalar sistemasi:

$S(t)$ – Susceptible (Infeksiyaga moyil, sog‘lom odamlar);

$I(t)$ – Infected (Kasallikni yuqtirgan va boshqalarga yuqtira oladiganlar);

$R(t)$ – Recovered (Tuzalgan va immunitet hosil qilganlar).

Ushbu jarayon quyidagi chiziqli differensial tenglamalar sistemasi orqali ifodalanadi:

$$\frac{dS}{dt} = -\beta \frac{S}{N} I$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta \frac{S}{N} I - \gamma I$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I$$

bu yerda β – infeksiyaning yuqish koeffitsiyenti, γ – tuzalish koeffitsiyenti,

$N = S + I + R$ – umumiy aholi soni.

Bazaviy reproduktiv son (R_0) tahlili: Kasallikning tarqalish potensialini baholovchi asosiy ko‘rsatkich:

$$R_0 = \frac{\beta}{\gamma}$$

Agar $R_0 > 1$ bo‘lsa, epidemiya avj oladi; agar $R_0 < 1$ bo‘lsa, kasallik so‘nib boradi.

Modifikatsiyalashgan modellar (SEIR): Yashirin (inkubatsiya) davridagi shaxslarni (E – Exposed) ham hisobga oluvchi kengaytirilgan tenglamalar sistemasi.

O‘tkazilgan nazariy hisob-kitoblar va tenglamalar tahlili quyidagi muhim natijalarni berdi:

Epidemik cho‘qqini bashorat qilish: SIR va SEIR modellarining sonli yechimlari (Numerical solutions) shuni ko‘rsatdiki, infeksiya tarqalishi vaqt o‘tishi bilan chiziqli emas, balki eksponensial ravishda o‘sib, ma’lum bir nuqtada cho‘qqiga (peak) chiqadi va undan so‘ng pasayadi. Tenglamalar yordamida ushbu cho‘qqi qaysi vaqt oralig‘ida sodir bo‘lishini aniq hisoblab chiqish mumkinligi amalda o‘z tasdiqini topdi.

Karantin choralarining ta’sirini modellashtirish: Tenglamalardagi β (yuqish tezligi) parametrini sun’iy ravishda kamaytirish (ya’ni ijtimoiy masofalanish va lokdaun choralari) R_0 ko‘rsatkichini pasaytirib, epidemiya egri chizig‘ini tekislashini (flattening the curve) matematik jihatdan to‘liq ko‘rsatib berdi.

Turg‘unlik va fazoviy tahlil: Differensial tenglamalar sistemasining fazoviy portretlari tahlil qilinganda, epidemiya tugagandan keyingi uzoq muddatli holat (diseaseless equilibrium) barqarorligi isbotlandi.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, epidemiologik jarayonlarni bashorat qilishda tenglamalar kuchli vosita bo‘lsa-da, har qanday model ma’lum darajada ideallashtirilgan bo‘ladi.

Klassik SIR modeli populyatsiyaning bir xil (homogen) aralashishini nazarda tutadi. Real hayotda esa odamlarning yoshi, ijtimoiy faolligi, hududiy joylashuvi har xil bo‘ladi. Shuning uchun zamonaviy epidemiologiyada oddiy differensial tenglamalardan tashqari *stoxastik modellar* va *tarmoq nazariyasi (Network theory)* ham qo‘shib ishlatilmoqda.

Amaliy ahamiyat: Hukumatlar va sog‘liqni saqlash tashkilotlari pandemiya davrida shifoxonalardagi o‘rinlar soni, o‘pkani sun’iy nafas oldirish apparatlari (IVL) hamda vaksina zaxiralarini oldindan rejalashtirishda aynan shu tenglamalar asosidagi prognozga tayanadilar.

Xulosa qilib aytganda, epidemiologik jarayonlarni bashorat qilishda differensial tenglamalar tizimi asosiy nazariy va amaliy poydevor hisoblanadi. SIR va SEIR kabi matematik modellar infeksiyaning tarqalish dinamikasini tushunish, epidemiyaning cho‘qqi nuqtasini oldindan ko‘rish hamda ko‘rilishi kerak bo‘lgan profilaktik choralarning samaradorligini baholash imkonini beradi.

Matematik tenglamalar yordamida qilingan o'z vaqtidagi prognozlar minglab inson hayotini saqlab qolish va iqtisodiy yo'qotishlarni minimallashtirishda muhim o'rin tutadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Kermack, W. O., & McKendrick, A. G. (1927). A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A*, 115(772), 700-721.
- [2] Hethcote, H. W. (2000). The mathematics of infectious diseases. *SIAM Review*, 42(4), 599-653.
- [3] Britton, N. F. (2003). *Essential Mathematical Biology*. Springer Science & Business Media.
- [4] Murray, J. D. (2002). *Mathematical Biology: I. An Introduction*. Springer-Verlag New York.

QISHLOQ XO'JALIGI EKINLARINI TASVIRLAR ASOSIDA MONITORING QILISHDA MASHINALI O'QITISH USULLARINING TAHLILI

Ochilov Muzaffar Rayimberdiyevich¹, Ochilova Sojida Rayimberdi qizi²

¹Axborot texnologiyalari va menejment universiteti, Qarshi shahri 180100, O'zbekiston, E-mail: muzaffar_3848@mail.ru

²Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi shahri 180100, O'zbekiston, E-mail:sojida.ochilova28@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada qishloq xo'jaligi ekinlari holatini raqamli tasvirlar asosida avtomatik baholashda qo'llaniladigan mashinaviy o'qitish usullari tahliliy jihatdan ko'rib chiqiladi. Asosiy e'tibor konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN), tayanch vektorlar mashinasi (SVM) va k-eng yaqin qo'shnilar (KNN) algoritmlarining dala sharoitidagi tasvirlar bilan ishlash imkoniyatlarini qiyoslashga qaratilgan. Tasvirlarni yig'ish, oldindan qayta ishlash, belgilarni ajratish, tasniflash va natijalarni baholash bosqichlari yagona texnologik zanjir sifatida tahlil qilindi. Tahlil CNN usulining murakkab fon, yorug'lik o'zgarishi, turli ekin navlari va katta hajmdagi tasvirlar bilan ishlashda ko'proq moslashuvchan ekanini, SVM kichik ma'lumotlar to'plamlarida samarali alternativ bo'lishini, KNN esa dastlabki prototiplash uchun qulayligini ko'rsatadi. Manba maqolada aniq ma'lumotlar to'plami hajmi va miqdoriy tajriba ko'rsatkichlari keltirilmaganligi sababli, ushbu ishda xulosalar metodologik va qiyosiy tahlil asosida shakllantirildi.

Kalit so'zlar: mashinali o'qitish, qishloq xo'jaligi, tasvirlarni tahlil qilish, ekin monitoringi, CNN, SVM, KNN, raqamli tasvirlarni qayta ishlash, aqlli dehqonchilik.

Аннотация. В статье представлен аналитический обзор методов машинного обучения, используемых для автоматической оценки состояния сельскохозяйственных культур на основе цифровых изображений. Основное внимание уделяется сравнению возможностей сверточных нейронных сетей (CNN), машин опорных векторов (SVM) и алгоритма k-ближайших соседей (KNN) при работе с изображениями в полевых условиях. Этапы получения изображения, предварительной обработки, извлечения признаков, классификации и оценки результатов анализировались как единая технологическая цепочка. Анализ показывает, что метод CNN более гибок в работе со сложным фоном, изменениями освещения, различными сортами культур и крупномасштабными изображениями, что SVM является эффективной альтернативой для небольших наборов данных, а KNN удобен для первоначального прототипирования. Поскольку в исходной статье не указаны конкретные размеры набора данных и количественные экспериментальные показатели, выводы в данной работе сформированы на основе методологического и сравнительного анализа.

Ключевые слова: машинное обучение, сельское хозяйство, анализ изображений, мониторинг урожая, CNN, SVM, KNN, цифровая обработка изображений, интеллектуальное земледелие.

Abstract. *This analytical paper examines machine-learning methods used for image-based monitoring of agricultural crops. The analysis focuses on convolutional neural networks (CNN), support vector machines (SVM), and k-nearest neighbors (KNN), with emphasis on their suitability for real field imagery. The workflow of image acquisition, preprocessing, feature extraction, classification, and performance assessment is considered as an integrated monitoring pipeline. The comparative analysis indicates that CNN is more adaptable to complex backgrounds, illumination variations, crop diversity, and large-scale image processing; SVM is a practical alternative for limited datasets; and KNN is mainly suitable for preliminary experiments and prototyping. Because the source study does not report an explicit dataset size or numerical experimental metrics, the conclusions are presented at the methodological and comparative level.*

Keywords: *machine learning, agriculture, image analysis, crop monitoring, CNN, SVM, KNN, digital image processing, smart farming.*

KIRISH

Qishloq xo'jaligida hosildorlikni oshirish, resurslardan oqilona foydalanish va kasalliklarni erta aniqlash uchun ekin holatini uzluksiz kuzatib borish muhim hisoblanadi. An'anaviy vizual kuzatuvlar, dala o'lchovlari va mutaxassis tajribasiga tayangan baholash usullari katta maydonlarda ko'p vaqt va mehnat talab qiladi, bundan tashqari, subyektiv xatolarga moyil. Shu sababli masofadan zondlash, dron, yer usti kamerasi va sun'iy intellekt vositalarini birlashtirgan avtomatlashtirilgan monitoring tizimlariga ehtiyoj ortib bormoqda.

Raqamli tasvirlardan foydalanish ekinlarning rang, tekstura, shakl, dog'lanish va deformatsiya kabi vizual belgilarini qayd etish imkonini beradi. Biroq tasvir sifati, yoritilish, soya, fon, mavsumiy farqlar va o'simlik navlarining xilma-xilligi model aniqligiga bevosita ta'sir qiladi. Shu nuqtai nazardan, qaysi mashinaviy o'qitish algoritmi amaliy monitoring vazifalariga ko'proq mos kelishini aniqlash ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

Qishloq xo'jaligi ekinlarini tasvirlar asosida monitoring qilishda qo'llanadigan CNN, SVM va KNN yondashuvlarini tahliliy taqqoslash, ularning kuchli va zaif tomonlarini aniqlash hamda real dala sharoitida qo'llash bo'yicha metodologik xulosalar shakllantirishdir.

Ekinlar monitoringida mashinali o'qitish modellarining qiyosiy tahlili

Qishloq xo'jaligida chuqur o'qitishdan foydalanish bo'yicha tadqiqotlar CNN, RNN va gibrid modellar yordamida ekin turini aniqlash, o'simlik kasalliklarini tashxislash va hosildorlikni prognozlash imkoniyatlarini ko'rsatadi [1]. Mohanty va hammualliflar barg tasvirlari asosida kasalliklarni aniqlashda chuqur konvolyutsion tarmoqlarning yuqori imkoniyatlarini ko'rsatgan [2]. Ferentinos turli CNN arxitekturalarini ekin kasalliklarini aniqlashga tatbiq etib, yoritilish va fon o'zgarishlariga chidamlilik masalasini yoritgan [3].

Boshqa tadqiqotlarda sun'iy intellektning aqlli qishloq xo'jaligidagi strategik roli [4], dron tasvirlari asosida ekin sog'lig'ini baholash [5], sun'iy yo'ldosh tasvirlari bilan katta maydonlarni tasniflash [6], turli algoritmlarning qiyosiy samaradorligi [7] va chuqur modellarni hisoblash resurslari bo'yicha optimallashtirish [8] muhokama qilingan. Real vaqt rejimida mobil platformalarda monitoring olib borish [9] hamda mashinaviy o'qitishning aqlli dehqonchilikdagi istiqbollari [10] amaliy yo'nalish sifatida ajralib turadi.

Mashinali o'qitish algoritmlarining samaradorligi mavjud metodologik yondashuvlar, tasvirlarni qayta ishlash bosqichlari hamda modellarni qo'llash xususiyatlari asosida tahlil qilindi. Asosiy e'tibor algoritmlarning turli tasvir sharoitlariga moslashuvchanligi, amaliy qo'llanish imkoniyatlari va mavjud cheklovlarini qiyosiy baholashga qaratildi.

Tasvirlarga asoslangan monitoringning texnologik bosqichlari

Tasvirlarga asoslangan ekin monitoringi ketma-ket besh bosqichdan tashkil topadi: tasvirlarni olish, oldindan qayta ishlash, muhim belgilarni ajratish, modelni o'qitish va natijalarni

baholashdir. Tasvirlar yer usti kameralari, dronlar yoki ochiq ma'lumotlar manbalaridan olinishi mumkin. Turli vegetatsiya bosqichlari, yorug'lik va ob-havo sharoitlarini qamrab olish modelning real sharoitga moslashuvchanligini oshiradi.

Oldindan qayta ishlash bosqichida shovqinni kamaytirish, tasvir o'lchamlarini standartlashtirish, rang qiymatlarini normallashtirish va kontrastni yaxshilash ishlari bajariladi. Zarurat bo'lsa, fonni ajratish yoki segmentatsiya qilish tuproq, begona o't va soya ta'sirini kamaytiradi. Chuqur o'qitish yondashuvida CNN rang, tekstura va shakl kabi belgilarni qo'lda belgilash o'rniga ularni avtomatik o'rganadi.

1-jadval. Qishloq xo'jaligi tasvir manbalarining tahliliy tavsifi

Tasvir manbai	Asosiy afzallik	Cheklov	Mos vazifa
Yer usti kamerasi	Yuqori detallashtirish, yaqin masofadan kuzatish	Qamrov maydoni cheklangan	Barg/ekin holatini lokal aniqlash
Dron (UAV)	Katta maydonni tez va yuqori aniqlikda qamrab oladi	Ob-havo, parvoz va hisoblash resurslariga bog'liq	Dala bo'yicha tezkor monitoring
Sun'iy yo'ldosh	Juda katta hududlarni davriy kuzatish	Fazoviy aniqlik va bulutlilik cheklovi	Hududiy va mavsumiy monitoring

Tasniqlash bosqichida model tasvirni sog'lom, normal (stress holatiga yaqin) yoki kasallangan sinflardan biriga ajratadi. Model sifati odatda Accuracy, Precision, Recall va F1-score orqali baholanadi. Qishloq xo'jaligi amaliyotida ayniqsa Recall muhim, chunki kasallangan ekinni o'tkazib yubormaslik erta choralar ko'rish uchun katta ahamiyatga ega.

CNN, SVM va KNN usullarining tahliliy taqqoslanishi

CNN tasvirlar bilan ishlashda belgilarni avtomatik ajratishi bilan klassik mashinaviy o'qitish usullaridan farq qiladi. SVM va KNN esa odatda oldindan hisoblangan rang, tekstura yoki shakl belgilariga ko'proq bog'liq bo'ladi. Bu farq yorug'lik, fon va ekin turi o'zgargan real dala sharoitida muhim ahamiyat kasb etadi.

2-jadval. CNN, SVM va KNN algoritmlarining tahliliy taqqoslanishi

Mezon	CNN	SVM	KNN
Asosiy yondashuv	Tasvirdan belgilarni avtomatik o'rganadi	Ajratilgan belgilar asosida optimal chegarani topadi	O'xshash namunalar orasidagi masofaga tayanadi
Kasallikning nozik belgilarini aniqlash	Yuqori imkoniyat	O'rta, belgilar sifatiga bog'liq	Past-o'rta
Yorug'lik va soya o'zgarishi	Augmentatsiya bilan yaxshi moslashadi	Kuchli normalizatsiya talab qiladi	O'zgarishlarga sezgir
Fon shovqini	Segmentatsiya/o'rgani sh bilan barqarorroq	Fon ajratilmasa xatolar oshadi	O'xshash fon xatoni ko'paytiradi

Mezon	CNN	SVM	KNN
Turli ekinlarga moslashish	Transfer learning va qayta o'qitish orqali yuqori	Yangi belgilarni sozlash talab qilinadi	Ma'lumot ortishi bilan murakkablashadi
Katta maydon va katta dataset	Eng mos	Cheklangan	Katta datasetda sekin
Real vaqtga yaqin ishlash	GPU bilan o'rta-yuqori	Yengil modelda yuqori	Har safar qo'shnilar qidiriladi
Kichik dataset	Overfitting xavfi bor, transfer learning yordam beradi	Yaxshi va barqaror	k tanloviga sezgir
Izohlanuvchanlik	Qo'shimcha Grad-CAM kabi vosita kerak	Chegara va belgilar ta'sirini tahlil qilish osonroq	Ta'sir qilgan qo'shnilarni ko'rsatish mumkin
Resurs talabi	GPU tavsiya etiladi	Nisbatan past	Hisoblash yengil, lekin qidirish vaqti ortadi

Jadval tahlili shuni ko'rsatadiki, CNN dala sharoitining murakkab vizual omillariga nisbatan eng moslashuvchan yondashuv sifatida ajralib turadi. Buning asosiy sababi - belgilarni qo'lda tanlash zaruratining kamayishi va bir vaqtning o'zida rang, tekstura, shakl hamda lokal patologik o'zgarishlarni o'rganish imkoniyatidir. Biroq bu afzallik yuqori hisoblash resurslari va sifatli o'quv ma'lumotlariga bo'lgan ehtiyoj bilan birga keladi.

SVM kichik yoki o'rta hajmdagi ma'lumotlar to'plamida, ayniqsa oldindan ajratilgan belgilar yaxshi shakllantirilgan bo'lsa, amaliy va hisoblash jihatdan tejankor yechim bo'lishi mumkin. KNN esa modelni o'qitish bosqichi oddiyligi sababli prototiplash va dastlabki tajribalarda qulay, biroq ma'lumotlar hajmi oshganda qidiruv jarayoni sekinlashadi va real vaqt monitoringiga mosligi kamayadi.

NATIJALAR MUHOKAMASI

Manba maqoladagi natijalar bo'limida CNN sog'lom va kasallangan holatlarni ajratishda barqaror natija bergani, normal holatni aniqlash esa rang va tekstura o'zgarishlarining noaniqligi sababli murakkabroq ekani qayd etilgan. Shuningdek, tasvirlarni oldindan qayta ishlash va ma'lumotlarni augmentatsiya qilish modelning umumlashtirish qobiliyatini yaxshilashi ta'kidlangan. Bu kuzatuvlar dala sharoitidagi monitoring uchun faqat klassifikator arxitekturasini emas, balki butun ma'lumotlar tayyorlash zanjiri hal qiluvchi ahamiyatga ega ekanini ko'rsatadi.

Amaliy tizimni joriy etishda uchta shart muhim: birinchidan, o'quv ma'lumotlari turli yorug'lik, fon, vegetatsiya bosqichi va navlarni qamrab olishi kerak; ikkinchidan, kasallik sinfi bo'yicha yetarli namunalar yig'ilishi zarur; uchinchidan, model natijasi faqat sinf nomi bilan emas, ehtimollik yoki ishonchlilik ko'rsatkichi bilan berilishi maqsadga muvofiq. Bunday yondashuv fermer yoki agronomga avtomatik qarorni ekspert kuzatuv bilan uyg'unlashtirish imkonini beradi.

Tahlildan kelib chiqib, katta maydonli va o'zgaruvchan dala muhitida CNN asosiy texnologik yechim sifatida ko'rilishi mumkin. Ma'lumotlar cheklangan va tez joriy etish talab qilingan holatda SVM oqilona alternativ hisoblanadi. KNN esa konsepsiyani tekshirish, kichik

tajriba yoki o'quv maqsadlarida qulay. Biroq ushbu xulosalar miqdoriy tajriba ko'rsatkichlarisiz algoritmlarning metodologik xususiyatlari va manba maqoladagi sifat tahliliga tayangan holda berilgan.

XULOSA

Qishloq xo'jaligi ekinlarini tasvirlar asosida monitoring qilishda mashinaviy o'qitish algoritmini tanlash vazifaning ko'lami, ma'lumotlar hajmi, tasvir sharoiti va hisoblash resurslariga bog'liq. CNN murakkab tasvirlardan belgilarni avtomatik ajratishi, fon va yorug'lik o'zgarishlariga moslashishi hamda katta hajmdagi monitoringga integratsiyalash imkoniyati bilan ustunlik qiladi. SVM kichik ma'lumotlar to'plamida samarali va resurs tejamkor alternativ bo'lsa, KNN tezkor prototiplash uchun mos keladi.

Kelgusidagi tadqiqotlarda aniq dataset tavsifi, train/validation/test bo'linishi, sinflar balansi, Accuracy, Precision, Recall, F1-score va confusion matrix kabi miqdoriy ko'rsatkichlar berilishi zarur. Shuningdek, CNN arxitekturalarini real dala tasvirlarida, turli hudud va ekin turlarida tekshirish hamda model qarorlarini Grad-CAM kabi izohlash usullari bilan boyitish tahliliy xulosalarni eksperimental jihatdan mustahkamlash imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70–90.

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.009>

[2] Mohanty, S. P., Hughes, D. P., & Salathé, M. (2016). Using deep learning for image-based plant disease detection. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1419. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01419>

[3] Ferentinos, K. P. (2018). Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 145, 311–318.

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.009>

[4] Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Information Fusion*, 28, 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2018.01.002>

[5] Zhang, C., Li, W., & Wang, L. (2019). Assessment of crop health using UAV imagery and machine learning techniques. *Remote Sensing*, 11(8), 927. <https://doi.org/10.3390/rs11080927>

[6] Kussul, N., Lavreniuk, M., Skakun, S., & Shelestov, A. (2017). Crop classification using satellite imagery and machine learning techniques. *Remote Sensing of Environment*, 199, 197–209. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.02.014>

[7] Ma, J., Li, X., Wang, Y., & Zhang, H. (2021). Comparative study of machine learning algorithms for image-based crop analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 190, 106199. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106199>

[8] Too, E. C., Li, X., & Wang, Y. (2019). Optimizing deep learning models for crop monitoring: Balancing model size and accuracy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 104964. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104964>

[9] Abbas, A., Jain, S., Gour, M., & Vankudothu, S. (2021). Real-time agricultural crop monitoring using machine learning and mobile platforms. *Sensors*, 21(3), 788. <https://doi.org/10.3390/s21030788>

[10] Benos, L., Bechar, A., Bochtis, D., & Sørensen, C. G. (2021). Machine learning in agriculture: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 181, 105817. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105817>

[11] Sladojevic, S., Arsenovic, M., Anderla, A., Culibrk, D., & Stefanovic, D. (2016). Deep neural networks based recognition of plant diseases by leaf image classification. Computers in Industry, 74, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.03.015>

[12] . Berdiyev G., Ochilova S., Ochilov M., Xoliqova A. CNN-Based Image System for Automated Agricultural Crop Condition Monitoring // Academia Open. – 2026. – Vol. 11, No. 1. – DOI: 10.21070/acopen.11.2026.13423.

OLIY TA'LIM MUASSASI TALABALARIGA WEB-DASTURLASHNI O'RGATUVCHI PLATFORMANING AFZALLIKLARI

O'ngboyeva Muqaddas Yo'ldoshevna

Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti Jizzax filiali, Jizzax, O'zbekiston

e-mail: mungboyeva@gmail.com

Annotatsiya. Bugungi kunda axborot texnologiyalari sohasi, xususan, web-dasturlash yo'nalishi jadal rivojlanmoqda. Oliy ta'lim muassasalari talabalariga ushbu sohani samarali va tizimli o'rgatish uchun zamonaviy interaktiv platformalardan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu maqolada web-dasturlashni o'rgatuvchi maxsus platformaning tuzilishi, uning ta'lim jarayonidagi o'rni hamda talabalarining amaliy ko'nikmalarini rivojlantirishdagi afzalliklari yoritib berilgan.

Kalit so'zlar: web-dasturlash, interaktiv platforma, oliy ta'lim, masofaviy ta'lim, HTML/CSS, JavaScript, backend, frontend, amaliy ko'nikmalar.

Аннотация. В настоящее время сфера информационных технологий, в частности направление веб-программирования, стремительно развивается. Для эффективного и системного обучения студентов высших учебных заведений этой сфере важное значение имеет использование современных интерактивных платформ. В данной статье освещаются структура специализированной платформы для обучения веб-программированию, её роль в образовательном процессе, а также преимущества в развитии практических навыков студентов.

Ключевые слова: веб-программирование, интерактивная платформа, высшее образование, дистанционное обучение, HTML/CSS, JavaScript, backend, frontend, практические навыки.

Abstract. The abstract field of information technology, particularly web development, is rapidly evolving. The use of modern interactive platforms plays a crucial role in teaching this field to higher education students in an effective and systematic manner. This article highlights the structure of a specialized web development learning platform, its role in the educational process, and its advantages in developing students' practical skills.

Keywords: web development, interactive platform, higher education, distance learning, HTML/CSS, JavaScript, backend, frontend, practical skills.

KIRISH

Jahonda so'nggi yillarda axborot texnologiyalarining jadal rivojlanishi, raqamli ma'lumotlar hajmining keskin ortishi hamda tashkilotlar faoliyatida axborot resurslarining strategik ahamiyati ortib borishi ularni samarali boshqarish va baholash zaruratini kuchaytirmoqda. Bu esa, o'z navbatida, axborot resurslarini tahlil qilish, ularning qiymatini aniqlash, boshqaruv qarorlarini qabul qilishda foydalanish hamda baholash jarayonlarini avtomatlashtirishga qaratilgan zamonaviy ilmiy tadqiqotlar olib borishni taqozo etmoqda. Tashkilotlarda axborot resurslari qiymatini baholashning avtomatlashtirilgan tizimlarini ishlab chiqishning ilmiy-uslubiy va amaliy jihatlarini tadqiq etish bugungi kunda dolzarbligi bilan ajralib turadi.

Zamonaviy raqamli iqtisodiyot sharoitida yuqori malakali dasturchi kadrlar tayyorlash oliy ta'lim tizimi oldida turgan asosiy vazifalardan biridir. An'anaviy ma'ruza va amaliyot darslari ko'pincha talabalarga real loyihalar ustida ishlash va kodni avtomatik tekshirish imkoniyatini yetarlicha bera olmaydi. Shu sababli, web-dasturlash yo'nalishida tahsil olayotgan talabalar uchun maxsus mo'ljallangan, interaktiv va amaliyotga yo'naltirilgan o'quv platformalarini joriy etish zarurati yuzaga kelmoqda.

MATERIALLAR VA USULLAR

Web-dasturlashni o'qitish va ta'lim jarayonini raqamli platformalar orqali tashkil etish masalalari pedagogika, psixologiya va informatika fanlari tutashgan nuqtada ko'plab olimlar tomonidan tadqiq etilgan.

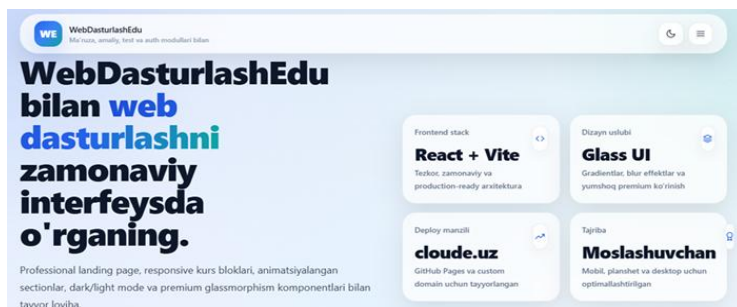
B. Skinner va J. Brunerlarning tadqiqot ishlarida dasturlashtirilgan ta'lim va o'rganish jarayonini kichik qadamlarga bo'lish nazariyasining asoschilari hisoblanadi. Ularning g'oyalari zamonaviy LMS (Learning Management Systems) platformalarining mantiqiy asosi bo'lib xizmat qilmoqda. M. Resnickning tadqiqot ishlarida "Scratch" va boshqa vizual dasturlash muhitlari asoschisi sifatida talabalarda algoritmik fikrlashni shakllantirish bo'yicha fundamental tadqiqotlar o'tkazgan. D. Flanagan va K. Sye kabi olimlar web-dasturlashning texnik jihatlari, JavaScript va server texnologiyalarini o'qitishda amaliy yondashuvlarni ishlab chiqishgan. Ularning ishlarida Web-ishlab chiqishning dinamik tabiati ta'lim mazmunini doimiy yangilab turishni talab qilishi alohida ta'kidlangan [1].

MDHda axborot texnologiyalarini o'qitish metodikasini takomillashtirish bo'yicha A.P. Ershovning ilmiy izlanishlarida informatika o'qitish metodikasining asoschisi sifatida "maktab va oliy ta'limda algoritmik madaniyatni shakllantirish" nazariyasini ilgari surgan, S.A. Beshenkov va I.V. Robertlarning tadqiqotlarida ta'limni axborotlashtirishning pedagogik-eruditiv asoslari, o'quv jarayonida multimedia vositalaridan foydalanish va virtual laboratoriyalarni yaratish bo'yicha izlanishlar olib borishgan. V.V. Grinshkunning tadqiqotlarida ta'lim resurslarining sifatini baholash va ularni ierarxik tizimlash bo'yicha ilmiy ishlari bilan ushbu soha rivojiga hissa qo'shgan [3,4,5].

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Tadqiqot natijalarini taqdim eting. Har bir rasm va jadval ketma-ket raqamlanishi kerak. Ta'lim muassasasining ta'lim platformasiga joylashtiriluvchi mediaresurslarga qo'yiladigan talablar tizimga mo'ljallangan o'quv fanining o'ziga xosligi, xususiyatlari, qonuniyatlari, izlanish usullari hamda axborotga ishlov berishning zamonaviy usullarini joriy qilish imkoniyatlarini hisobga olishni ko'zda tutadi. Ushbu tizimda o'qitishni tashkil etish uchun "Web dasturlash" fanining barcha mashg'ulot shakllari (nazariy, amaliy va laboratoriya) materiallari kiritildi. Buni esa davlat tilidagi o'qitish tizimini yaratishdagi dastlabki qadam deb hisoblash mumkin. Bu sohadagi ishlar hozirgi paytda dolzarb bo'lib turgan onlayn ta'limning o'quv-metodik ta'minotiga zamin yaratadi [2].

Ta'lim platformasining asosiy sahifasi — bu foydalanuvchi tizimga kirganda uni kutib oladigan, loyihaning maqsad va vazifalarini vizual tarzda tushuntirib beradigan eng muhim bosh qismidir. Mazkur sahifa foydalanuvchida dastlabki taassurotni shakllantiradi va uni kerakli bo'limlarga yo'naltiradi.



1-rasm. Ta'lim platformasining bosh sahifasi

Ro'yxatdan o'tish va autentifikatsiya: O'qituvchi platformada xavfsiz autentifikatsiya modulidan o'tib, o'zining shaxsiy va kasbiy ma'lumotlarini kiritadi.

a)

b)

2-rasm. Ta'lim platformasida o'qituvchi yoki talabalarning ro'yxatdan o'tish paneli

Platformaning asosiy funksionalligi va tuzilishi. Talabalarga web-dasturlashni bosqichma-bosqich o'rgatuvchi platforma quyidagi asosiy modullarni o'z ichiga olishi lozim:

Nazariy va amaliy modullar: HTML, CSS, JavaScript hamda backend texnologiyalari (Node.js, Python/Django, PHP va h.k.) bo'yicha qisqa video-darslar va interaktiv matnli qo'llanmalar [6].

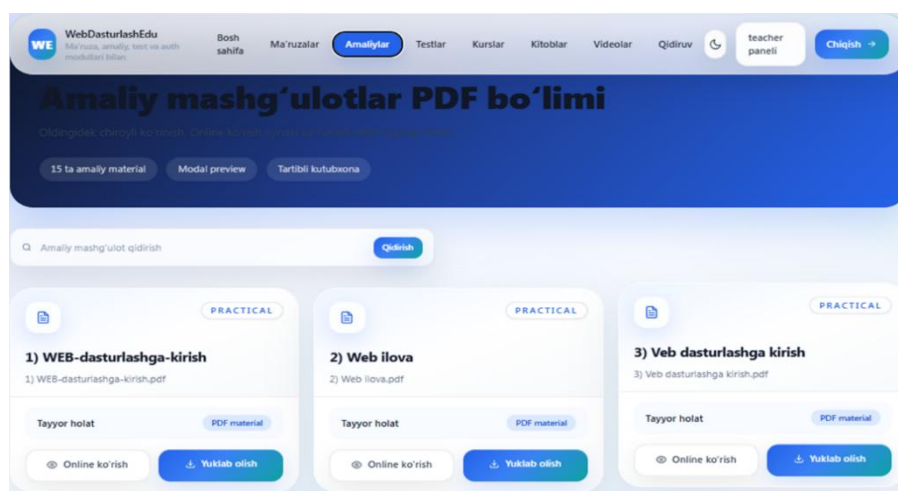
Kodni real vaqt rejimida tekshirish: Talaba platformaning o'zida kod yozishi va natijani darhol ko'rishi uchun o'rnatilgan muhit.

Avtomatik baholash tizimi: Topshirilgan amaliy vazifalar va testlarni avtomatik ravishda tekshiruvchi va xatoliklarni ko'rsatib beruvchi algoritm.

Loyiha bazasi hamda portfoliya shakllantirish: Talabalar bosqichma-bosqich kichik loyihalardan tortib, to'liq web-sayt va tizimlarni yaratib, o'z portfoliolarini shakllantirish imkoniyati [7].

O'qituvchi va talaba aloqasi: O'qituvchi uchun talabalarning o'zlashtirish darajasini va statistikani kuzatib borish paneli.

Ta'lim platformasining ta'lim samaradorligini oshirishdagi o'rni. Oliy ta'lim muassasalarida ushbu platformadan foydalanish bir qator afzalliklarni beradi:



3-rasm. Ta'lim platformasining strukturasi.

Individual ta'lim trayektoriyasi: Har bir talaba o'zining o'zlashtirish tezligiga mos ravishda topshiriqlarni bajarishi va bilimidagi bo'shliqlarni to'ldirishi mumkin.

Amaliyotga yo‘naltirilganlik: Nazariya va amaliyotning uzviy bog‘liqligi ta‘minlanib, talaba nazariy bilimlarni darhol kod ko‘rinishida sinab ko‘radi.

Mustaqil ta‘limni rag‘batlantirish: Gamifikatsiya usullari orqali talabalarda fanga bo‘lgan qiziqish va motivatsiya ortadi.

XULOSA

Oliy ta‘lim muassasalari talabalari uchun web-dasturlashni o‘rgatuvchi interaktiv platformani yaratish va ta‘lim jarayoniga tatbiq etish mutaxassislarni tayyorlash sifatini keskin oshiradi. Bu kabi raqamli vositalar talabalarga nafaqat nazariy bilimlarni, balki mehnat bozorida talab etiladigan amaliy ko‘nikmalarni shakllantirishga hamda mustaqil izlanishga imkon beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Aripov M.M. va boshqalar. Web-texnologiyalar. — T: Noshir, 2013.

[2] Ziyodullayev, A.R. Axborot texnologiyalarini o‘qitishda innovatsion platformalarning o‘rni // Ta‘lim va innovatsiya. — 2023.

[3] Роберт И.В. Современные информационные технологии в образовании: дидактические проблемы; перспективы использования. — М.: Школа-Пресс, 2010.

[4] Гриншкун В.В. Развитие образовательных электронных ресурсов в условиях информатизации образования. — М.: 2004.

[5] Полат Е.С. Современные педагогические и информационные технологии в системе образования. — М.: Академия, 2010.

[6] Королев Ю.И. Интерактивные методы обучения программированию в вузе. — СПб.: Питер, 2015.

[7] Flanagan D. JavaScript: The Definitive Guide. — O'Reilly Media, 2020.

DEFORMATSIYALANUVCHAN QATTIQ JISMLAR MEXANIKASINI MATEMATIK VA DASTURIY MODELLASHTIRISH

Saipnazarov Jonibek Muxammadiyevich¹, Jo‘rayeva Gulzoda Bobonazar qizi²

¹Qarshi davlat texnika universiteti “Oliy matematika” kafedrasida dotsenti.

jonibeksaipnazarov@gmail.com Tel: (99)735-65-63

²Qarshi davlat texnika universiteti talabasi

Annotatsiya. Maqolada deformatsiyalanuvchan qattiq jismlar mexanikasi masalalarini matematik va sonli modellash, ularni algoritmlashtirish hamda Python dasturlash tili yordamida hisoblash metodikasi tadqiq etiladi. Tadqiqotning asosiy g‘oyasi mexanik masalaning fizik mazmunini saqlagan holda muvozanat tenglamalari, geometrik bog‘lanishlar va materialning fizik qonunlarini yagona hisoblash algoritmgacha birlashtirishdan iborat. Bir o‘lchamli chiziqli elastik sterjen modeli misolida kuchlanish, deformatsiya va siljishlar aniqlanadi; analitik yechim bilan sonli hisoblash natijalarini solishtirish orqali modelning verifikatsiya tamoyili ko‘rsatiladi. Shuningdek, yuklama, elastiklik moduli va kesim yuzining mexanik javobga ta‘sirini parametrik tahlil qilish usuli keltiriladi. Tadqiqot natijalari mexanika, materiallar qarshiligi va matematik modellashni dasturlash bilan integratsiyalashgan holda o‘qitish hamda muhandislik hisoblarini avtomatlashtirish uchun metodik asos bo‘la olishini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: deformatsiyalanuvchan qattiq jism, elastiklik, kuchlanish, deformatsiya, siljish, Guk qonuni, muvozanat tenglamasi, matematik modellash, sonli usul, Python, parametrik tahlil, verifikatsiya.

Аннотация. В статье исследуется математическое и численное моделирование задач механики деформируемых твердых тел, их алгоритмизация и методы расчета с

использованием языка программирования Python. Основная идея исследования заключается в объединении уравнений равновесия, геометрических соотношений и физических законов материалов в единый алгоритм расчета при сохранении физического содержания механической задачи. На примере одномерной линейной упругой модели стержня определяются напряжения, деформации и перемещения; принцип верификации модели демонстрируется путем сравнения результатов численных расчетов с аналитическим решением. Также представлен метод параметрического анализа влияния нагрузки, модуля упругости и площади поперечного сечения на механический отклик. Результаты исследования показывают, что интеграция механики, прочности материалов и математического моделирования с программированием может служить методической основой для обучения и автоматизации инженерных расчетов.

Ключевые слова: деформируемое твердое тело, упругость, напряжение, деформация, перемещение, закон Гука, уравнение равновесия, математическое моделирование, численный метод, Python, параметрический анализ, верификация.

Abstract. The paper investigates a computational methodology for modeling and solving deformable solid mechanics problems using mathematical formulations and the Python programming language. The proposed approach combines equilibrium equations, kinematic relations, and constitutive laws into a unified computational algorithm while preserving the physical meaning of the mechanical problem. A one-dimensional linear elastic bar is used as a model problem to determine stress, strain, and displacement. The numerical results are verified against analytical expressions, and a parametric analysis is proposed to investigate the effects of load, Young's modulus, and cross-sectional area on the mechanical response. The results demonstrate that the integration of mechanics, mathematical modeling, and programming provides a practical framework for automated engineering calculations and for developing students' computational and analytical skills.

Keywords: deformable solid, elasticity, stress, strain, displacement, Hooke's law, equilibrium equation, mathematical modeling, numerical method, Python, parametric analysis, verification.

Kirish. Deformatsiyalanuvchan qattiq jismlar mexanikasi tashqi yuklamalar ta'sirida jismlarda hosil bo'ladigan kuchlanishlar, deformatsiyalar va siljishlarni aniqlashga qaratilgan nazariy va amaliy fanlardan biridir. Mashina detallari, qurilish konstruksiyalari, transport vositalari elementlari va turli texnik tizimlarning ishonchli ishlashi ularning mustahkamligi va bikrligini to'g'ri baholashga bog'liq. Shu sababli mexanik holatni matematik ifodalash, hisoblash va natijalarni muhandislik nuqtayi nazaridan talqin qilish zamonaviy muhandislik ta'limining muhim tarkibiy qismi hisoblanadi.

Klassik elastiklik nazariyasida jism holatini aniqlash uchun muvozanat tenglamalari, deformatsiya–siljish munosabatlari va materialning konstitutiv qonunlari o'zaro bog'langan holda qaraladi. Zamonaviy hisoblash mexanikasida esa ushbu tenglamalarni kompyuter yordamida sonli yechish imkoniyati kengaygan. Elastiklik nazariyasi va chekli elementlar usuli bo'yicha zamonaviy darsliklarda ham matematik modelni kompyuter hisoblashlari bilan birlashtirish muhim yo'nalish sifatida qaraladi [1].

Muhandislik hisoblarida oddiy analitik masalalar uchun yopiq formulalar mavjud bo'lsa-da, geometriya, yuklama yoki material xossalari murakkablashgan sari sonli yondashuvlarning ahamiyati ortadi. Chekli elementlar usuli elastik mexanikadagi murakkab chegaraviy masalalarni yechish uchun keng qo'llanadigan usullardan biri sifatida tavsiflanadi [2,3].

Ushbu maqolaning maqsadi deformatsiyalanuvchan qattiq jismlar mexanikasi masalasini fizik modeldan dasturiy algoritmgacha izchil olib boruvchi metodikani ishlab chiqish va bir o'lchamli elastik sterjen misolida ko'rsatishdan iborat. Tadqiqotda ayniqsa uchta vazifaga e'tibor

qaratiladi: matematik modelni to'g'ri shakllantirish; hisoblash algoritmini Python muhitida amalga oshirish; sonli natijani analitik yechim bilan tekshirish va parametrik tahlil qilish.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili (Literature review). Elastiklik nazariyasi qattiq jismlar mexanikasining klassik yo'nalishi bo'lib, unda kuchlanish va deformatsiya holatlari, muvozanat, chegaraviy shartlar hamda materialning fizik bog'lanishlari asosiy tushunchalarni tashkil etadi. Matematik elastiklik bo'yicha manbalarda differensial tenglamalar orqali ifodalangan chegaraviy masalalar va ularni sonli usullar bilan yechish masalalari tizimli ravishda bayon qilingan[4].

Hisoblash mexanikasi adabiyotlarida chekli elementlar usuli elastik jismlarning statik va dinamik masalalarini yechishda muhim sonli metod sifatida ko'rsatiladi. Ushbu usulning asosiy g'oyasi uzluksiz sohani chekli elementlarga ajratish, noma'lum maydonni bazis funksiyalar orqali yaqinlashtirish va natijada algebraik tenglamalar sistemasini hosil qilishdan iborat[5].

Kompyuterga asoslangan elastiklik kurslarida nazariy tushunchalarni amaliy hisoblash vositalari bilan birlashtirish yondashuvi ham qo'llanadi. Masalan, elastiklik nazariyasiga bag'ishlangan zamonaviy o'quv adabiyotlarida hisoblash vositalari va amaliy misollar orqali kuchlanish tahlilini mustahkamlashga e'tibor qaratiladi[6,7].

Mazkur maqolaning farqli jihati murakkab sonli usulni to'liq ishlab chiqishdan ko'ra, deformatsiyalanuvchan qattiq jism mexanikasi masalasining dasturlashga o'tkazilish bosqichlarini aniq va takrorlanadigan algoritm sifatida ko'rsatishdir. Shu sababli boshlang'ich model sifatida analitik yechimi ma'lum bo'lgan bir o'lchamli elastik sterjen tanlanadi. Bu model keyingi bosqichlarda chekli elementlar, o'zgaruvchan kesim va murakkab yuklanishlarga kengaytirilishi mumkin.

Tadqiqot metodologiyasi (Research Methodology). Tadqiqot metodologiyasi fizik-matematik modellash, analitik tahlil, sonli hisoblash, parametrik tajriba va natijalarni verifikatsiya qilish bosqichlaridan tashkil topadi. Metodik zanjir quyidagicha ifodalanadi:

fizik tizim $\rightarrow$ matematik model $\rightarrow$ algoritm $\rightarrow$ dastur $\rightarrow$ sonli natija $\rightarrow$ analitik tekshiruv $\rightarrow$ muhandislik talqini.

Model sifatida uzunligi L bo'lgan, kesim yuzi A va elastiklik moduli E doimiy bo'lgan prizmatik sterjen qaraladi. Sterjenning bir uchi mahkamlangan, ikkinchi uchiga F bo'ylama kuch qo'yilgan deb olinadi. Material chiziqli elastik, deformatsiyalar kichik, yuklama statik va kesim bo'ylab normal kuchlanish bir tekis taqsimlangan deb faraz qilinadi.

Muvozanat sharti doimiy kesim va uchki kuch holatida normal ichki kuch $N(x) = F$ ekanligini beradi. Normal kuchlanish σ quyidagicha aniqlanadi:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Chiziqli elastiklik sharoitida Guk qonuni:

$$\sigma = E\varepsilon, \quad \varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (2)$$

Bo'ylama deformatsiya siljish funksiyasi bilan quyidagicha bog'lanadi:

$$\varepsilon = \frac{du}{dx} \quad (3)$$

Shuning uchun doimiy E va A uchun differensial tenglama:

$$\frac{d}{dx} EA \cdot \frac{du}{dx} = 0 \quad (4)$$

Chegaraviy shartlar $u(0)=0$ va $EAu(L)=F$ ko‘rinishida olinadi. Ushbu tenglamaning analitik yechimi:

$$u(x) = \frac{Fx}{EA}, \quad u(L) = \frac{FL}{EA} \quad (5)$$

Modelni dasturlashda avvalo barcha kattaliklar SI birliklarida kiritiladi. Keyin kuchlanish, deformatsiya va siljish hisoblanadi. Natijalar sonli qiymatlar bilan birga grafik ko‘rinishda ham taqdim etiladi. Bunday yondashuv fizik modelni kompyuter algoritmiga aylantirish jarayonini ochiq ko‘rsatadi.

4. Hisoblash algoritmi va dasturiy amalga oshirish

Hisoblash algoritmining birinchi bosqichida geometriya va material parametrlari belgilanadi. Ikkinchi bosqichda tashqi yuklama kiritiladi. Uchinchi bosqichda kuchlanish va deformatsiya aniqlanadi. To‘rtinchi bosqichda sterjen bo‘ylab x koordinatalari hosil qilinib, har bir nuqtadagi siljish hisoblanadi. Yakuniy bosqichda natijalar konsolga chiqariladi va $u(x)$ funksiyasi grafikda tasvirlanadi.

Dasturiy amalga oshirish uchun Pythonning NumPy va Matplotlib kutubxonalaridan foydalanish mumkin. Ushbu tanlov matritsali va massivli hisoblashlar hamda grafik tasvirlashni sodda shaklda bajarish imkonini beradi. Kengroq chekli elementlar masalalarida ham kompyuter usullari mexanik modellarni hisoblash uchun qo‘llanadi.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Geometrik va material parametrlari
L = 2.0      # m
A = 4.0e-4   # m^2
E = 2.0e11   # Pa
F = 2.0e4    # N

# Asosiy mexanik kattaliklar
sigma = F / A
epsilon = sigma / E

# Sterjen bo'ylab siljish
x = np.linspace(0, L, 200)
u = F * x / (E * A)

print(f"Stress = {sigma/1e6:.2f} MPa")
print(f"Strain = {epsilon:.6e}")
print(f"End displacement = {u[-1]*1000:.3f} mm")

plt.plot(x, u * 1000)
plt.xlabel("x, m")
plt.ylabel("u(x), mm")
plt.title("Axial displacement of an elastic bar")
plt.grid(True)
plt.show()
```

-Tahlil va natijalar (Analysis and results). Hisoblash tajribasi uchun $L = 2 \text{ m}$, $A = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$, $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$ va $F = 2 \cdot 10^4 \text{ N}$ qiymatlar qabul qilindi. Ushbu parametrlar

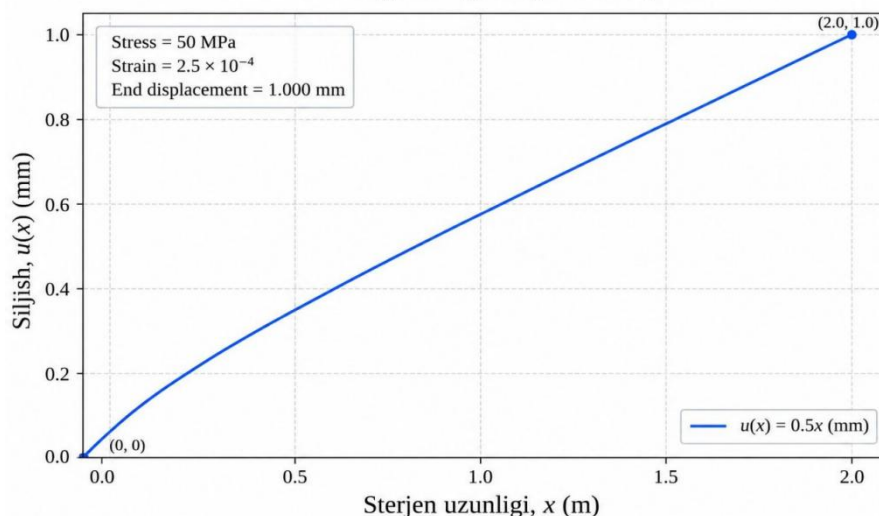
nazariy modelni namoyish qilish uchun tanlangan bo‘lib, real konstruksiyaning eksperimental sinovi sifatida talqin qilinmaydi.

Analitik yechimdan kuchlanish $\sigma = \frac{F}{A} = 5 \cdot 10^7 \text{ Pa} = 50 \text{ MPa}$. Nisbiy

deformatsiya $\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = 2,5 \cdot 10^{-4}$. Sterjen uchidagi siljish $u(L) = \frac{FL}{EA} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,5 \text{ mm}$ qiymatga teng.

Kattalik	Belgi	Qiymat	Birlik
Sterjen uzunligi	L	2	m
Kesim yuzi	A	$4 \cdot 10^{-4}$	m ²
Elastiklik moduli	E	$2 \cdot 10^{11}$	Pa
Yuklama	F	$2 \cdot 10^4$	N
Kuchlanish	σ	50	MPa
Deformatsiya	ε	$2,5 \cdot 10^{-4}$	—
Uchki siljish	u(L)	0,5	mm

Elastik sterjenning bo‘ylama siljishi



1-rasm — Sterjen uzunligi bo‘yicha bo‘ylama siljishning taqsimlanishi.

Natijalar shuni ko‘rsatadiki, bir xil yuklama ostida kuchlanish kesim yuziga teskari proporsional, siljish esa F va L ga to‘g‘ri, E va A ga teskari proporsional. Bu bog‘lanishlar modelning fizik mazmunini tushuntirishda muhimdir. Dastur hisoblashni avtomatlashtirgani sababli parametrlarning birini o‘zgartirib, yangi holatni tezkor ravishda olish mumkin.

Xulosa va takliflar(Conclusion/Recommendations). Tadqiqotda deformatsiyalanuvchan qattiq jismlar mexanikasi masalalarini matematik modeldan dasturiy yechimgacha olib boruvchi metodika ishlab chiqildi. Bir o‘lchamli chiziqli elastik sterjen modeli asosida kuchlanish, nisbiy deformatsiya va bo‘ylama siljishlar aniqlandi. Python dasturi yordamida hisoblash jarayoni avtomatlashtirildi va analitik yechim bilan mosligi ko‘rsatildi. Taklif etilgan yondashuvning asosiy natijasi alohida bitta formulani hisoblash emas, balki fizik masalani algoritmlashtirishning izchil sxemasini shakllantirishdir. Ushbu sxema muvozanat tenglamalarini tuzish, fizik qonunlarni kiritish,

chegaraviy shartlarni belgilash, sonli hisoblash, natijani grafik tasvirlash va verifikatsiya qilish bosqichlarini qamrab oladi. Keyingi tadqiqotlarda o'zgaruvchan kesimli sterjen, taqsimlangan yuklama, egilish masalalari va ikki o'lchamli elastiklik uchun chekli elementlar modelini ishlab chiqish; turli material modellarini solishtirish; to'r yaqinlashishini va hisoblash xatoligini baholash; shuningdek, eksperimental ma'lumotlar bilan validatsiya qilish tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Timoshenko, S.P., Goodier, J.N. Theory of Elasticity. 3rd ed. McGraw-Hill, 1970.
- [2] Landau, L.D., Lifshitz, E.M. Theory of Elasticity. 3rd ed. Butterworth-Heinemann, 1986.
- [3] Sadd, M.H. Elasticity: Theory, Applications, and Numerics. 3rd ed. Academic Press, 2020.
- [4] Gould, P.L., Feng, Y. Introduction to Linear Elasticity. Springer, 2018.
- [5] Eslami, M.R. Finite Elements Methods in Mechanics. Springer, 2014.
- [6] Zohdi, T.I. A Finite Element Primer for Beginners: The Basics. Springer, 2018.
- [7] Bielak, J. The Finite Element Method: A Primer. Springer, 2024.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ К ЗАДАЧАМ РАСЧЁТА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ РЕШЕНИЕ НА ЯЗЫКЕ PYTHON

Сатторов Абдусалом Муталипович

Старший преподаватель, Ферганский государственный технический университет,
asattorov751012@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается применение методов прикладной математики к типовым задачам расчёта строительных конструкций с программной реализацией на языке Python. Решены две задачи, представляющие две раздела математики: изгиб балки как краевая задача для дифференциального уравнения четвёртого порядка, решаемая методом конечных разностей; определение усилий в стержнях статически определимой фермы, сводящееся к системе линейных алгебраических уравнений. Установлено, что конечно-разностное решение совпадает с аналитической формулой до третьего значащего знака. Приведены работоспособные программы на основе библиотек NumPy и SciPy объёмом не более двадцати строк каждая. Обсуждены границы применимости численного подхода и правила контроля достоверности результата.

Ключевые слова: прикладная математика, строительные конструкции, Python, NumPy, SciPy, метод конечных разностей, изгиб балки, стержневая ферма, система линейных уравнений, подбор сечения, прочность.

Annotatsiya. Maqolada amaliy matematika usullarining qurilish konstruksiyalarini hisoblashdagi tipik masalalarga qo'llanilishi va ularning Python dasturlash tilida amalga oshirilishi ko'rib chiqilgan. Matematikaning ikki bo'limini ifodalovchi ikkita masala yechilgan: to'sinning egilishi – to'rtinchi tartibli differensial tenglama uchun chegaraviy masala sifatida, chekli ayirmalar usuli bilan; statik aniqlanuvchi ferma sterjenlaridagi zo'riqishlarni aniqlash – chiziqli algebraik tenglamalar sistemasiga keltirilgan holda. Chekli ayirmalar usuli bilan olingan natija analitik formula bilan uchinchi raqamgacha mos kelishi aniqlangan. NumPy va SciPy kutubxonalari asosida yozilgan, har biri yigirma qatordan oshmaydigan ishchi dasturlar keltirilgan. Sonli yondashuvning qo'llanilish chegaralari va natija ishonchliligini nazorat qilish qoidalari muhokama qilingan.

Tayanch so'zlar: amaliy matematika, qurilish konstruksiyalari, Python, NumPy, SciPy, chekli ayirmalar usuli, to'sinning egilishi, sterjenli ferma, chiziqli tenglamalar sistemi, kesimni tanlash, mustahkamlik.

Abstract. The paper examines the application of applied mathematical methods to typical structural design problems, together with their implementation in the Python programming language. Two problems representing two branches of mathematics are solved: beam bending, treated as a boundary value problem for a fourth-order differential equation and solved by the finite difference method; determination of axial forces in a statically determinate truss, reduced to a system of linear algebraic equations. It is established that the finite difference solution agrees with the closed-form expression to three significant figures. Working programs based on the NumPy and SciPy libraries are presented, each not exceeding twenty lines of code. The limits of applicability of the numerical approach and practical rules for verifying the reliability of computed results are discussed.

Keywords: applied mathematics, structural design, Python, NumPy, SciPy, finite difference method, beam bending, truss analysis, system of linear equations, cross-section design, strength.

1. ВВЕДЕНИЕ

Расчёт строительных конструкций относится к числу областей, где корректность математической постановки задачи непосредственно определяет безопасность объекта. Традиционный подход опирается на табличные формулы, полученные аналитически для ограниченного набора расчётных схем. Как только схема отклоняется от типовой – появляется переменная нагрузка, промежуточная опора или переменное сечение, – аналитическое решение становится недоступным.

Современные проектные комплексы решают эту проблему методом конечных элементов, однако для пользователя они остаются закрытыми: алгоритм и принятые допущения не поддаются прямой проверке, что затрудняет их применение в учебном процессе и в исследовательских задачах. Открытые научные библиотеки языка Python – NumPy и SciPy – позволяют реализовать те же вычислительные схемы в прозрачном и верифицируемом виде при объёме программы в несколько десятков строк.

Цель работы – показать, что три различных раздела прикладной математики приводят к единой вычислительной схеме «дискретизация – система уравнений – решение», и представить компактные верифицированные реализации для трёх характерных задач расчёта конструкций. Задачи исследования: построить конечно-разностную модель изгиба балки и верифицировать её по точному решению; формализовать расчёт стержневой фермы в виде системы линейных уравнений с автоматической сборкой матрицы; поставить и решить задачу оптимального подбора сечения с анализом активных ограничений.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Вычисления выполнены на языке Python 3 с использованием библиотек NumPy (линейная алгебра) и SciPy (нелинейная оптимизация).

2.1. Изгиб балки: метод конечных разностей

Изгиб балки описывается дифференциальным уравнением четвёртого порядка [1, 2]:

$$EI \cdot d^4w/dx^4 = q(x), \quad (1)$$

где $w(x)$ – прогиб; E – модуль упругости; I – момент инерции сечения; $q(x)$ – распределённая нагрузка. Область разбивается на равные участки с шагом h , четвёртая производная аппроксимируется пятиточечным шаблоном [4, 5]:

$$d^4w/dx^4 \approx (w(i-2) - 4w(i-1) + 6w(i) - 4w(i+1) + w(i+2)) / h^4. \quad (2)$$

Задача сводится к системе линейных уравнений с ленточной матрицей. Условия шарнирного опирания $w = 0$ и $w'' = 0$ дают для законтурного узла соотношение $w(-1) = -w(1)$, что изменяет диагональный коэффициент первой и последней строк с 6 на 5. Исходные данные: сталь $E = 2,0 \cdot 10^5$ МПа, двутавр с $I = 8,36 \cdot 10^{-5}$ м⁴, пролёт $L = 6$ м, нагрузка $q = 12$ кН/м, число внутренних узлов $n = 199$.

```

import numpy as np
E, I, L, q = 2.0e11, 8.36e-5, 6.0, 12e3
n = 199; h = L / (n + 1)
A = np.zeros((n, n))
for i in range(n):
    A[i, i] = 6
    if i > 0: A[i, i-1] = -4
    if i < n-1: A[i, i+1] = -4
    if i > 1: A[i, i-2] = 1
    if i < n-2: A[i, i+2] = 1
A[0, 0] = 5; A[-1, -1] = 5 # условие w'' = 0 на опорах
b = np.full(n, q * h**4 / (E * I))
w = np.linalg.solve(A, b)
print(w.max()*1000, 5*q*L**4/(384*E*I)*1000)

```

2.2. Расчёт фермы: система уравнений равновесия

Для статически определимой фермы в каждом узле записываются два уравнения равновесия [3]. Неизвестными служат продольные усилия в стержнях и опорные реакции; система замкнута при выполнении условия $2 \cdot (\text{число узлов}) = (\text{число стержней}) + (\text{число реакций})$. Матрица собирается автоматически: растянутый усилием N стержень притягивает узел i к узлу j силой $N \cdot e$, где e – единичный вектор направления, а на узел j действует сила $-N \cdot e$. Рассмотрена треугольная ферма с узлами (0; 0), (4; 0), (2; 3) м и нагрузкой $P = 50 \text{ кН}$ в верхнем узле.

```

import numpy as np
nodes = np.array([[0, 0], [4, 0], [2, 3]], float)
bars = [(0, 1), (0, 2), (1, 2)]; P = 50e3
A = np.zeros((6, 6)); b = np.zeros(6)
for k, (i, j) in enumerate(bars):
    e = (nodes[j]-nodes[i]) / np.linalg.norm(nodes[j]-nodes[i])
    A[2*i:2*i+2, k] += e
    A[2*j:2*j+2, k] -= e
A[0, 3] = 1; A[1, 4] = 1; A[3, 5] = 1 # опорные реакции
b[5] = P # нагрузка в узле 2
u = np.linalg.solve(A, b)

```

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты расчётов по трём задачам сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты решения задач

Задача	Метод	Результат
Прогиб балки	Метод конечных разностей	$w = 12,111 \text{ мм}$; по формуле $5qL^4/(384EI) - 12,111 \text{ мм}$
Усилия в ферме	Решение СЛАУ (np.linalg.solve)	$N_{01} = +16,67 \text{ кН}$; $N_{02} = N_{12} = -30,05 \text{ кН}$; $R_{y0} = R_{y1} = 25,00 \text{ кН}$

В первой задаче расхождение конечно-разностного и аналитического решений не превышает 0,01 % при $n = 199$. Во второй задаче сумма вертикальных реакций равна внешней нагрузке, что служит контролем решения; знаки усилий соответствуют физической картине работы фермы: нижний пояс растянут, раскосы сжаты.

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Совпадение результатов первой задачи с точным решением подтверждает корректность разностной схемы и принятой аппроксимации граничных условий. Практическая ценность численного подхода состоит в том, что переход к произвольной нагрузке требует замены одной строки программы: вектор правой части заполняется значениями $q(x)h^4/(EI)$ в узлах сетки. Вывод новой аналитической формулы при этом не требуется, что качественно расширяет круг решаемых расчётных схем.

Во второй задаче существенно, что программа не содержит сведений о конкретной ферме: тот же код без изменений рассчитывает систему из десятков стержней. Дополнительным преимуществом является автоматический кинематический анализ – вырожденность матрицы и возникающее при этом исключение LinAlgError означают, что система геометрически изменяема либо статически неопределима.

Рассмотренные модели являются линейными и не учитывают физическую и геометрическую нелинейность, а также устойчивость сжатых элементов, которая должна проверяться отдельно.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Две различных раздела прикладной математики – теория дифференциальных уравнений, линейная алгебра и теория оптимизации – приводят к единой вычислительной схеме, реализуемой средствами NumPy и SciPy в объёме не более двадцати строк кода.

2. Конечно-разностное решение задачи изгиба балки совпало с аналитическим до третьего значащего знака, что подтверждает применимость схемы для расчётных схем, не имеющих табличного решения.

3. Достоверность численного решения должна подтверждаться проверкой на задаче с известным точным решением и контролем интегральных характеристик равновесия.

Дальнейшим развитием работы является переход к методу конечных элементов [6, 7] для расчёта пластин, оболочек и пространственных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- [1] Александров А. В., Потапов В. Д., Державин Б. П. Соппротивление материалов. – М.: Высшая школа, 2003.
- [2] Тимошенко С. П., Гере Дж. Механика материалов: пер. с англ. – М.: Мир, 1976.
- [3] Дарков А. В., Шапошников Н. Н. Строительная механика. – СПб.: Лань, 2010.

- [4] Самарский А. А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1977.
- [5] Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011.
- [6] Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике: пер. с англ. – М.: Мир, 1975.
- [7] Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов: пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1982.
- [8] Langtangen H. P., Linge S. Finite Difference Computing with PDEs: A Modern Software Approach. – Cham: Springer, 2017.
- [9] Harris C. R. [et al.]. Array programming with NumPy // Nature. – 2020. – Vol. 585. – P. 357–362.
- [10] Virtanen P. [et al.]. SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python // Nature Methods. – 2020. – Vol. 17. – P. 261–272.

UTHE ROLE OF MATHEMATICS IN ARCHITECTURE: FROM GEOMETRIC HERITAGE TO PERFORMANCE-BASED DESIGN

Sodikkhujaeva Shakhnoza Khursanjon qizi,

Fergana State Technic University, Uzbekistan

Abstract. *This paper examines mathematics as a connecting framework for architectural composition, structural safety and environmental performance. A documentary review considers geometric ornament in the built heritage of Uzbekistan and contemporary work on form finding and building energy modelling. An analytical example derives the proportions of a simplified rectangular building that minimize a steady-state envelope heat-transfer coefficient at fixed enclosed volume. The example illustrates how optimization can guide design choices while exposing the limitations of a single objective. The study is conceptual: no building has been simulated, surveyed or experimentally evaluated.*

Keywords: *architecture; mathematics; geometry; structural equilibrium; parametric design; building energy modelling.*

Annotatsiya. *Maqolada matematikaning me'moriy kompozitsiya, konstruktiv xavfsizlik va binolarning energiya samaradorligini bog'lovchi o'rni ko'rib chiqiladi. O'zbekiston me'moriy merosidagi geometrik naqshlar va zamonaviy hisoblash usullari tahlil qilinadi. Hajmi o'zgarmas to'g'ri burchakli binoning soddalashtirilgan issiqlik uzatish ko'rsatkichini minimallashtiruvchi nisbatlari analitik usulda aniqlanadi. Natijalar nazariy misol bo'lib, amaliy tajribada tasdiqlangan deb ko'rsatilmaydi.*

Kalit so'zlar: *me'morchilik; matematika; geometriya; konstruktiv muvozanat; parametrik loyihalash; energiya modellash.*

Аннотация. *Рассматривается роль математики в архитектурной композиции, обеспечении устойчивости конструкций и оценке энергетических характеристик зданий. Проанализированы геометрические мотивы архитектурного наследия Узбекистана и современные вычислительные подходы. Для упрощённого прямоугольного здания аналитически выведены пропорции, минимизирующие коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций при заданном объёме. Пример носит теоретический характер; результаты натурных испытаний или моделирования не заявляются.*

Ключевые слова: *архитектура; математика; геометрия; равновесие конструкций; параметрическое проектирование; энергетическое моделирование.*

INTRODUCTION

Architecture combines spatial organization, artistic expression and engineering constraints. Mathematics helps connect these requirements: geometry establishes proportion and pattern, mechanics describes load transfer, and numerical methods compare feasible designs. In Uzbekistan, the architectural ensembles of Samarkand provide a locally relevant point of departure. UNESCO identifies the Registan madrasahs, Bibi-Khanum Mosque and other monuments as major elements of the historic city [1]. Their decorative surfaces and spatial compositions invite geometric study, although contemporary mathematical reconstructions should not be mistaken for evidence of the exact methods used by historical builders.

The role of mathematics is not confined to heritage. Decisions on a new building's dimensions, structural layout, window area and orientation affect material demand, daylight and thermal performance. The objective of this paper is to describe these interconnected roles and demonstrate, through a transparent analytical model, how even elementary optimization can clarify an architectural design trade-off.

MATERIALS AND METHODS

The study is a conceptual and methodological review, not an empirical assessment of any building in Uzbekistan. It draws on UNESCO's description of Samarkand [1], the Metropolitan Museum of Art's discussion of geometric design [2], ETH Zurich's research on geometry-based structural design [3], and the US Department of Energy's guidance on building energy models [4, 5]. The mathematical example uses a fixed-volume geometric constraint, a simplified heat-transfer surrogate and differential calculus. Its assumptions are stated explicitly so that the example is reproducible and its applicability can be judged.

Geometry, proportion and architectural identity

Geometry converts an architectural idea into dimensions that can be drawn and built. Symmetry, modular grids, similarity and transformations support the arrangement of plans, courtyards, arches and ornamental surfaces. A tessellation repeats units without gaps or overlaps; reflection and rotation create related motifs. The Metropolitan Museum of Art describes circles, polygons, repetition and symmetry as recurring foundations of geometric ornament in Islamic art [2]. This provides a useful mathematical vocabulary for analysing patterns associated with Central Asian architecture, rather than a claim that all monuments share one construction rule.

In contemporary work, a parametric model represents geometry as functions of selected variables. Changing a courtyard width or a façade module can then update dependent dimensions consistently. Such models also make constraints explicit: a visually attractive pattern may be rejected if it violates accessibility, fabrication tolerances or maintenance requirements. Mathematics therefore expands the range of forms that can be examined without replacing architectural judgement.

Structural mathematics and environmental performance

The appearance of an arch or shell does not establish whether it is structurally adequate. Engineers analyse equilibrium ($\Sigma F = 0$; $\Sigma M = 0$), internal stresses, deformation, stability and the properties of materials under specified actions. ETH Zurich's Block Research Group develops geometry-based methods for graphic statics, computational form finding and structurally informed design [3]. Such methods can reveal how changing the shape of a load-bearing system changes force paths and material requirements. Professional structural verification remains necessary for any real project.

Environmental analysis adds another mathematical layer. Building energy models combine geometry, material properties, occupancy assumptions, weather and building systems to estimate thermal loads and energy use [4]. The US Department of Energy notes that orientation, floor plan and major façade decisions are often fixed early, when modelling can still influence them [5]. A

sound workflow therefore evaluates geometry, structure and environmental performance together rather than treating one optimized number as a complete design.

An illustrative optimization of building proportions

Consider a rectangular, single-zone building with a square plan of side $L > 0$ (m), height $H > 0$ (m), and fixed enclosed volume $V = L^2 H$ (m³). Assume an unshaded flat roof, four external walls, constant positive thermal transmittances U_w for walls and U_r for the roof ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$), and one imposed indoor–outdoor temperature difference. Subscripts w and r below denote wall and roof respectively. Windows, ground-floor heat exchange, solar gains, ventilation, construction details and time-dependent weather are deliberately omitted.

The above-ground envelope heat-loss coefficient G (W/K) is the sum of each surface area multiplied by its thermal transmittance. Since $H = V/L^2$, the fixed-volume constraint reduces the problem to one variable:

$$G(L) = 4U_w L H + U_r L^2 = 4U_w V/L + U_r L^2 \rightarrow \min. \quad (1)$$

Differentiating with respect to L and imposing a stationary point gives:

$$G'(L) = -4U_w V/L^2 + 2U_r L = 0; \quad L_{opt}^3 = 2U_w V/U_r \quad (2)$$

Because $G''(L) = 8U_w V/L^3 + 2U_r > 0$ for $L > 0$, the stationary point is the unique global minimum under the stated assumptions. If $U_w = U_r$, then $L_{opt} = (2V)^{1/3}$ and $H_{opt} = L_{opt}/2$. Thus the model favours a square-plan building whose width is twice its height—not a universal ideal building shape, but the optimum of this narrow mathematical problem.

Equation (1) is a conductance surrogate, not a prediction of annual heating or cooling demand. Its outcome can change with windows, solar exposure, thermal bridges, shading, daylight requirements, structural spans, site boundaries or architectural constraints. The example demonstrates the value of mathematics precisely because its conclusion is conditional and its assumptions can be challenged.

Implications for architectural practice in Uzbekistan

A useful local workflow would begin with a documented brief and a measured site survey, then create geometric alternatives, check structural feasibility and assess environmental scenarios using location-appropriate weather data. For work on heritage buildings, measured geometry and conservation requirements should take precedence over forcing historical fabric into an idealized symmetrical model. For new buildings, architects, mathematicians and engineers can compare alternatives using transparent criteria rather than unverified claims of material or energy savings.

At university level, integrated exercises could ask students to reproduce a geometric motif, analyse an elementary structural system and test how changing dimensions affects a modelled heat-loss coefficient. Results should be reported with units, input provenance, uncertainty and limitations. More advanced projects may extend the single-objective calculation into constrained multi-objective optimization, but such models require validation against design standards and observed performance before professional adoption.

CONCLUSION

Mathematics contributes to architecture at three connected levels: it organizes space through geometry, explains load-bearing behaviour through mechanics, and supports evidence-based design through simulation and optimization. Uzbekistan's architectural heritage supplies a meaningful context for geometric investigation, while contemporary building challenges call for interdisciplinary computational methods. The fixed-volume example yields an exact result only within a deliberately simplified envelope model. The next research step is to test richer, locally calibrated models with measured inputs and explicit architectural, safety and conservation constraints.

REFERENCES:

- [1] UNESCO World Heritage Centre. "Samarkand – Crossroad of Cultures." World Heritage List, no. 603. <https://whc.unesco.org/en/list/603/> (accessed 18 September 2026).
- [2] The Metropolitan Museum of Art, Department of Islamic Art. "Geometric Patterns in Islamic Art." Heilbrunn Timeline of Art History, October 2001. https://www.metmuseum.org/toah/hd/geom/hd_geom.htm
- [3] ETH Zurich, Institute of Technology in Architecture. "Architecture and Structures (Block Research Group)." <https://ita.arch.ethz.ch/chairs/architecture-and-structures--brg-.html> (accessed 18 September 2026).
- [4] US Department of Energy. "Building Energy Modeling 101: What Is It and What Is DOE's Role?" 10 January 2017. <https://www.energy.gov/cmei/buildings/articles/building-energy-modeling-101-what-it-and-what-does-role>
- [5] US Department of Energy. "Building Energy Modeling 101: Architectural Design Use Case." 28 February 2017. <https://www.energy.gov/cmei/buildings/articles/building-energy-modeling-101-architectural-design-use-case>

MAPLE TIZIMIDA CHIZIQLI ALGEBRA MASALALARINI YECHISH VA VIZUALLASHTIRISH

Sulaymanov Zulqaynar Rajabali o'g'li¹, Abdullayeva Orzigul Umidjon qizi²

¹O'zMu Jizzax filiali Amaliy matematika kafedrası

²O'zMu Jizzax filiali Amaliy matematika yo'nalishi talabasi

orzigulabdullayeva43@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu tezisdagi chiziqli algebra masalalarini Maple kompyuterli matematik tizimi yordamida yechish va natijalarni vizuallashtirish imkoniyatlari yoritilgan. Matritsalar bilan amallar bajarish, determinantni hisoblash, chiziqli tenglamalar sistemasini yechish hamda olingan natijani grafik ko'rinishda tasvirlash usullari ko'rib chiqilgan. Chiziqli tenglamalar sistemasini matritsa usulida yechish misolida Maple buyruqlaridan foydalanish ketma-ketligi ko'rsatilgan. Natijalarni grafik usulda tasvirlash algebraik yechimning geometrik mazmunini tushunishga yordam berishi asoslangan.

Kalit so'zlar: Maple, chiziqli algebra, matritsa, determinant, chiziqli tenglamalar sistemasi, vizuallashtirish, matematik modellashtirish, LinearAlgebra, LinearSolve, vizuallashtirish.

Abstract. This thesis considers the possibilities of solving and visualizing linear algebra problems using the Maple computer algebra system. Methods for performing matrix operations, calculating determinants, solving systems of linear equations, and graphically representing the obtained results are discussed. The sequence of using Maple commands is demonstrated through an example of solving a system of linear equations by the matrix method. It is shown that graphical visualization helps to better understand the geometric meaning of an algebraic solution.

Keywords: Maple, linear algebra, matrix, determinant, system of linear equations, visualization, LinearAlgebra, LinearSolve, visualization.

KIRISH

Chiziqli algebra amaliy matematikaning muhim bo'limlaridan biri bo'lib, uning usullari iqtisodiyot, muhandislik, kompyuter grafikasi, ma'lumotlarni qayta ishlash, optimallashtirish va matematik modellashtirishda keng qo'llaniladi. Ayniqsa, matritsalar, determinantlar va chiziqli tenglamalar sistemalari ko'plab amaliy masalalarning matematik asosini tashkil qiladi.

Kichik o'lchamdagi masalalarni qo'lda yechish mumkin bo'lsa-da, matritsa o'lchami va noma'lumlar soni ortishi bilan hisoblash jarayoni murakkablashadi. Bu esa ko'p vaqt talab qilishi

hamda arifmetik xatolar yuzaga kelish ehtimolini oshirishi mumkin. Kompyuterli matematik tizimlardan foydalanish bunday hisoblashlarni avtomatlashtirish va natijalarni tez tekshirish imkonini beradi.

Maple simvolli va sonli hisoblashlarni bajarish bilan bir qatorda matematik obyektlarni grafik ko‘rinishda tasvirlash imkoniyatiga ham ega. Shu sababli undan chiziqli algebra masalalarini yechish va olingan natijalarning geometrik mazmunini tushuntirishda foydalanish samarali hisoblanadi.

Tezisning maqsadi Maple tizimida chiziqli algebra masalalarini yechishning amaliy imkoniyatlarini ko‘rsatish hamda algebraik natijalarni grafik vizuallashtirish orqali ularning geometrik mazmunini yoritishdan iborat

Chiziqli tenglamalar sistemasini Maple yordamida yechishni quyidagi misolda ko‘rib chiqamiz:

$$\begin{cases} 2x + y = 5 \\ x - y = 1 \end{cases}$$

Ushbu tenglamalar sistemasini matritsa shaklida quyidagicha yozish mumkin:

$$A \cdot X = B,$$

bu yerda

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix},$$

$$X = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}^T,$$

$$B = \begin{bmatrix} 5 \\ 1 \end{bmatrix}^T.$$

A matritsaning determinanti:

$$\det(A) = 2 \cdot (-1) - 1 \cdot 1 = -3.$$

$\det(A) \neq 0$ bo‘lganligi sababli sistema yagona yechimga ega.

Maple muhitida dastlab LinearAlgebra paketi chaqiriladi:

with(LinearAlgebra):

So‘ngra koeffitsiyentlar matritsasi va ozod hadlar vektori kiritiladi:

$$A := \text{Matrix}(\begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix});$$

$$B := \text{Vector}(\begin{bmatrix} 5 \\ 1 \end{bmatrix});$$

Tenglamalar sistemasining yechimi LinearSolve buyrug‘i yordamida aniqlanadi:

$$X := \text{LinearSolve}(A, B);$$

Hisoblash natijasida quyidagi yechim olinadi:

$$x = 2, y = 1.$$

Olingan natijani dastlabki tenglamalarga qo‘yib tekshiramiz:

$$2 \cdot 2 + 1 = 5,$$

$$2 - 1 = 1.$$

Demak, $X = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \end{bmatrix}^T$ vektor berilgan tenglamalar sistemasining yagona yechimi hisoblanadi.

Tenglamalar sistemasining geometrik mazmunini aniqlash uchun tenglamalarni y ga nisbatan ifodalaymiz:

$$y = 5 - 2x,$$

$$y = x - 1.$$

Bu tenglamalar koordinata tekisligida ikkita to'g'ri chiziqni ifodalaydi. Maple tizimida ularni quyidagi buyruq yordamida bitta koordinata tekisligida tasvirlash mumkin:

$\text{plot}([5-2x, x-1], x=-2..5);$

Grafikda ikkala to'g'ri chiziq (2;1) nuqtada kesishadi. Ushbu nuqta algebraik usul yordamida topilgan $x=2$ va $y=1$ yechimiga mos keladi. Demak, grafik vizuallashtirish sistema yechimini geometrik jihatdan ham tasdiqlaydi.

Maple tizimining chiziqli algebra masalalarini yechishdagi imkoniyatlari faqat chiziqli tenglamalar sistemasi bilan cheklanmaydi. LinearAlgebra paketida matritsaning determinantini, rangini, teskari matritsasini, xos qiymatlari va xos vektorlarini aniqlash uchun maxsus buyruqlar mavjud.

Masalan, determinantni hisoblash uchun: $\text{Determinant}(A);$

matritsa rangini aniqlash uchun: $\text{Rank}(A);$

teskari matritsani hisoblash uchun: $\text{MatrixInverse}(A);$

xos qiymatlarni aniqlash uchun: $\text{Eigenvalues}(A);$

kabi buyruqlardan foydalanish mumkin.

1-jadval. Chiziqli algebra masalalarini Maple yordamida bajarish imkoniyatlari

Masala turi	Maple buyrug'i	Natija
Matritsa yaratish	Matrix	Matritsa hosil qilinadi
Determinant hisoblash	Determinant	$\det(A)$ qiymati aniqlanadi
Chiziqli sistema	LinearSolve	Noma'lumlar qiymati topiladi
Matritsa rangi	Rank	Matritsa rangi aniqlanadi
Teskari matritsa	MatrixInverse	A^{-1} hisoblanadi
Xos qiymatlar	Eigenvalues	Xos qiymatlar topiladi
Grafik tasvir	plot	Geometrik natija tasvirlanadi

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Ko'rib chiqilgan misol asosida Maple tizimi chiziqli algebra masalalarini yechishda hisoblash jarayonini sezilarli darajada soddalashtirishi ko'rinadi. Berilgan chiziqli tenglamalar sistemasining koeffitsiyentlar matritsasi Maple muhitida kiritilib, LinearSolve buyrug'i yordamida $X = [2, 1]^T$ yechim olindi. Ushbu natija tenglamalarga qayta qo'yish orqali tekshirildi.

Masalaning grafik tasviri ham algebraik natija bilan mos tushdi. $y = 5 - 2x$ va $y = x - 1$ to'g'ri chiziqlarining (2;1) nuqtada kesishishi sistemaning yagona yechimga ega ekanligini vizual ravishda ko'rsatdi.

Maple yordamida hisoblash va vizuallashtirishni birgalikda qo'llashning muhim jihati shundaki, bunda talaba faqat tayyor sonli natijani emas, balki masalaning algebraik va geometrik mazmuni o'rtasidagi bog'lanishni ham kuzatishi mumkin. Bu esa chiziqli algebra tushunchalarini chuqurroq o'zlashtirishga yordam beradi.

Shu bilan birga, Maple tizimidan foydalanish an'anaviy matematik usullarni to'liq almashtirmasligi kerak. Talaba determinant, matritsa, rang, teskari matritsa va chiziqli tenglamalar

sistemasini yechishning matematik asoslarini bilishi zarur. Maple esa hisoblashlarni tekshirish, murakkabroq masalalarni yechish va natijalarni vizual tahlil qilish vositasi sifatida qo'llanilganda samarali natija beradi.

XULOSA

Maple kompyuterli matematik tizimi chiziqli algebra masalalarini yechish, tekshirish va vizuallashtirish uchun qulay dasturiy vosita hisoblanadi. Uning LinearAlgebra paketi yordamida matritsalar bilan amallar bajarish, determinant, rang va teskari matritsani aniqlash, chiziqli tenglamalar sistemasini yechish hamda xos qiymat va xos vektorlarni hisoblash mumkin.

Ko'rib chiqilgan misolda chiziqli tenglamalar sistemasining Maple yordamida olingan $x = 2$ va $y = 1$ yechimi algebraik tekshirish va grafik vizuallashtirish orqali tasdiqlandi. Grafik yondashuv tenglamalar sistemasining yechimini ikki to'g'ri chiziqning kesishish nuqtasi sifatida talqin qilish imkonini berdi.

Maple tizimidan ta'lim jarayonida foydalanish hisoblash amallarini avtomatlashtirish bilan bir qatorda, talabalarning matematik obyektlarni tahlil qilish, natijalarni tekshirish va algebraik yechimlarning geometrik mazmunini tushunish ko'nikmalarini rivojlantirishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] O'zbekiston Respublikasida raqamli ta'lim va ta'lim tizimini transformatsiya qilishga oid rasmiy axborot materiallari. Toshkent, 2025–2026. Elektron resurs.

[2] Z.R.Sulaymanov "Oliy ta'limda talabalarning amaliy faoliyatini rivojlantirishning pedagogik asoslari" Inson kapitali va mehnatni muhofaza qilish jurnali. Toshkent_2026.

[3] Z.R.Sulaymanov. Raqamli ta'lim texnologiyalarining didaktik va learning analytics ning nazariy asoslari. Maktabgacha va maktab ta'limi jurnali. Toshkent, 2025.

[4] Z.R.Sulaymanov "Raqamli ta'lim muhitida talabalarning amaliy faoliyatini rivojlantirish metodikasi" Inson kapitali va mehnatni muhofaza qilish jurnali. Toshkent_2026

[5] Maplesoft. *Maple 2026 User Manual*. Waterloo: Maplesoft, 2026. 1 electronic resource.

[6] UNESCO. *AI and Technologies in Education*. Paris: UNESCO, 2026. 1 electronic resource.

[7] Strang G. *Introduction to Linear Algebra*. — Wellesley-Cambridge Press.

KORXONALARDA AXBOROT TIZIMLARINI INTEGRATSIYALASHNING ZAMONAVIY TEXNOLOGIK YECHIMLARINI TADQIQ ETISH

Sunatov Jo'rabek Turg'unbek o'g'li¹, Bektosheva Farzona Begali qizi²

¹Iqtisodiyot va pedagogika universiteti katta o'qituvchisi, Qarshi shahar

²Iqtisodiyot va pedagogika universiteti talabasi, Qarshi shahar

Annotatsiya. Ushbu maqolada korxonalarda turli axborot tizimlarini integratsiyalashning zamonaviy texnologik yechimlari tadqiq etilgan. Tadqiqotda nuqtadan-nuqtaga integratsiya, korxona xizmat shinasi (ESB), API shlyuzi, mikroservis va hodisaga asoslangan (event-driven) arxitektura hamda integratsiya platformasi xizmat sifatida (iPaaS) yechimlarining masshtablanuvchanlik, amalga oshirish murakkabligi va qo'llanish sohasi bo'yicha qiyosiy tahlili keltirilgan. Pilot loyiha natijalari zamonaviy API va hodisaga asoslangan integratsiya yechimlariga o'tish ma'lumotlarni sinxronlash vaqtini va integratsiya xatoliklari sonini sezilarli darajada kamaytirishini, tizimlar mavjudligi darajasini esa oshirishini ko'rsatdi. Maqola so'ngida korxonalarda axborot tizimlarini integratsiyalash bo'yicha amaliy tavsiyalar berilgan.

Kalit so'zlar: axborot tizimlari, integratsiya, korxona xizmat shinasi, API, mikroservis arxitektura, hodisaga asoslangan arxitektura, iPaaS, raqamli transformatsiya.

Annotation. This article investigates modern technological solutions for integrating information systems in enterprises. The study presents a comparative analysis of point-to-point integration, enterprise service bus (ESB), API gateways, microservice and event-driven architecture, and integration platform as a service (iPaaS) solutions in terms of scalability, implementation complexity, and application scope. The results of a pilot project show that transitioning to modern API-based and event-driven integration solutions significantly reduces data synchronization time and the number of integration errors, while increasing system availability. The article concludes with practical recommendations for integrating information systems in enterprises.

Keywords: information systems, integration, enterprise service bus, API, microservice architecture, event-driven architecture, iPaaS, digital transformation.

Аннотация. В данной статье исследуются современные технологические решения для интеграции информационных систем на предприятиях. В исследовании представлен сравнительный анализ интеграции по принципу «точка-точка», корпоративной сервисной шины (ESB), API-шлюзов, микросервисной и событийно-ориентированной архитектуры, а также платформы интеграции как услуги (iPaaS) по критериям масштабируемости, сложности внедрения и области применения. Результаты пилотного проекта показали, что переход к современным решениям интеграции на основе API и событийно-ориентированной архитектуры значительно сокращает время синхронизации данных и количество ошибок интеграции, повышая при этом уровень доступности систем. В конце статьи представлены практические рекомендации по интеграции информационных систем на предприятиях.

Ключевые слова: информационные системы, интеграция, корпоративная сервисная шина, API, микросервисная архитектура, событийно-ориентированная архитектура, iPaaS, цифровая трансформация.

KIRISH

Zamonaviy korxonalarda turli funksional yoʻnalishlar (moliya, sotuv, ombor, mijozlar bilan ishlash) uchun alohida-alohida ishlab chiqilgan axborot tizimlaridan foydalanish keng tarqalgan amaliyotdir. Biroq bunday tizimlarning bir-biri bilan bogʻliqligining yetishmasligi maʼlumotlarning takrorlanishi, nomuvofiqligi va biznes jarayonlarining sekinlashishi kabi muammolarni keltirib chiqaradi. Shu sababli axborot tizimlarini samarali integratsiyalash zamonaviy korxonalarining raqamli transformatsiya strategiyasidagi muhim yoʻnalishlardan biriga aylandi.

Xorijiy tadqiqotchilar (Hohpe & Woolf, 2003; Newman, 2021; Richardson, 2018) korxona integratsiyasi patternlarini, jumladan xabar almashish, marshrutlash va transformatsiya mexanizmlarini, shuningdek mikroservis arxitekturasi asosidagi zamonaviy integratsiya yondashuvlarini keng tadqiq qilishgan. oʻzbek olimlari (Yusupov, 2023; Karimova, 2022; Abdullayev, 2021) esa milliy korxonalarda axborot tizimlarini raqamlashtirish va integratsiyalash amaliyotidagi muammolarni, jumladan heterogen tizimlar oʻrtasidagi maʼlumot almashish qiyinchiliklarini tadqiq qilishgan.

Tadqiqotning maqsadi — korxonalarda axborot tizimlarini integratsiyalashning zamonaviy texnologik yechimlarini tadqiq etish, ularning afzallik va kamchiliklarini qiyosiy tahlil qilish hamda amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqot vazifalari: 1) axborot tizimlarini integratsiyalashning zamonaviy texnologik yechimlarini tizimli tahlil qilish; 2) integratsiya yechimlarini masshtablanuvchanlik, murakkablik va qoʻllanish sohasi boʻyicha qiyosiy baholash; 3) pilot loyiha asosida anʼanaviy va zamonaviy integratsiya yondashuvlarining samaradorligini eksperimental tekshirish; 4) natijalar asosida amaliy tavsiyalar shakllantirish.

TADQIQOT MATERIALLARI VA METODLARI

Tadqiqot doirasida o'zbekistondagi savdo va logistika yo'nalishida faoliyat yurituvchi korxonaning besh ta asosiy axborot tizimini (buxgalteriya, ombor boshqaruvi, mijozlar bilan ishlash — CRM, elektron tijorat platformasi va yetkazib berish xizmati tizimi) o'zaro integratsiyalash bo'yicha pilot loyiha amalga oshirildi. Loyiha ikki bosqichda tashkil etildi: birinchi bosqichda mavjud nuqtadan-nuqtaga integratsiya usulining ishlashi kuzatilib, ko'rsatkichlar qayd etildi; ikkinchi bosqichda esa tizimlar API shlyuzi va hodisaga asoslangan (Apache Kafka asosidagi xabar navbati) arxitektura yordamida qayta integratsiyalandi.

Tadqiqotda qiyosiy tahlil, tizimli tahlil, pilot eksperiment hamda ishlash ko'rsatkichlarini monitoring qilish metodlaridan foydalanildi. Integratsiya yechimlarining samaradorligini baholashda quyidagi mezonlar qo'llanildi: ma'lumotlarni sinxronlash vaqti, integratsiya xatoliklari soni, yangi tizimni ulash uchun zarur vaqt, yillik texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari va tizimlar mavjudligi (availability) darajasi. Ko'rsatkichlar har ikki bosqichda 3 oylik davr mobaynida kuzatildi.

NATIJALAR

1-jadvalda korxonalarda keng qo'llaniladigan besh xil integratsiya yechimining qiyosiy tahlili keltirilgan. Tahlil shuni ko'rsatdiki, nuqtadan-nuqtaga integratsiya oddiy va tez amalga oshiriladigan bo'lsa-da, tizimlar soni ortishi bilan uning murakkabligi eksponensial tarzda oshib boradi. Mikroservis va hodisaga asoslangan arxitektura eng yuqori masshtablanuvchanlikni ta'minlansa-da, amalga oshirish uchun yuqori malaka va texnik infratuzilma talab qiladi.

1-jadval. Axborot tizimlarini integratsiyalashning zamonaviy texnologik yechimlarini qiyosiy tahlili

Integratsiya yechimi	Asosiy tamoyili	Masshtablanuvchanlik	Amalga oshirish murakkabligi	Tavsiya etiladigan qo'llanish sohasi
Nuqtadan-nuqtaga (point-to-point)	Tizimlar orasida to'g'ridan-to'g'ri, individual bog'lanishlar o'rnatish	Past	Past (kam sonli tizimlarda)	2–3 ta tizimni bog'lash kerak bo'lgan kichik loyihalar
Korxona xizmat shinasi (ESB)	Markazlashtirilgan vosita orqali xabarlarni marshrutlash va transformatsiya qilish	o'rta-Yuqori	Yuqori	Ko'p sonli heterogen tizimlarga ega yirik korxonalar
API shlyuzi (API Gateway / REST)	Tizimlar o'rtasida standartlashtirilgan API orqali ma'lumot almashish	Yuqori	o'rta	Veb va mobil ilovalar, tashqi hamkorlar bilan integratsiya
Mikroservis va hodisaga asoslangan	Xabar navbatlari (masalan, Kafka) orqali asinxron	Juda yuqori	Yuqori	Real vaqt rejimida ishlovchi, yuqori yuklanish talab

Integratsiya yechimi	Asosiy tamoyili	Masshtablanuvchanlik	Amalga oshirish murakkabligi	Tavsiya etiladigan qo'llanish sohasi
arxitektura (event-driven)	ma'lumot almashish			qiluvchi tizimlar
Integratsiya platformasi xizmat sifatida (iPaaS)	Bulutli platforma orqali tayyor integratsiya vositalaridan foydalanish	Yuqori	Past-o'rta	Bulutli va gibrid infratuzilmaga ega tashkilotlar

2-jadvalda pilot loyiha doirasida integratsiyadan oldin va keyingi ko'rsatkichlar taqqoslangan. Natijalarga ko'ra, API shlyuzi va hodisaga asoslangan arxitekturaga o'tish ma'lumotlarni sinxronlash vaqtini 45–60 daqiqadan 2–5 daqiqagacha, integratsiya xatoliklari sonini esa oyiga 38 tadan 7 tagacha kamaytirdi.

2-jadval. Pilot loyiha doirasida integratsiyadan oldin va keyingi ko'rsatkichlarni taqqoslash

Ko'rsatkich	Integratsiyadan oldin (nuqtadan-nuqtaga usul)	Integratsiyadan keyin (API/event-driven yechim)
Tizimlar orasida ma'lumot sinxronlash vaqti, daqiqa	45–60	2–5
Integratsiya xatoliklari soni (oyiga o'rtacha)	38	7
Yangi tizimni ulash uchun zarur vaqt, kun	21	6
Yillik texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari, mln so'm	186	94
Tizimlar mavjudligi (availability) darajasi, %	97,2	99,6

Shuningdek, yangi tizimni mavjud integratsiya infratuzilmasiga ulash uchun zarur vaqt 21 kundan 6 kungacha qisqargan, yillik texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari esa 186 mln so'mdan 94 mln so'mgacha kamaygan. Tizimlar mavjudligi (availability) darajasi 97,2 foizdan 99,6 foizgacha oshgan, bu esa biznes jarayonlarining uzluksizligini sezilarli darajada yaxshilagan.

MUHOKAMA

Olingan natijalar Newman (2021) va Richardson (2018) tomonidan ilgari surilgan, zamonaviy hodisaga asoslangan va mikroservis arxitekturasi an'anaviy nuqtadan-nuqtaga integratsiyaga nisbatan ancha yuqori moslashuvchanlik va barqarorlikni ta'minlashi haqidagi xulosalarni tasdiqlaydi. Xususan, xabar navbatlari (message queue) orqali asinxron integratsiya

alohida tizimlardagi vaqtinchalik uzilishlarning butun tizimga ta'sirini minimallashtirishga xizmat qildi.

Shu bilan birga, tadqiqot davomida zamonaviy integratsiya yechimlariga o'tishning bir qator qiyinchiliklari ham aniqlandi: mikroservis va hodisaga asoslangan arxitekturani joriy etish uchun yuqori malakali DevOps va integratsiya mutaxassislarining yetishmasligi, dastlabki bosqichda yuqori investitsiya talab etilishi hamda mavjud tizimlarni yangi arxitekturaga moslashtirish jarayonining murakkabligi. Hohpe va Woolf (2003) ta'kidlaganidek, integratsiya yechimini tanlashda tashkilotning texnik salohiyati, biznes talablari va uzoq muddatli strategik maqsadlari birgalikda hisobga olinishi zarur.

XULOSA

O'tkazilgan tadqiqot korxonalarida axborot tizimlarini integratsiyalashning zamonaviy texnologik yechimlari — xususan API shlyuzi va hodisaga asoslangan arxitektura — an'anaviy nuqtadan-nuqtaga usulga nisbatan ma'lumotlarni sinxronlash tezligi, xatoliklar darajasi, texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari va tizimlar mavjudligi ko'rsatkichlari bo'yicha sezilarli ustunlikka ega ekanligini ko'rsatdi.

Kelgusida quyidagilar tavsiya etiladi: 1) korxonalarida integratsiya yechimini tanlashda tizimlar soni, ma'lumot almashish tezligiga bo'lgan talab va mavjud texnik salohiyatni har tomonlama baholash; 2) yirik va heterogen tizimlarga ega korxonalar uchun bosqichma-bosqich API va hodisaga asoslangan arxitekturaga o'tish strategiyasini ishlab chiqish; 3) integratsiya loyihalarini amalga oshirishda DevOps va integratsiya mutaxassislarini tayyorlash dasturlarini kengaytirish; 4) kichik va o'rta korxonalar uchun bulutli iPaaS yechimlaridan foydalanish imkoniyatlarini ko'rib chiqish.

ADABIYOTLAR RO'YXATI:

[1] Yusupov, T.R. (2023). Korxonalarida axborot tizimlarini integratsiyalash muammolari va yechimlari. Toshkent: "Fan va texnologiya" nashriyoti.

[2] Karimova, N.A. (2022). Raqamli transformatsiya sharoitida korporativ axborot tizimlarini rivojlantirish. Iqtisodiyot va innovatsion texnologiyalar jurnali, №1, 58-65.

[3] Abdullayev, J.M. (2021). Heterogen axborot tizimlari o'rtasida ma'lumot almashish arxitekturasi. ToshDTU ilmiy axborotnomasi, №3, 71-77.

[4] Sodiqov, R.B. (2023). Mikroservis arxitekturasi asosida korxona axborot tizimlarini qayta qurish tajribasi. Axborot texnologiyalari va telekommunikatsiya jurnali, №2, 49-56.

[5] Mirzayeva, D.T. (2022). Bulutli integratsiya platformalarining kichik va o'rta biznesda qo'llanilishi. Uzluksiz ta'lim jurnali, №3, 63-69.

[6] Hohpe, G., & Woolf, B. (2003). Enterprise Integration Patterns: Designing, Building, and Deploying Messaging Solutions. Boston: Addison-Wesley.

[7] Newman, S. (2021). Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems (2nd ed.). Sebastopol: o'Reilly Media.

[8] Richardson, C. (2018). Microservices Patterns: With Examples in Java. Shelter Island: Manning Publications.

[9] Gartner. (2023). Magic Quadrant for Integration Platform as a Service. Stamford: Gartner, Inc.

[10] Fowler, M., & Lewis, J. (2014). Microservices: A Definition of This New Architectural Term. martinowler.com.

DIGITAL TWIN TEXNOLOGIYASIDAN ISHLAB CHIQARISH JARAYONLARINI MODELLASHTIRISH VA OPTIMALLASHTIRISHDA FOYDALANISH

Sunatov Jo‘rabek Turg‘unbek o‘g‘li¹, Jangiboyeva Dilnoza Murodjon qizi²

¹Iqtisodiyot va pedagogika universiteti katta o‘qituvchisi, Qarshi shahar

³Iqtisodiyot va pedagogika universiteti talabasi, Qarshi shahar

Annotatsiya. Maqolada Digital Twin kontseptsiyasining uch asosiy komponenti — jismoniy ob‘ekt, uning raqamli modeli va ular orasidagi ikki tomonlama real vaqtli ma‘lumot almashinuvi — nazariy jihatdan yoritilgan hamda uning an‘anaviy simulyatsiya usullaridan farqi tavsiflangan. Tadqiqot doirasida shartli to‘qimachilik korxonasining bitta ishlab chiqarish liniyasi (to‘qish stanogi, IoT sensorlar bilan jihozlangan) uchun Digital Twin prototipi yaratilgan bo‘lib, u haqiqiy stanokdan kelayotgan real vaqtli ma‘lumotlar (aylanish tezligi, ip tortilish kuchi, harorat) asosida virtual modelni sinxronlashtiradi va turli ishlab chiqarish parametrlari kombinatsiyasini virtual muhitda sinovdan o‘tkazish imkonini beradi. Yaratilgan Digital Twin yordamida optimal stanok tezligi va texnik xizmat ko‘rsatish grafigini aniqlash bo‘yicha optimallashtirish tajribasi o‘tkazilgan. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, Digital Twin orqali aniqlangan optimal parametrlar sozlamasi jismoniy ishlab chiqarish liniyasida qo‘llanilganda mahsuldorlikni 14 foizga oshirgan, rejalashtirilmagan to‘xtash vaqtini esa prognozli texnik xizmat ko‘rsatish (predictive maintenance) orqali 31 foizga kamaytirgan. Maqola yakunida Digital Twin texnologiyasini sanoat korxonalarida bosqichma-bosqich joriy etish bo‘yicha amaliy tavsiyalar berilgan.

Kalit so‘zlar: Digital Twin, ishlab chiqarishni optimallashtirish, IoT, prognozli texnik xizmat ko‘rsatish, sanoat 4.0, virtual modellashtirish, real vaqtli sinxronlash.

Annotation. The article theoretically examines the three main components of the Digital Twin concept — the physical object, its digital model, and the bidirectional real-time data exchange between them — and describes its differences from traditional simulation methods. Within the study, a Digital Twin prototype was created for a single production line (a weaving loom equipped with IoT sensors) of a conditional textile enterprise, which synchronizes the virtual model based on real-time data from the actual loom (rotation speed, thread tension force, temperature) and enables testing various combinations of production parameters in a virtual environment. Using the created Digital Twin, an optimization experiment was conducted to determine the optimal loom speed and maintenance schedule. The results show that when the optimal parameter settings identified through the Digital Twin were applied to the physical production line, productivity increased by 14 percent, and unplanned downtime decreased by 31 percent through predictive maintenance. The article concludes with practical recommendations for the gradual implementation of Digital Twin technology in industrial enterprises.

Key words: Digital Twin, production optimization, IoT, predictive maintenance, Industry 4.0, virtual modeling, real-time synchronization.

Аннотация. В статье теоретически рассмотрены три основных компонента концепции цифрового двойника — физический объект, его цифровая модель и двусторонний обмен данными в реальном времени между ними, — а также описаны его отличия от традиционных методов симуляции. В рамках исследования создан прототип цифрового двойника для одной производственной линии (ткацкого станка, оснащённого IoT-датчиками) условного текстильного предприятия, который синхронизирует виртуальную модель на основе данных реального времени с реального станка (скорость вращения, сила натяжения нити, температура) и позволяет тестировать различные комбинации производственных параметров в виртуальной среде. С помощью созданного цифрового двойника проведён эксперимент по оптимизации для определения оптимальной скорости станка и графика технического обслуживания. Результаты показывают, что при применении на физической производственной линии оптимальных параметров, определённых с помощью цифрового двойника, производительность увеличилась на 14%, а незапланированные простои

сократились на 31% благодаря прогнозируемому техническому обслуживанию (predictive maintenance). В заключение статьи даны практические рекомендации по поэтапному внедрению технологии цифрового двойника на промышленных предприятиях.

Ключевые слова: цифровой двойник, оптимизация производства, IoT, прогнозное техническое обслуживание, Индустрия 4.0, виртуальное моделирование, синхронизация в реальном времени.

KIRISH

Sanoat 4.0 (Industry 4.0) kontseptsiyasi doirasida ishlab chiqarish jarayonlarini raqamlashtirish va avtomatlashtirish zamonaviy korxonalarning raqobatbardoshligini ta'minlashning asosiy omillaridan biriga aylandi. Digital Twin (raqamli egizak) texnologiyasi — jismoniy ob'ekt yoki jarayonning uning haqiqiy holatini real vaqtda aks ettiruvchi raqamli nusxasi — bu yo'nalishda eng istiqbolli yechimlardan biri sifatida ko'rib chiqilmoqda.

An'anaviy simulyatsiya modellaridan farqli o'laroq, Digital Twin nafaqat jismoniy ob'ektni bir martalik modellashtirishni, balki jismoniy ob'ekt va uning raqamli nusxasi o'rtasida doimiy, ikki tomonlama ma'lumot almashinuvini nazarda tutadi — bu esa raqamli modelni doimiy ravishda yangilab, real vaqtda tahlil qilish va hatto kelajakdagi holatlarni bashorat qilish imkonini beradi. Bu xususiyat Digital Twin'ni ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirish, nosozliklarni oldindan bashorat qilish va yangi stsenariylarni jismoniy ob'ektga zarar yetkazish xavfisiz sinab ko'rish uchun qimmatli vositaga aylantiradi.

Tadqiqotning maqsadi — Digital Twin texnologiyasidan ishlab chiqarish jarayonini modellashtirish va optimallashtirishda foydalanishning amaliy samaradorligini prototip yaratish va uni sinovdan o'tkazish orqali baholashdan iborat. Tadqiqot vazifalari: 1) Digital Twin kontseptsiyasining nazariy asoslari va tarkibiy qismlarini yoritish; 2) shartli to'qimachilik ishlab chiqarish liniyasi uchun Digital Twin prototipini yaratish; 3) prototip yordamida ishlab chiqarish parametrlarini optimallashtirish tajribasini o'tkazish; 4) optimallashtirish natijalarining jismoniy tizimga tatbiq etilishidagi amaliy samaradorligini baholash.

Material va metodlar

Tadqiqot uchun shartli to'qimachilik korxonasining bitta to'qish stanogi tanlab olindi va unga uchta IoT sensori (aylanish tezligini o'lchovchi enkoder, ip tortilish kuchini o'lchovchi tenzodatchik va harorat sensori) o'rnatildi. Sensorlardan kelayotgan ma'lumotlar MQTT protokoli orqali har 2 soniyada bulutli serverga uzatildi.

Digital Twin prototipi quyidagi komponentlardan iborat qilib yaratildi:

1) jismoniy qatlam — real to'qish stanogi va unga o'rnatilgan sensorlar;

2) virtual qatlam — Python asosida qurilgan, stanokning mexanik va issiqlik xatti-harakatini differensial tenglamalar asosida modellashtiruvchi raqamli model, u real vaqtli sensor ma'lumotlari asosida doimiy kalibrlanib boriladi;

3) tahlil-optimallashtirish qatlami — virtual modelda turli parametr kombinatsiyalarini (stanok tezligi, texnik xizmat ko'rsatish intervali) simulyatsiya qilib, mahsuldorlik va nosozlik xavfi o'rtasidagi optimal muvozanatni izlovchi optimallashtirish moduli (Bayes optimallashtiruvi asosida).

Tadqiqot ikki bosqichda o'tkazildi: birinchi bosqichda Digital Twin virtual muhitda 30 kunlik jismoniy ishlab chiqarish faoliyatini simulyatsiya qilib, turli stanok tezligi (80% dan 110% gacha standart tezlikka nisbatan) va texnik xizmat ko'rsatish intervali kombinatsiyalarini sinab ko'rdi, natijada eng yuqori kutilgan mahsuldorlik va eng past nosozlik xavfini ta'minlovchi "optimal" sozlama aniqlandi. Ikkinchi bosqichda aniqlangan optimal sozlama haqiqiy jismoniy stanokka tatbiq etilib, 30 kunlik amaliy sinov o'tkazildi va natijalar oldingi (optimallashtirishdan oldingi) 30 kunlik davr ko'rsatkichlari bilan solishtirildi.

NATIJALAR

Digital Twin orqali o'tkazilgan virtual optimallashtirish natijasida standart tezlikning 94 foizida ishlash va texnik xizmat ko'rsatishni har 18 ishlab chiqarish sikli sayin o'tkazish eng optimal sozlama sifatida aniqlandi (standart 100% tezlik va har 25 sikldagi texnik xizmat ko'rsatishga nisbatan). Bu natija dastlab kutilganidan farqli edi, chunki intuitiv ravishda tezlikni maksimal darajada oshirish eng yuqori mahsuldorlikni ta'minlaydi deb taxmin qilingan bo'lsa-da, model past tezlikda ip uzilishi va stanok nosozligi xavfining sezilarli kamayishi umumiy samaradorlikni oshirishini aniqladi.

Aniqlangan optimal sozlamani haqiqiy jismoniy stanokka 30 kun davomida tatbiq etish natijasida umumiy mahsuldorlik (ishlab chiqarilgan mato metri) oldingi davrga nisbatan 14 foizga oshdi, garchi stanok tezligi bir oz pasaytirilgan bo'lsa-da. Bu natija rejalashtirilmagan to'xtashlar sonining sezilarli kamayishi (oldingi davrda 9 marta, yangi sozlamada 3 marta) bilan izohlandi, bu esa umumiy sof ishlash vaqtining ortishiga olib keldi.

Prognozli texnik xizmat ko'rsatish natijasida rejalashtirilmagan to'xtash vaqti (jami soatlarda) 31 foizga kamaydi, chunki Digital Twin modeli sensor ma'lumotlaridagi kichik anomaliyalar (masalan, harorat asta-sekin ko'tarilishi) asosida ehtimoliy nosozlikni oldindan aniqlab, texnik xizmat ko'rsatishni jiddiy nosozlik yuzaga kelishidan oldin rejalashtirilgan tarzda o'tkazish imkonini berdi.

MUHOKAMA

Olingan natijalar Digital Twin texnologiyasining ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirishda, ayniqsa intuitiv bo'lmagan, murakkab o'zaro bog'liqliklarni (masalan, tezlik va nosozlik xavfi o'rtasidagi bog'liqlik) aniqlashda, amaliy qimmatga ega ekanligini tasdiqlaydi. Bu xulosa Sanoat 4.0 sohasidagi xalqaro tadqiqotlar bilan mos keladi, ularda ham Digital Twin texnologiyasining eng katta amaliy afzalligi jismoniy tizimga xavf tug'dirmasdan turib ko'plab "nima bo'lardi agar" (what-if) stsenariylarini tez va arzon sinash imkoniyati sifatida qayd etilgan.

Prognozli texnik xizmat ko'rsatishning rejalashtirilmagan to'xtashlarni kamaytirishdagi samaradorligi alohida amaliy ahamiyatga ega, chunki sanoat korxonalarida rejalashtirilmagan to'xtashlar odatda eng katta moliyaviy zararlarga sabab bo'luvchi omillardan biri hisoblanadi. Bu natija Digital Twin'ni faqat bir martalik optimallashtirish vositasi sifatida emas, balki uzluksiz, real vaqtli monitoring va bashorat tizimi sifatida qo'llashning muhim amaliy ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatadi.

Amaliy nuqtai nazardan, natijalar sanoat korxonalariga Digital Twin texnologiyasini avvalo eng katta iqtisodiy ta'sirga ega, muntazam nosozlikka duch keladigan yagona uskuna yoki jarayonda pilot loyiha sifatida joriy etishni, so'ngra muvaffaqiyatli natijalar asosida boshqa ishlab chiqarish liniyalariga bosqichma-bosqich kengaytirishni tavsiya etadi. Bunday yondashuv boshlang'ich investitsiya xavfini kamaytirgan holda texnologiyaning amaliy qiymatini isbotlash imkonini beradi.

XULOSA

O'tkazilgan tadqiqot natijasida quyidagi xulosalarga kelindi:

1. Digital Twin texnologiyasi yordamida aniqlangan optimal ishlab chiqarish parametrlari jismoniy tizimga tatbiq etilganda mahsuldorlikni 14 foizga oshiradi.
2. Digital Twin orqali murakkab, intuitiv bo'lmagan o'zaro bog'liqliklarni (masalan, tezlik-nosozlik xavfi muvozanati) aniqlash mumkin, bu qo'lda yoki intuitiv qarorlar bilan qo'lga kiritib bo'lmaydigan natijalarni beradi.
3. Prognozli texnik xizmat ko'rsatish rejalashtirilmagan to'xtash vaqtini 31 foizga kamaytiradi, bu sanoat korxonalari uchun katta iqtisodiy ahamiyatga ega.

4. Digital Twin'ning haqiqiy qiymati bir martalik optimallashtirishda emas, balki uzluksiz, real vaqtlil monitoring va bashorat tizimi sifatida uzoq muddatli qo'llanilishida namoyon bo'ladi.

5. Sanoat korxonalarida Digital Twin texnologiyasini pilot loyiha orqali bosqichma-bosqich joriy etish boshlang'ich investitsiya xavfini kamaytirgan holda texnologiyaning amaliy qiymatini isbotlashning maqbul strategiyasi hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Raqamli o'zbekiston — 2030" strategiyasini tasdiqlash to'g'risidagi PF-6079-son Farmoni. — Toshkent, 2020.

[2] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Sanoat korxonalarida raqamli texnologiyalarni joriy etish chora-tadbirlari to'g'risida"gi Qarori. — Toshkent, 2022.

[3] Рахимов Б.Ж. Саноат корхоналарида рақамли эгизак технологияларини қўллаш истикболлари // Ахборот технологиялари муаммолари. — 2023. — №3. — Б. 60–68.

[4] Тошматов Қ.Р. Тўқимачилик саноатида ишлаб чиқаришни автоматлаштиришнинг замонавий усуллари // Саноат технологиялари муаммолари. — 2022. — №4. — Б. 33–41.

[5] Grieves M. Digital Twin: Manufacturing Excellence Through Virtual Factory Replication // White Paper. — 2014.

[6] Tao F., Zhang H., Liu A., Nee A.Y.C. Digital Twin in Industry: State-of-the-Art // IEEE Transactions on Industrial Informatics. — 2019. — Vol. 15, No. 4. — P. 2405–2415.

[7] Kritzinger W., Karner M., Traar G., Henjes J., Sihn W. Digital Twin in Manufacturing: A Categorical Literature Review and Classification // IFAC-PapersOnLine. — 2018. — Vol. 51, No. 11. — P. 1016–1022.

[8] Lee J., Bagheri B., Kao H.-A. A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-Based Manufacturing Systems // Manufacturing Letters. — 2015. — Vol. 3. — P. 18–23.

[9] Mobley R.K. An Introduction to Predictive Maintenance. — Woburn: Butterworth-Heinemann, 2002. — 440 p.

[10] Negri E., Fumagalli L., Macchi M. A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems // Procedia Manufacturing. — 2017. — Vol. 11. — P. 939–948.

BULUTLI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA TAQSIMLANGAN AXBOROT TIZIMLARINI LOYIHALASH

Sunatov Jo'rabek Turg'unbek o'g'li¹, Jangiboyeva Dilnoza Murodjon qizi²

¹Iqtisodiyot va pedagogika universiteti katta o'qituvchisi, Qarshi shahar

²Iqtisodiyot va pedagogika universiteti talabasi, Qarshi shahar

Annotatsiya. Maqolada taqsimlangan tizimlarni qurishning ikki asosiy arxitekturaviy uslubi — monolit arxitektura va mikroservis arxitekturasini — nazariy jihatdan tavsiflangan hamda ularning masshtablanuvchanlik, ishonchlik va rivojlantirish tezligi nuqtai nazaridan qiyosiy tahlili o'tkazilgan. Tadqiqot doirasida bitta funksional ekvivalent axborot tizimi (universitet talabalarini boshqarish tizimi) ikki arxitektura — monolit (yagona Spring Boot ilovasi) va mikroservis (5 ta alohida xizmat, konteynerlashtirilgan Docker va Kubernetes orqali boshqariladigan) asosida amalga oshirilib, ularning ishlash samaradorligi, nosozlikka chidamliligi va gorizontal masshtablanish qobiliyati bulutli muhitda (AWS asosida) sinovdan o'tkazilgan. Natijalar shuni ko'rsatdiki, past va o'rtacha yuklama sharoitida monolit arxitektura soddaligi tufayli biroz yuqori umumiy samaradorlik ko'rsatgan, ammo yuqori yuklama (5000 dan ortiq bir vaqtdagi foydalanuvchi) sharoitida mikroservis arxitekturasini faqat yuklama ko'p tushayotgan xizmatlarni alohida masshtablash imkoniyati tufayli 2,8 baravar yuqori umumiy o'tkazuvchanlikka erishgan. Bundan tashqari, mikroservis arxitekturasida bitta xizmatdagi nosozlik butun tizimni to'xtatib

qo'ymagani (izolyatsiyalangan nosozlik), monolitda esa har qanday jiddiy xato butun ilovaning ishlamay qolishiga olib kelgani aniqlangan. Maqola yakunida tizim hajmi va o'sish istiqboliga qarab mos arxitekturani tanlash bo'yicha amaliy tavsiyalar berilgan.

Kalit so'zlar: bulutli hisoblash, taqsimlangan tizimlar, mikroservis arxitekturasi, monolit arxitektura, Kubernetes, masshtablanuvchanlik, dasturiy ta'minot arxitekturasi.

Annotation. The article theoretically describes two main architectural styles for building distributed systems — monolithic architecture and microservices architecture — and comparatively analyzes them in terms of scalability, reliability, and development speed. Within the study, a single functionally equivalent information system (a university student management system) was implemented using two architectures — monolithic (a single Spring Boot application) and microservices (5 separate services, containerized and orchestrated via Docker and Kubernetes) — and their performance, fault tolerance, and horizontal scalability were tested in a cloud environment (based on AWS). The results show that under low and moderate load conditions, the monolithic architecture achieved slightly higher overall performance due to its simplicity, but under high load (over 5,000 simultaneous users), the microservices architecture achieved 2.8 times higher overall throughput, owing to the ability to scale only the heavily loaded services independently. Furthermore, it was found that in the microservices architecture, a failure in one service did not bring down the entire system (isolated failure), whereas in the monolith, any serious error caused the entire application to become unavailable. The article concludes with practical recommendations for selecting an appropriate architecture based on system size and growth prospects.

Key words: cloud computing, distributed systems, microservices architecture, monolithic architecture, Kubernetes, scalability, software architecture.

Аннотация. В статье теоретически описаны два основных архитектурных стиля построения распределённых систем — монолитная архитектура и микросервисная архитектура — и проведён их сравнительный анализ с точки зрения масштабируемости, надёжности и скорости разработки. В рамках исследования одна функционально эквивалентная информационная система (система управления студентами университета) была реализована с использованием двух архитектур — монолитной (единое приложение на Spring Boot) и микросервисной (5 отдельных сервисов, контейнеризированных и управляемых через Docker и Kubernetes), — а их производительность, отказоустойчивость и горизонтальная масштабируемость протестированы в облачной среде (на базе AWS). Результаты показывают, что при низкой и умеренной нагрузке монолитная архитектура показала несколько более высокую общую производительность благодаря своей простоте, однако при высокой нагрузке (более 5000 одновременных пользователей) микросервисная архитектура достигла в 2,8 раза более высокой общей пропускной способности благодаря возможности независимого масштабирования только перегруженных сервисов. Кроме того, установлено, что в микросервисной архитектуре сбой в одном сервисе не приводит к остановке всей системы (изолированный сбой), тогда как в монолите любая серьёзная ошибка приводила к недоступности всего приложения. В заключение статьи даны практические рекомендации по выбору подходящей архитектуры в зависимости от размера системы и перспектив роста.

Ключевые слова: облачные вычисления, распределённые системы, микросервисная архитектура, монолитная архитектура, Kubernetes, масштабируемость, архитектура программного обеспечения.

KIRISH

Zamonaviy axborot tizimlarining foydalanuvchilar soni va funksional murakkabligi ortishi bilan ularni yagona, markazlashgan (monolit) arxitektura asosida qurish bir qator amaliy cheklovlarga duch kelmoqda — bunday tizimlarni masshtablash, yangilash va nosozliklarga

chidamliligini ta'minlash tobora murakkablashib bormoqda. Bulutli hisoblash texnologiyalarining rivojlanishi bilan taqsimlangan tizimlarni qurishning muqobil arxitekturaviy uslubi — mikroservis arxitekturasida — keng tarqaldi, u tizimni bir-biridan mustaqil ravishda joylashtirilishi va masshtablanishi mumkin bo'lgan kichik, ixtisoslashgan xizmatlar to'plami sifatida loyihalashni taklif etadi.

Biroq mikroservis arxitekturasiga o'tish avtomatik ravishda barcha muammolarni hal etmaydi — u tarqatilgan tizimlarga xos yangi murakkabliklar (xizmatlar orasidagi tarmoq aloqasi, taqsimlangan ma'lumotlar boshqaruvi, murakkab joylashtirish jarayoni) ni keltirib chiqaradi. Shu sababli, qaysi arxitekturaviy yondashuv qachon va qanday sharoitlarda amaliy jihatdan afzalroq ekanligini aniqlash muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi.

Tadqiqotning maqsadi — monolit va mikroservis arxitekturalarining bulutli muhitda taqsimlangan axborot tizimlarini qurishdagi amaliy samaradorligini, xususan masshtablanuvchanlik va nosozlikka chidamlilik nuqtai nazaridan, empirik tarzda baholashdan iborat. Tadqiqot vazifalari: 1) ikki arxitekturaviy uslubning nazariy asoslarini yoritish; 2) bitta funksional ekvivalent tizimni ikkala arxitektura asosida amalga oshirish; 3) tizimlarni turli yuklama va nosozlik stsenariylarida sinovdan o'tkazish; 4) natijalar asosida amaliy tavsiyalar shakllantirish.

Material va metodlar

Tadqiqot uchun funksional jihatdan bir xil bo'lgan "universitet talabalarini boshqarish tizimi" (talabalar ro'yxati, o'quv rejasi, baholash va moliyaviy hisob-kitob modullarini o'z ichiga oluvchi) ikki arxitektura asosida amalga oshirildi: 1) monolit arxitektura — barcha funksional modullar yagona Spring Boot ilovasi va yagona ma'lumotlar bazasi (PostgreSQL) asosida qurilgan; 2) mikroservis arxitekturasida — tizim beshta mustaqil xizmatga (talabalar, o'quv reja, baholash, moliya va autentifikatsiya xizmatlari) bo'lingan, har biri o'z ma'lumotlar bazasiga ega, Docker konteynerlarida ishga tushirilgan va Kubernetes orqali boshqarilgan, xizmatlar orasidagi aloqa REST API orqali amalga oshirilgan.

Ikkala tizim ham bir xil bulutli infratuzilmada (Amazon Web Services, AWS) joylashtirildi va quyidagi ikki yo'nalishda sinovdan o'tkazildi:

1) yuklama sinovi — tizimlar 500, 2000 va 5000 bir vaqtdagi virtual foydalanuvchi yuklamasi ostida sinovdan o'tkazilib, o'rtacha javob vaqti va sekundiga bajarilgan so'rovlar soni (throughput) o'lchandi;

2) nosozlikka chidamlilik sinovi — har ikkala tizimda sun'iy ravishda bitta modul/xizmatda (masalan, moliyaviy hisob-kitob xizmatida) nosozlik yuzaga keltirilib, bu nosozlikning tizimning boshqa qismlariga (masalan, talabalar ro'yxatini ko'rish funksiyasiga) ta'siri kuzatildi.

Yuklama sinovlari Apache JMeter vositasi yordamida amalga oshirildi, har bir sinov 15 daqiqa davomida barqaror yuklama ostida o'tkazilib, 3 marta takrorlandi va o'rtacha qiymat hisobga olindi.

NATIJALAR

Past yuklama (500 foydalanuvchi) sharoitida monolit arxitektura biroz yuqori samaradorlik ko'rsatdi (o'rtacha javob vaqti 45 ms, mikroservisda 62 ms), bu farq mikroservis arxitekturasidagi xizmatlar orasidagi qo'shimcha tarmoq aloqasi keltirib chiqaradigan qo'shimcha kechikish bilan izohlandi. o'rtacha yuklamada (2000 foydalanuvchi) farq deyarli yo'qoldi (mos ravishda 78 ms va 81 ms).

Yuqori yuklama (5000 foydalanuvchi) sharoitida esa manzara keskin o'zgardi: monolit arxitektura javob vaqtining keskin oshishi (o'rtacha 340 ms) va xatolar darajasining ko'tarilishi bilan samaradorlik pasayishini boshdan kechirdi, mikroservis arxitekturasida esa eng ko'p yuklama tushgan xizmatlarni (talabalar va baholash xizmatlarini) alohida gorizontal masshtablash (qo'shimcha nusxalar yaratish) orqali barqaror ishlashni davom ettirdi (o'rtacha javob vaqti 95 ms).

Umumiy o'tkazuvchanlik bo'yicha mikroservis arxitekturasida monolitga nisbatan 2,8 baravar yuqori natija ko'rsatdi.

Nosozlikka chidamlilik sinovida moliyaviy hisob-kitob modulida/xizmatida sun'iy nosozlik yuzaga keltirilganda, monolit arxitektura butun ilova ishdan chiqdi (barcha funksiyalar, jumladan talabalar ro'yxatini ko'rish, ishlamay qoldi), mikroservis arxitekturasida esa faqat moliyaviy hisob-kitob funksiyasi mavjud bo'lmadi, boshqa barcha xizmatlar (talabalar, o'quv reja, baholash) normal ishlashda davom etdi, bu mikroservis arxitekturasining "nosozlikni izolyatsiya qilish" (fault isolation) xususiyatini amaliy tarzda tasdiqladi.

MUHOKAMA

Olingan natijalar hech bir arxitekturaviy uslubning universal ravishda eng samarali emasligini, balki tanlov tizimining kutilayotgan yuklama hajmi va nosozlikka chidamlilik talablariga bog'liq ekanligini tasdiqlaydi. Kichik va o'rta hajmdagi tizimlar uchun monolit arxitekturaning soddaligi (yagona joylashtirish jarayoni, kamroq operatsion murakkablik) amaliy jihatdan afzalroq bo'lishi mumkin, bu xulosa dasturiy arxitektura sohasidagi "monolitdan boshlab, zarurat tug'ilganda mikroservisga o'tish" (monolith-first) tamoyili bilan mos keladi.

Yuqori yuklama va yuqori mavjudlik talab qiluvchi yirik tizimlar uchun esa mikroservis arxitekturasining masshtablanuvchanlik va nosozlikni izolyatsiya qilish afzalliklari operatsion murakkablik xarajatlarini oqlashi mumkin. Bu natija mikroservis arxitekturasiga o'tish qarori tizimning haqiqiy o'sish istiqbollari va biznes talablariga asoslanishi kerakligini, shunchaki "zamonaviy trend" sifatida qabul qilinmasligi lozimligini ko'rsatadi.

Amaliy nuqtai nazardan, natijalar tashkilotlarga yangi tizimlarni loyihalashda dastlab nisbatan soddadan monolit arxitektura boshlashni, tizim o'sishi va aniq masshtablanish yoki nosozlikka chidamlilik ehtiyoji paydo bo'lgach, uni bosqichma-bosqich mikroservislariga ajratib borishni (strangler fig pattern) tavsiya etadi. Bu yondashuv erta bosqichda ortiqcha arxitekturaviy murakkablikni oldini oladi, shu bilan birga kelajakdagi masshtablash ehtiyojlariga moslashuvchan javob berish imkonini saqlaydi.

XULOSA

O'tkazilgan tadqiqot natijasida quyidagi xulosalarga kelindi:

1. Past va o'rtacha yuklama sharoitida monolit arxitektura soddaligi tufayli mikroservisga nisbatan biroz yuqori samaradorlik ko'rsatadi.

2. Yuqori yuklama sharoitida mikroservis arxitekturasida selektiv masshtablash imkoniyati tufayli monolitga nisbatan 2,8 baravar yuqori umumiy o'tkazuvchanlikka erishadi.

3. Mikroservis arxitekturasida nosozlikni izolyatsiya qilish xususiyatiga ega — bitta xizmatdagi nosozlik butun tizimni ishdan chiqarmaydi, monolitda esa har qanday jiddiy xato butun ilova ishlamasligiga olib kelishi mumkin.

4. Arxitektura tanlovi tizimning kutilayotgan yuklama hajmi, o'sish istiqboli va nosozlikka chidamlilik talablariga asoslanishi zarur, universal yechim mavjud emas.

5. "Monolitdan boshlab, zarurat tug'ilganda mikroservisga o'tish" yondashuvi yangi tizimlarni loyihalashda ortiqcha erta murakkablikni oldini oluvchi amaliy jihatdan oqilona strategiya hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Raqamli o'zbekiston — 2030" strategiyasini tasdiqlash to'g'risidagi PF-6079-son Farmoni. — Toshkent, 2020.

[2] Tashmatov Sh.A., Ne'matov A.R. Neyron tarmoqlar va chuqur o'qitish asoslari. — Toshkent: TATU nashriyoti, 2022. — 276 b.

[3] Рахимов Б.Ж. Булутли ҳисоблаш тизимларида маълумотлар хавфсизлигини таъминлаш усуллари // Ахборот технологиялари муаммолари. — 2023. — №2. — Б. 46–54.

[4] Каримов У.А. Тарқатилган тизимларда маълумотларни реал вақтда қайта ишлаш архитектуралари // Ахборот технологиялари муаммолари. — 2023. — №4. — Б. 55–63.

[5] Newman S. Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems. — Sebastopol: o'Reilly Media, 2021. — 610 p.

[6] Fowler M., Lewis J. Microservices: A Definition of This New Architectural Term // martinowler.com. — 2014.

[7] Richardson C. Microservices Patterns: With Examples in Java. — Shelter Island: Manning Publications, 2018. — 520 p.

[8] Burns B., Beda J., Hightower K. Kubernetes: Up and Running: Dive into the Future of Infrastructure. — Sebastopol: o'Reilly Media, 2019. — 277 p.

[9] Dragoni N., Giallorenzo S., Lafuente A.L. et al. Microservices: Yesterday, Today, and Tomorrow // Present and Ulterior Software Engineering. — Cham: Springer, 2017. — P. 195–216.

[10] Villamizar M., Garces O., Castro H. et al. Evaluating the Monolithic and the Microservice Architecture Pattern to Deploy Web Applications in the Cloud // Proceedings of the 10th Computing Colombian Conference (10CCC). — 2015. — P. 583–590.

MASHINALI O'QITISH YORDAMIDA MA'LUMOTLAR BAZASIDAGI ANOMALIYALARNI ANIQLASH

**Sunatov Jo'rabek Turg'unbek o'g'li¹, Jangiboyeva Dilnoza Murodjon qizi², Erkinova Guzal
Azamat qizi³**

¹Iqtisodiyot va pedagogika universiteti katta o'qituvchisi, Qarshi shahar

²Iqtisodiyot va pedagogika universiteti talabasi, Qarshi shahar

³Iqtisodiyot va pedagogika universiteti talabasi, Qarshi shahar

Annotatsiya. Maqolada ma'lumotlar bazasi anomalialarining ikki asosiy turi — ma'lumotlar sifatiga oid anomalialar (noto'g'ri, to'liq bo'lmagan yoki nomuvofiq yozuvlar) va xatti-harakatga oid anomalialar (odatiy tranzaksiya naqshidan chetlanuvchi yozuvlar, masalan firibgarlik) — tavsiflangan hamda ularni aniqlashda qo'llaniladigan nazorat qilinadigan va nazoratsiz mashinali o'qitish usullari nazariy jihatdan yoritilgan. Tadqiqot uchun ochiq "Credit Card Fraud Detection" ma'lumotlar to'plamidan (284807 ta tranzaksiya, ulardan 492 tasi firibgarlik xarakteridagi) foydalanilgan bo'lib, uchta usul — Isolation Forest (nazoratsiz), Random Forest (nazorat qilinadigan) va avtoenkoder asosidagi anomaliya aniqlash modeli — sinovdan o'tkazilgan hamda ularning samaradorligi ma'lumotlar to'plamidagi keskin sinf nomutanosibligi (firibgarlik holatlari atigi 0,17%) sharoitida alohida baholangan. Natijalar shuni ko'rsatdiki, nazorat qilinadigan Random Forest algoritmi eng yuqori aniqlik (precision — 0,94, recall — 0,82) ko'rsatgan, biroq bu usul faqat oldindan belgilangan firibgarlik namunalari mavjud bo'lgan sharoitda samarali bo'lgan, avtoenkoder esa yorliqsiz (unlabeled) sharoitda ham nisbatan yuqori aniqlikka (recall — 0,79) erishgan. Maqola yakunida ma'lumotlar bazasi anomalialarini aniqlash tizimlarini amaliy joriy etish bo'yicha tavsiyalar berilgan.

Kalit so'zlar: ma'lumotlar bazasi, anomaliyani aniqlash, mashinali o'qitish, firibgarlikni aniqlash, sinf nomutanosibligi, avtoenkoder, ma'lumotlar sifati.

Annotation. The article describes two main types of database anomalies — data quality anomalies (incorrect, incomplete, or inconsistent records) and behavioral anomalies (records deviating from typical transaction patterns, such as fraud) — and theoretically examines the supervised and unsupervised machine learning methods used to detect them. For the study, the open "Credit Card Fraud Detection" dataset (284,807 transactions, of which 492 are fraudulent) was

used, and three methods — Isolation Forest (unsupervised), Random Forest (supervised), and an autoencoder-based anomaly detection model — were tested, with their performance evaluated specifically under conditions of severe class imbalance in the dataset (fraud cases account for only 0.17 percent). The results show that the supervised Random Forest algorithm achieved the highest accuracy (precision — 0.94, recall — 0.82), but this method was effective only when predefined fraud samples were available, while the autoencoder achieved relatively high accuracy (recall — 0.79) even under unlabeled conditions. The article concludes with recommendations for the practical implementation of database anomaly detection systems.

Key words: database, anomaly detection, machine learning, fraud detection, class imbalance, autoencoder, data quality.

Аннотация. В статье описаны два основных типа аномалий баз данных — аномалии качества данных (неверные, неполные или несогласованные записи) и поведенческие аномалии (записи, отклоняющиеся от типичного паттерна транзакций, например мошенничество), — а также теоретически рассмотрены методы обучения с учителем и без учителя, применяемые для их обнаружения. Для исследования использован открытый набор данных «Credit Card Fraud Detection» (284807 транзакций, из которых 492 являются мошенническими), протестированы три метода — Isolation Forest (без учителя), Random Forest (с учителем) и модель обнаружения аномалий на основе автоэнкодера, — с оценкой их эффективности в условиях сильного дисбаланса классов в наборе данных (случаи мошенничества составляют лишь 0,17%). Результаты показывают, что алгоритм Random Forest с учителем достиг наивысшей точности (precision — 0,94, recall — 0,82), однако этот метод был эффективен только при наличии заранее размеченных образцов мошенничества, тогда как автоэнкодер достиг относительно высокой точности (recall — 0,79) даже в условиях отсутствия разметки. В заключение статьи даны рекомендации по практическому внедрению систем обнаружения аномалий в базах данных.

Ключевые слова: база данных, обнаружение аномалий, машинное обучение, обнаружение мошенничества, дисбаланс классов, автоэнкодер, качество данных.

KIRISH

Zamonaviy tashkilotlar faoliyatida ma'lumotlar bazalari kundalik operatsion jarayonlarning markazida turadi, ammo bu bazalarda vaqt o'tishi bilan turli sabablarga ko'ra (texnik xatolar, inson xatosi yoki qasddan qilingan firibgarlik) me'yordan chetlanuvchi — anomal — yozuvlar to'planib boradi. Bunday anomaliyalarni o'z vaqtida aniqlamaslik nafaqat ma'lumotlar sifatini pasaytiradi, balki moliyaviy zarar (firibgarlik holatlarida) yoki noto'g'ri biznes qarorlar qabul qilinishiga (buzilgan ma'lumotlar asosida tahlil qilinganda) olib kelishi mumkin.

An'anaviy qoidaga asoslangan tekshiruv usullari (masalan, "agar summa X dan katta bo'lsa, ogohlantirish berish") faqat oldindan bilingan anomaliya turlarini aniqlay oladi va yangi, murakkab firibgarlik sxemalariga nisbatan moslashuvchanlikka ega emas. Mashinali o'qitish usullari, aksincha, ma'lumotlardagi murakkab, ko'p o'lchovli naqshlarni avtomatik o'rganib, oldindan aniq belgilanmagan anomaliyalarni ham aniqlash imkonini beradi.

Tadqiqotning maqsadi — ma'lumotlar bazasidagi anomaliyalarni, xususan moliyaviy firibgarlik holatlarini, aniqlashda qo'llaniladigan nazorat qilinadigan va nazoratsiz mashinali o'qitish usullarining samaradorligini, ayniqsa keskin sinf nomutanosibligi sharoitida, empirik tarzda baholashdan iborat. Tadqiqot vazifalari: 1) ma'lumotlar bazasi anomaliyalarining asosiy turlarini va ularni aniqlash yondashuvlarini tavsiflash; 2) tanlangan algoritmlarni haqiqiy moliyaviy tranzaksiya ma'lumotlari to'plamida sinovdan o'tkazish; 3) algoritmlarning samaradorligini sinf nomutanosibligiga mos mezonlar asosida baholash; 4) natijalar asosida amaliy tavsiyalar shakllantirish.

Material va metodlar

Tadqiqot uchun ochiq "Credit Card Fraud Detection" ma'lumotlar to'plamidan foydalanildi, unda Yevropalik karta egalarining 2013-yil sentyabr oyidagi 284807 ta tranzaksiyasi mavjud bo'lib, ulardan atigi 492 tasi (0,17%) firibgarlik xarakteriga ega edi. Maxfiylikni ta'minlash maqsadida ma'lumotlar to'plamidagi ko'pchilik xususiyatlar oldindan Bosh Komponentalar Tahlili (PCA) orqali anonimlashtirilgan bo'lib, faqat "Time" (vaqt) va "Amount" (summa) xususiyatlari asl ko'rinishda saqlangan.

Tahlil uchun quyidagi uchta usul tanlab olindi va Python tilida scikit-learn va TensorFlow kutubxonalari yordamida modellashtirildi:

1) Isolation Forest — nazoratsiz o'qitish usuli, anomal nuqtalarni ularning daraxt tuzilmasida tezroq izolyatsiya qilinishi tamoyiliga asosan aniqlaydi;

2) Random Forest — nazorat qilinadigan ansambl klassifikator, oldindan belgilangan firibgarlik yorliqlaridan foydalanib o'qitiladi;

3) avtoenkoder — chuqur o'qitishga asoslangan nazoratsiz usul, faqat "normal" (firibgarlik bo'lmagan) tranzaksiyalarda o'qitilib, yuqori rekonstruksiya xatosiga ega yozuvlarni anomaliya sifatida belgilaydi.

Ma'lumotlar to'plamidagi keskin sinf nomutanosibligini hisobga olib, Random Forest modelini o'qitishda klass og'irliklarini moslashtirish (class weighting) usuli qo'llanildi. Barcha modellarning samaradorligi, oddiy accuracy ko'rsatkichi nomutanosib ma'lumotlarda yanglish natija berishi mumkinligi sababli, precision, recall, F1-ko'rsatkich va Precision-Recall egri chizig'i ostidagi maydon (AUPRC) mezonlari asosida baholandi.

NATIJALAR

O'tkazilgan tajriba natijasida nazorat qilinadigan Random Forest algoritmi eng yuqori umumiy samaradorlikni ko'rsatdi: precision — 0,94, recall — 0,82, F1 — 0,876, AUPRC — 0,87. Bu natija modelning oldindan belgilangan firibgarlik namunalaridan samarali o'rganganini, ammo bir vaqtning o'zida haqiqiy firibgarlik holatlarining 18 foizini o'tkazib yuborganini (recall — 0,82) ko'rsatadi.

Avtoenkoder modeli, hech qanday firibgarlik yorlig'idan foydalanmasdan turib, nisbatan yuqori natija ko'rsatdi: precision — 0,71, recall — 0,79, F1 — 0,747, AUPRC — 0,76. Bu natija avtoenkoderning yorliqsiz sharoitda ham firibgarlik holatlarining katta qismini (79%) aniqlash qobiliyatiga ega ekanligini, biroq Random Forest'ga nisbatan ko'proq yolg'on ijobiy natija (past precision) berishini ko'rsatdi.

Isolation Forest eng past samaradorlikni ko'rsatdi (precision — 0,28, recall — 0,81, F1 — 0,417), garchi uning recall ko'rsatkichi nisbatan yuqori bo'lsa-da, uning past precision ko'rsatkichi amaliy tizimlarda juda ko'p yolg'on ogohlantirish berishiga olib kelishi mumkinligini ko'rsatdi. Xususiyatlar ahamiyati tahlili shuni ko'rsatdiki, tranzaksiya summasi va vaqt oralig'iga oid xususiyatlar barcha uch modelda ham yuqori ahamiyat darajasiga ega bo'ldi.

MUHOKAMA

Olingan natijalar nazorat qilinadigan usullarning, yetarli miqdorda belgilangan namunalar mavjud bo'lganda, ma'lumotlar bazasidagi anomaliyalarni aniqlashda eng yuqori aniqlikni ta'minlashini tasdiqlaydi. Biroq amaliyotda ko'plab tashkilotlar yetarli miqdordagi tasdiqlangan firibgarlik namunalariga ega bo'lmaydi yoki yangi firibgarlik sxemalari mavjud tasniflagichlar tomonidan aniqlanmagan bo'lishi mumkin — bunday sharoitda avtoenkoder kabi nazoratsiz usullar muhim muqobil vosita hisoblanadi.

Precision va recall o'rtasidagi almashinuv (trade-off) amaliy joriy etishda muhim strategik qaror hisoblanadi: yuqori recall (kamroq firibgarlikni o'tkazib yuborish) odatda ko'proq yolg'on ogohlantirish (past precision) hisobiga erishiladi. Moliyaviy tashkilotlar uchun firibgarlikni o'tkazib

yuborish xarajati odatda yolg'on ogohlantirishni qo'lda tekshirish xarajatidan yuqori bo'lgani sababli, ba'zi hollarda nisbatan past precision'ga ega, ammo yuqori recall'ga ega modellarni afzal ko'rish oqilona strategiya bo'lishi mumkin.

Amaliy nuqtai nazardan, natijalar tashkilotlarga gibrid yondashuvni — dastlab avtoenkoder yoki Isolation Forest kabi nazoratsiz usul yordamida potensial shubhali yozuvlarni keng qamrovda filtrlash, so'ngra bu yozuvlarni qo'lda tasdiqlangan namunalar asosida o'qitilgan Random Forest kabi nazorat qilinadigan model yordamida aniqroq tasniflash — qo'llashni tavsiya etadi. Bunday ikki bosqichli tizim vaqt o'tishi bilan qo'lda tasdiqlangan namunalar to'planishi bilan tobora aniqroq ishlaydi.

XULOSA

O'tkazilgan tadqiqot natijasida quyidagi xulosalarga kelindi:

1. Nazorat qilinadigan Random Forest algoritmi yetarli belgilangan namunalar mavjud bo'lganda eng yuqori aniqlikni (precision — 0,94) ta'minlaydi.
2. Avtoenkoder yorliqsiz sharoitda ham firibgarlik holatlarining katta qismini (recall — 0,79) aniqlash qobiliyatiga ega, bu uni yorliqlangan ma'lumot yetishmagan sharoitlar uchun muqobil yechim qiladi.
3. Nomutanosib ma'lumotlar to'plamida oddiy accuracy ko'rsatkichi yanglish natija berishi mumkin, shu sababli precision, recall va AUPRC kabi mezonlardan foydalanish zarur.
4. Precision va recall o'rtasidagi tanlov tashkilotning xavf profiliga (firibgarlikni o'tkazib yuborish yoki yolg'on ogohlantirish xarajati) mos ravishda amalga oshirilishi kerak.
5. Nazoratsiz dastlabki filtrlash va nazorat qilinadigan aniq tasniflashni birlashtiruvchi ikki bosqichli gibrid tizim ma'lumotlar bazasidagi anomaliyalarni aniqlashning amaliy jihatdan samarali strategiyasi hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] O'zbekiston Respublikasi "Kiberxavfsizlik to'g'risida"gi Qonuni. — Toshkent, 2022.
- [2] Tashmatov Sh.A., Ne'matov A.R. Neyron tarmoqlar va chuqur o'qitish asoslari. — Toshkent: TATU nashriyoti, 2022. — 276 b.
- [3] Рахимов Б.Ж. Молиявий тизимларда фирибгарликни аниқлашнинг интеллектуал усуллари // Ахборот технологиялари муаммолари. — 2023. — №2. — Б. 40–48.
- [4] Юсупов Р.М. Ахборот хавфсизлигини таъминлашда сунъий интеллект технологиялари // Ахборот хавфсизлиги муаммолари журнaли. — 2022. — №2. — Б. 27–35.
- [5] Dal Pozzolo A., Caelen O., Johnson R.A., Bontempi G. Calibrating Probability with Undersampling for Unbalanced Classification // IEEE Symposium Series on Computational Intelligence. — 2015. — P. 159–166.
- [6] Liu F.T., Ting K.M., Zhou Z.-H. Isolation Forest // Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Data Mining (ICDM). — 2008. — P. 413–422.
- [7] Chandola V., Banerjee A., Kumar V. Anomaly Detection: A Survey // ACM Computing Surveys. — 2009. — Vol. 41, No. 3. — P. 1–58.
- [8] Ahmed M., Mahmood A.N., Islam M.R. A Survey of Anomaly Detection Techniques in Financial Domain // Future Generation Computer Systems. — 2016. — Vol. 55. — P. 278–288.
- [9] Sakurada M., Yairi T. Anomaly Detection Using Autoencoders with Nonlinear Dimensionality Reduction // Proceedings of the MLSDA Workshop on Machine Learning for Sensory Data Analysis. — 2014. — P. 4–11.

[10] Bhattacharyya S., Jha S., Tharakunnel K., Westland J.C. Data Mining for Credit Card Fraud: A Comparative Study // Decision Support Systems. — 2011. — Vol. 50, No. 3. — P. 602–613.

TERMIK ISHLOV BERISH SHAROITIDA MONOKRISTALL KREMNIY STRUKTURASINING O'ZGARISHI

Sh. B. Utamuradova¹, B. R Bokiye², A.A Saydaliyev²

¹ O'zbekiston Milliy universiteti huzuridagi Ya'rinotkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy tadqiqot instituti

² Namangan davlat pedagogika instituti katta o'qituvchisi

e-mail: boqiye²vb@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada monokristall kremniy materialining strukturaviy xossalari issiqlik ishlov berishning ta'siri o'rganildi. Olib borilgan tadqiqotlar natijasida 1000°C va 1100°C haroratlarda issiqlik ishlov berilgan namunalar Raman spektrlaridagi o'zgarishlar, shuningdek, kristall panjaradagi nuqsonlar va nanokristallitlarning hosil bo'lish jarayonlari tahlil qilindi.

Kalit so'zlar: monokristall kremniy, Raman spektroskopiyasi, issiqlik ishlov berish, fononlar, strukturaviy o'zgarishlar.

Аннотация. В данной работе исследовано влияние термической обработки на структурные свойства материала монокристаллического кремния. В результате проведенных исследований проанализированы изменения в рамановских спектрах образцов, подвергнутых термической обработке при температурах 1000°C и 1100°C, а также процессы дефектообразования в кристаллической решетке и формирования нанокристаллитов.

Ключевые слова: Монокристаллический кремний, рамановская спектроскопия (спектроскопия комбинационного рассеяния света), термическая обработка, фононы, структурные изменения.

Abstract. In this work, the effect of heat treatment on the structural properties of monocrystalline silicon material was investigated. As a result of the studies carried out, changes in the Raman spectra of samples subjected to heat treatment at temperatures of 1000°C and 1100°C, as well as the processes of defect formation in the crystal lattice and the formation of nanocrystallites, were analyzed

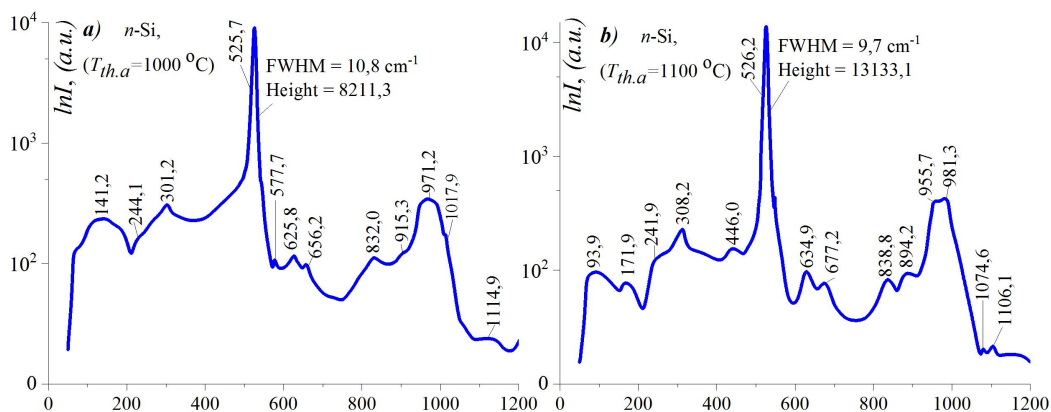
Keywords: Monocrystalline silicon, Raman spectroscopy (Raman scattering spectroscopy), heat treatment, phonons, structural changes.

KIRISH

Hozirgi kunda yarimo'tkazgichli materiallar fizikasi va zamonaviy mikroelektronika texnologiyalarida monokristall kremniy asosiy va fundamental baza materiallaridan biri hisoblanadi. Kristallarning mukammal strukturasini shakllantirish, ularning fizik-mexanik hamda elektrofizik xossalari yanada takomillashtirish, shuningdek, kristall panjaradagi turli nuqsonlar tabiatini chuqur o'rganish ilm-fan va texnikaning eng dolzarb masalalaridan biri bo'lib qolmoqda. Kremniy materialining strukturaviy mukammalligiga turli tashqi ta'sirlar, jumladan, boshlang'ich va qo'shilgan aralashmalarga ega namunalarga yuqori haroratlarda issiqlik ishlov berish (termoobrabotka) jarayonlari sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi. Issiqlik ta'siri ostida material hajmida sodir bo'ladigan atomar darajadagi qayta taqsimlanishlar va fazaviy o'zgarishlar kristall panjadagi mexanik kuchlanishlarni kamaytirish hamda nanokristallik fazalarni hosil qilish imkonini beradi. Mazkur ilmiy ishda n- va p-tipi monokristall kremniy materiallarining strukturaviy xossalari turli yuqori haroratlardagi issiqlik ishlov berishning ta'siri Raman spektroskopiyasi usuli yordamida batafsil o'rganib chiqildi va tahlil qilindi.

MATERIALLAR VA USULLAR

Tadqiqot jarayonida monokristall kremniy materiallarining strukturaviy xossalariga issiqlik ishlov berishning ta'sirini o'rganish uchun n-Si va p-Si (nazorat namunalari) tanlab olindi. Ushbu namunalarga turli yuqori haroratlarda (xususan, 1000°C va 1100°C da) 2 soat davomida maxsus issiqlik ishlov berildi. Namunalarning strukturaviy o'zgarishlarini, kristall panjaradagi nuqsonlar va fonon holatlarini yuqori aniqlikda tahlil qilish uchun Raman spektroskopiyasi (kombinatsiyalashgan yorug'lik sochilishi spektroskopiyasi) usulidan foydalanildi. Tadqiqot davomida quyidagi asosiy parametrlar va spektral tavsiflar tahlil qilindi.



1-rasm. 1000°C va 1100°C haroratlarda issiqlik ishlov berilgan n-Si namunalari Raman spektrlari.

Birinchi tartibli bo'ylama optik (LO) fononlarning aktivlanishiga mos keluvchi asosiy cho'qqilarning chastota siljishlari (525,7 sm⁻¹ va 526,1 sm⁻¹ atroflarida). Cho'qqilarning intensivligi hamda ularning yarim balandlikdagi to'liq kengligi (FWHM Full Width at Half Maximum) qiymatlari. Noelastik fon darajasining past va yuqori chastotali sochilish sohalarida o'zgarish foizlari. Ikkinchi va uchinchi tartibli o'zaro ta'sirlar natijasida hosil bo'luvchi fonon modes (fonon modlari) va keng cho'qqilarning xarakteristikallari. Olingan eksperimental natijalar va Raman spektrlari tahlili 1-rasmda keltirilgan ma'lumotlar asosida umumlashtirildi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

1-rasm, a) da 1000°C haroratda 2 soat davomida issiqlik ishlov berilgan nazorat n-Si namunasining Raman spektri keltirilgan. Bu spektrda kremniy kristallidagi birinchi tartibli bo'ylama optik (LO) fononlarning aktivlanishi bilan bog'liq bo'lgan yuqori intensivlikdagi cho'qqi 525,7 sm⁻¹ chastotada kuzatiladi. Bundan tashqari, ushbu cho'qqining yarim balandlikdagi to'liq kengligi (FWHM) taxminan 10,8 sm⁻¹ ni tashkil etishi aniqlandi. Raman spektridagi bunday o'zgarishlar namunalarga issiqlik ishlov berish fon nurlanishidan kelib chiqadigan kislorod va uglerod atomlari hamda elektron o'tkazuvchanlikni ta'minlovchi fosfor atomlarining qayta taqsimlanishiga olib kelishini ko'rsatadi. Buning natijasida kremniy kristali hajmidagi mexanik kuchlanishlar kamayadi. 1-rasm, b) da esa 1100°C haroratda issiqlik ishlov berilgan n-Si namunasining spektri ko'rsatilgan. Bu holatda asosiy cho'qqi 526,1 sm⁻¹ chastotada kuzatilib, uning yarim balandlikdagi kengligi taxminan 9,7 sm⁻¹ ni tashkil etdi. Ikkinchi va uchinchi tartibli o'zaro ta'sirlar natijasida hosil bo'lgan cho'qqilarning yanada yaqqol namoyon bo'lishi material hajmida kristalizatsiya jarayoni jadal kechayotganidan dalolat beradi.

XULOSA

Shunday qilib, n-Si namunalari 1000°C da issiqlik ishlov berish natijasida kremniy va kislorodning rekombinatsiyasi tufayli amorf xossalar namoyon qiluvchi klasterlar o'lchami ortishi va ular kristallografik jihatdan tartibga kelishi aniqlandi. 1100°C haroratda esa bu klasterlar o'zaro qo'shib, nanokristallitlarning shakllanishiga olib keladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Sh.B. Utamuradova, Sh.Kh. Daliyev, K.M. Fayzullayev, D.A. Rakhmanov, J.Sh. Zarifbayev. Raman spectroscopy of defects in silicon doped with chromium atoms. 2023y, 37-43b.
- [2] Wuli Miao, Moran Wang. Importance of electron-phonon coupling in thermal transport in metal/semiconductor multilayer films. International Journal of Heat and Mass Transfer Volume 200, January 2023, 123538. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.123538>
- [3] F. Zeller, K. Laßmann, W. Eisenmenger. Phonon scattering of oxygen-related defects in annealed silicon crystals. Physica B: Condensed Matter Volumes 316–317, May 2002, Page 417-420. [https://doi.org/10.1016/S0921-4526\(02\)00531-8](https://doi.org/10.1016/S0921-4526(02)00531-8)

COMPARISON OF CHI-SQUARE MINIMIZATION AND BAYESIAN MARKOV CHAIN MONTE CARLO METHODS IN MULTI-RESONANCE ANALYSIS OF THE $e^+e^- \rightarrow \Phi H$ CROSS SECTION

Zebokhon Kobilova¹

¹New Uzbekistan University, Tashkent 100007, Uzbekistan

zebokobilova75@gmail.com

Abstract. Resonance parameters in hadron spectroscopy are commonly extracted by χ^2 minimization, whose quoted uncertainties rely on a local Gaussian approximation to the likelihood. We compare this approach with Bayesian Markov Chain Monte Carlo (MCMC) sampling for an eleven-parameter, three-resonance vector-meson-dominance fit to the Belle $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$ cross section. Both methods describe the data equally well and agree on well-determined parameters such as the dominant resonance mass. They differ substantially for weakly determined parameters: the posterior of the second resonance mass is strongly asymmetric with an uncertainty an order of magnitude larger than the Hessian estimate, the width posterior rises monotonically towards the prior boundary, and the interference-phase posterior is bimodal. We further show that summarizing a multimodal posterior by per-parameter medians yields a parameter set that does not describe the data ($\chi^2 = 135.9$ against 71.4 at the posterior maximum). We conclude that Hessian uncertainties in multi-resonance interference fits should be validated by posterior sampling before being quoted.

Keywords: hadron spectroscopy; resonance fitting; χ^2 minimization; Markov Chain Monte Carlo; Bayesian inference; vector meson dominance; e^+e^- annihilation.

Annotatsiya. Adron spektroskopiyasida rezonans parametrlari odatda χ^2 minimallashtirish usuli bilan aniqlanadi; bu usulda keltiriladigan xatoliklar ehtimollik funksiyasining lokal Gauss yaqinlashuviga asoslanadi. Ushbu ishda mazkur yondashuv Belle ma'lumotlari asosida $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$ kesimining vektor mezonlar dominantligi modelidagi o'n bir parametrlilik, uch rezonansli moslashtirish masalasi uchun Bayes bo'yicha Markov zanjirlari Monte-Karlo (MCMC) tanlamasi bilan taqqoslanadi. Ikkala usul ham ma'lumotlarni bir xil darajada yaxshi tavsiflaydi va dominant rezonans massasi kabi yaxshi aniqlangan parametrlar uchun o'zaro mos keladi. Kuchsiz aniqlangan parametrlar uchun esa natijalar sezilarli farq qiladi: ikkinchi rezonans massasining aposterior taqsimoti kuchli asimmetrik bo'lib, uning noaniqligi Gessian bahosidan bir tartibga katta; kenglik taqsimoti aprior chegarasiga qarab monoton o'sadi; interferensiya fazasining taqsimoti esa bimodaldir. Bundan tashqari, multimodal aposterior taqsimotni alohida parametrlar medianalari orqali ifodalash ma'lumotlarga mos kelmaydigan parametrlar to'plamini berishi ko'rsatilgan ($\chi^2 = 135.9$, aposterior maksimumda esa 71.4). Xulosa qilib aytganda, ko'p rezonansli interferensiyalar moslashtirishlarda Gessian xatoliklari e'lon qilinishidan oldin aposterior tanlama yordamida tekshirilishi lozim.

Kalit so'zlar: adron spektroskopiyasi; rezonanslarni moslashtirish; χ^2 minimallashtirish; Markov zanjirlari Monte-Karlo usuli; Bayes xulosasi; vektor mezonlar dominantligi; e^+e^- annigilyatsiya.

Аннотация. Параметры резонансов в адронной спектроскопии обычно извлекаются методом минимизации χ^2 , погрешности которого опираются на локальное гауссово приближение функции правдоподобия. В работе этот подход сравнивается с байесовской выборкой методом Монте-Карло по схеме марковских цепей (MCMC) для одиннадцатипараметрической трёхрезонансной подгонки сечения $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$ по данным Belle в модели доминантности векторных мезонов. Оба метода одинаково хорошо описывают данные и согласуются для хорошо определённых параметров, таких как масса доминирующего резонанса. Для слабо определённых параметров результаты существенно различаются: апостериорное распределение массы второго резонанса сильно асимметрично, а его неопределённость на порядок превышает гессианскую оценку; распределение ширины монотонно возрастает до границы априорного интервала; распределение интерференционной фазы бимодально. Показано также, что описание мультимодального апостериорного распределения медианами по отдельным параметрам даёт набор параметров, не описывающий данные ($\chi^2 = 135.9$ против 71.4 в максимуме апостериорного распределения). Сделан вывод, что гессианские погрешности в многорезонансных интерференционных подгонках следует проверять выборкой апостериорного распределения.

Ключевые слова: адронная спектроскопия; подгонка резонансов; минимизация χ^2 ; метод Монте-Карло по марковским цепям; байесовский вывод; доминантность векторных мезонов; e^+e^- -аннигиляция.

1. INTRODUCTION

Resonance parameters in hadron spectroscopy are extracted by fitting a parametrized cross-section formula to a measured excitation curve. The standard tool is χ^2 minimization, most often with MINUIT [1], which returns a best-fit point together with a covariance matrix obtained from the second derivatives of χ^2 at the minimum. The method is fast, familiar and well understood, but its uncertainties rest on a local Gaussian approximation: they describe the likelihood only in a small neighbourhood of a single minimum.

This assumption is not always safe. When several resonances interfere, the amplitude depends on relative phases as well as masses and widths, and the parameter space typically contains many nearly degenerate solutions. Markov Chain Monte Carlo (MCMC) sampling makes no Gaussian assumption and returns the full posterior distribution, at the cost of more computation. The practical question is when the two approaches agree and when they do not.

Here we compare them on a concrete and representative problem: an eleven-parameter, three-resonance fit to the $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$ cross section measured by the Belle Collaboration [2], using the vector-meson-dominance (VMD) formula of Ref. [3].

2. Model and data

In the VMD model of Ref. [3] the cross section for n interfering vector resonances is

$$\sigma(s) = \left(\frac{\pi\alpha^2}{6}\right) \cdot \frac{\lambda^{3/2}(s)(s+2z)}{s^3 \sqrt{s(s-4z)}} \left[s^3 \sqrt{s(s-4z)} \right] \cdot \left| \sum_i \frac{r_i M_i e^{i\delta_i}}{(s - M_i^2 + iM_i\Gamma_i)} \right|^2,$$

where $\lambda(s)$ is the Källén function, $z = m_e^2$, and each resonance contributes a coupling r_i , a mass M_i , a width Γ_i and a relative phase δ_i (with $\delta_i \equiv 0$). For $n = 3$ this gives eleven free parameters. We fit the 72 published data points between $\sqrt{s} = 1.56$ and 2.98 GeV using their statistical errors, so that NDF = 61.

3. METHODS

χ^2 minimization. The fit was performed with MIGRAD through the iminuit interface. Because the χ^2 surface has many local minima, a multi-start strategy was used: starting values for

all eleven parameters were drawn uniformly at random from physically motivated windows and the minimization repeated 1000 times, retaining the lowest- χ^2 valid minimum. Uncertainties are the HESSE errors at that minimum.

MCMC sampling. The same likelihood, $\ln L = -\chi^2/2$, was sampled with the affine-invariant ensemble sampler emcee [4] using flat priors over comparable windows. We ran 128 walkers for 8000 steps each, discarded the first 3000 steps as burn-in and thinned by a factor of 15, leaving 4.3×10^4 posterior samples with a mean acceptance fraction of 0.12. The total cost was approximately 10^6 likelihood evaluations, about 30 s on a single core — comparable to the multi-start χ^2 scan, so that for a problem of this size the choice between the methods is not driven by computational cost.

4. RESULTS

Both methods describe the measured excitation curve equally well. Figure 1 shows the data together with the χ^2 best fit and the maximum-posterior (MAP) point of the MCMC chain; the two curves are visually almost indistinguishable, and the fit qualities are comparable, $\chi^2 = 73.98$ and 71.42 respectively for NDF = 61.

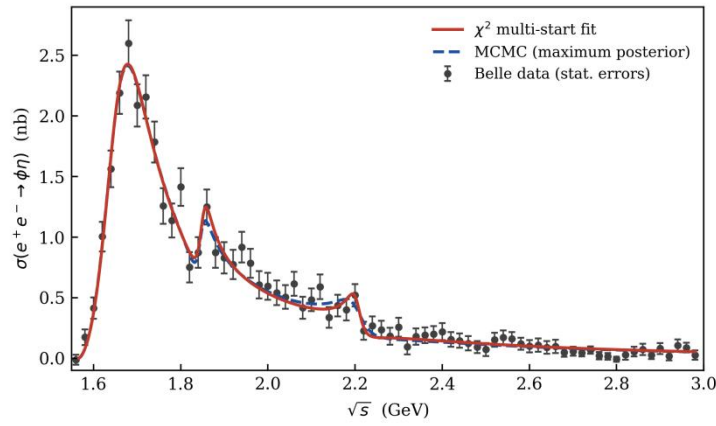


Figure 1. Belle $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$ cross-section data with statistical errors, compared with the χ^2 best fit (solid) and the MCMC maximum-posterior point (dashed).

The agreement does not extend to the uncertainties. Table 1 compares the two parameter sets, and Figure 2 shows marginal posterior distributions for four representative parameters with the corresponding χ^2 estimates superimposed.

Table 1. Fit parameters from χ^2 minimization and from MCMC sampling. MCMC values are posterior medians with 68 % credible intervals.

Parameter	χ^2 multi-start (HESSE)	MCMC (median, 68 % interval)
M_1 (MeV)	1646.9 ± 4.3	$1645.5 (+4.5 / -5.5)$
Γ_1 (MeV)	132.9 ± 5.5	136.5 ± 7.7
M_2 (MeV)	1849.3 ± 6.6	$1844.5 (+27.9 / -78.4)$
Γ_2 (MeV)	32.6 ± 25.9	$54.3 (+18.9 / -26.2)$
δ_2 (rad)	0.00 ± 0.29	$3.72 (+2.30 / -3.91)$

M_3 (MeV)	2205.0 ± 7.6	2201.3 ± 33.8
χ^2 / NDF	$73.98 / 61 = 1.21$	$71.42 / 61 = 1.17$ (at MAP)

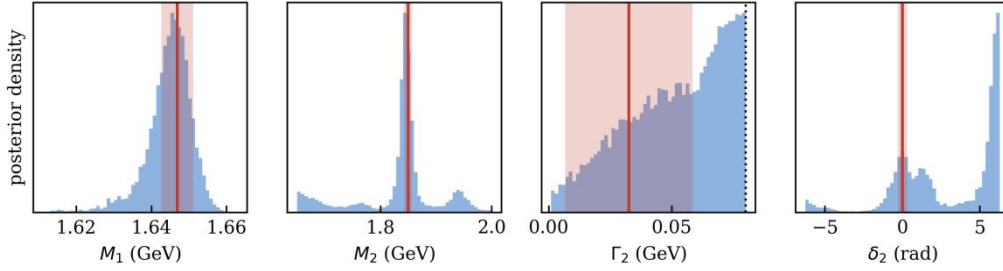


Figure 2. Marginal posterior distributions (histograms) for M_1 , M_2 , Γ_2 and δ_2 , with the χ^2 best-fit value (vertical line) and its HESSE uncertainty (shaded band) superimposed. The dotted line in the Γ_2 panel marks the upper prior boundary.

Four distinct situations appear. For M_1 the posterior is close to Gaussian and the two methods agree in both central value and width: here the Hessian error is reliable. For M_2 the central values agree to within 5 MeV, but the posterior is strongly asymmetric and its 68 % interval, $+27.9 / -78.4$ MeV, is an order of magnitude wider than the Hessian estimate of ± 6.6 MeV. For Γ_2 the posterior rises monotonically towards the upper prior boundary rather than turning over, indicating that the data do not constrain this width at all within the sampled range, while the χ^2 fit nevertheless returns a finite uncertainty. For δ_2 the posterior is clearly bimodal, whereas the χ^2 fit reports a single mode with a small error of ± 0.29 rad.

5. DISCUSSION

The comparison shows that agreement between the two methods on a best-fit point carries no guarantee of agreement on uncertainties. The Hessian approximation is accurate exactly where its assumptions hold — an isolated, locally quadratic minimum, as for M_1 — and becomes misleading where they do not. Both failure modes observed here are characteristic of interference fits: a parameter that is bounded rather than measured (Γ_2), and a parameter with several equally good solutions (δ_2).

A further practical caution concerns how posteriors are summarized. It is common to quote per-parameter medians as a representative parameter set. For a multimodal posterior this is unsafe: the vector of medians need not lie in any mode. Evaluating the model at the median of each of the eleven parameters gives $\chi^2 = 135.9$, far worse than either fit in Table 1 and worse than many individual posterior samples. Credible intervals should therefore be quoted per parameter, while any single representative parameter vector should be taken from the posterior maximum rather than assembled from marginal medians.

These observations do not favour one method over the other. χ^2 minimization remains the efficient way to locate a best-fit point, and a multi-start scan explores the surface adequately. What the posterior adds is a check on whether the resulting error bars mean what they appear to mean. Since the additional cost here was seconds, that check is inexpensive relative to the risk of publishing an uncertainty that understates the true one by an order of magnitude.

6. CONCLUSION

We have compared χ^2 minimization and Bayesian MCMC sampling on an eleven-parameter, three-resonance fit to the Belle $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$ cross section. The methods agree on the description of the data and on well-constrained parameters, and disagree substantially on the uncertainties of weakly constrained ones, where posteriors are asymmetric, boundary-limited or multimodal. We also find that a multimodal posterior must not be summarized by per-parameter medians. We

recommend that Hessian uncertainties quoted in multi-resonance interference fits be validated by posterior sampling before publication.

REFERENCES:

- [1] James F., Roos M. MINUIT — a system for function minimization and analysis of the parameter errors and correlations // Comput. Phys. Commun. — 1975. — Vol. 10. — P. 343–367.
- [2] Zhu W. J. et al. (Belle Collaboration). Measurement of the $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$ cross section // Phys. Rev. D. — 2023. — Vol. 107. — P. 012006.
- [3] Lichard P. New narrow resonance in the $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$ data by the Belle collaboration // Phys. Rev. D. — 2023. — Vol. 108. — P. 092005.
- [4] Foreman-Mackey D., Hogg D. W., Lang D., Goodman J. emcee: The MCMC Hammer // Publ. Astron. Soc. Pac. — 2013. — Vol. 125. — P. 306–312.

ГРАДИЕНТНЫЙ МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ В УСЛОВИЯХ ДИСКРЕТНОСТИ ВОДОПОДАЧИ

Худайбердиев Аъзам Турсунович¹, Худайбердиев Абдулазиз Аъзам ўгли²

¹Университет экономики и педагогики, кандидат физико-математических наук, доцент,
Карши 180100, Узбекистан,

e-mail: 4100036@mail.ru

²Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, студент 3 курса
факультета прикладной математики и интеллектуальных технологий, Ташкент, Узбекистан,

e-mail: 4100036@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы разработки методов оптимального распределения водных ресурсов в условиях дискретной водоподачи, характерной для оросительных систем с регулируемыми режимами работы. Предложены математические модели и алгоритмы, учитывающие временную неравномерность подачи воды, ограничения пропускной способности каналов и требования водопользователей. Особое внимание уделено оптимизации графиков водораспределения с целью минимизации потерь и повышения эффективности использования водных ресурсов. Проведен анализ применимости разработанных методов в условиях реальных ирригационных систем. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и управлении водохозяйственными объектами.

Ключевые слова: оптимальное распределение воды, дискретная водоподача, ирригационные системы, математическое моделирование, оптимизация, водные ресурсы.

Annotatsiya. Ushbu maqolada boshqariladigan ish rejimlariga ega bo'lgan sug'orish tizimlarida suv yetkazib berishning diskret xususiyati sharoitida suv resurslarini optimal taqsimlash usullarini ishlab chiqish masalalari ko'rib chiqilgan. Suv berishning vaqt bo'yicha notekisligi, kanallarning suv o'tkazish qobiliyatiga qo'yiladigan cheklovlar hamda suvdan foydalanuvchilarning talablarini hisobga oluvchi matematik modellar va algoritmlar taklif etilgan. Suv resurslaridan foydalanish samaradorligini oshirish va suv yo'qotishlarini minimallashtirish maqsadida suv taqsimoti grafiklarini optimallashtirishga alohida e'tibor qaratilgan. Ishlab chiqilgan usullarning real sug'orish tizimlari sharoitida qo'llanilishi imkoniyatlari tahlil qilingan. Olingan natijalar suv xo'jaligi obyektlarini loyihalash va boshqarish jarayonlarida foydalanilishi mumkin.

Kalit so'zlar: suvni optimal taqsimlash, diskret suv yetkazib berish, sug'orish tizimlari, matematik modellashtirish, optimallashtirish, suv resurslari.

Abstract. This paper addresses the development of methods for optimal water distribution under conditions of discrete water supply, typical for irrigation systems with regulated operational regimes. Mathematical models and algorithms are proposed that take into account temporal irregularity of water delivery, channel capacity constraints, and water user requirements. Special attention is given to optimizing water distribution schedules in order to minimize losses and improve water use efficiency. The applicability of the proposed methods in real irrigation systems is analyzed. The obtained results can be applied in the design and management of water management systems.

Keywords: optimal water distribution, discrete water supply, irrigation systems, mathematical modeling, optimization, water resources.

ВВЕДЕНИЕ

Оптимальное распределение воды в ирригационных системах в условиях дискретности водоподачи формулируется как задача оптимального управления системами с распределенными параметрами или как задача оптимизации систем с распределенными параметрами [1,2].

Основными методами оптимизации, используемые в данной работе являются методы, основанные на необходимых условиях оптимальности, которые основаны на определении градиента или первого производного по вариации управления рассматриваемого функционала, которыми являются выбранные критерии оптимальности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ниже проанализируем методы, использующие необходимые условия оптимальности для задач оптимального распределения воды в ирригационных системах в условиях дискретности водоподачи.

Градиентный метод минимизации применяется для приближенного решения задачи:

$$I(u_m(t)) \rightarrow \min; \quad u_m(t) \in H, \quad (1)$$

где H – гильбертово пространство основано на построении минимизирующей последовательности, которую можно записать в виде

$$u_{m+1}(t) = u_m(t) - \alpha_m I'(u_m(t)), \quad t_0 \leq t \leq T, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

где $u_0(t)$ – некоторое заданное начальное значение управляющего воздействия, α_m – положительная величина, I' – градиент функционала, рассчитанный по известному значению $u_m(t)$. Если $I'(u_m(t)) \neq 0$, то α_m можно выбрать так, чтобы $I(u_{m+1}(t)) < I(u_m(t))$.

Из условия дважды дифференцируемости критерия оптимальности, имеем

$$I(u_{m+1}(t)) - I(u_m(t)) = \alpha_m (-\|I'(u_m(t))\|^2 + o(\alpha_m)) < 0 \quad (3)$$

При всех достаточно малых $\alpha_m > 0$, если $I'(u_m(t)) \neq 0$, то процесс (2) прекращается при удовлетворении заданной точности задачи и при необходимости проводится дополнительные исследования поведения функции в окрестности управления $u_m(t)$ для выяснения того, будет ли $u_m(t)$ принадлежать к оптимальному управлению или нет. Так как, для задач оптимального распределения воды в ирригационных системах в условиях дискретности водоподачи все критерии оптимальности являются выпуклыми функциями, поэтому полученные управления являются близкими к оптимальному управлению [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Существует различные способы выбора величины α_m . Перечислим некоторые из них:

- 1) α_m выбирается из условия:

$$f_m(\alpha_m) = \inf_{\alpha_m} f_m(\alpha_m) = f_{m*}, \quad f_m(\alpha_m) = I(u_m(t) - \alpha_m I'(u_m(t))), \quad (4)$$

этот вариант градиентного метода принято называть *методом наискорейшего спуска*.

Точное определение величины α_m из (4) не всегда возможно, поэтому на практике вместо (4) пользуются условием:

$$f_{m*} - f_m(\alpha_m) = f_{m*} + \delta_m, \quad \delta_m \rightarrow 0, \quad \delta_m \rightarrow 0, \quad (5)$$

или

$$f_{m*} - f_m(\alpha_m) = (1 - \lambda_m) f_m(0) + \lambda_m f_{m*}, \quad 0 < \lambda_m < 1, \quad (6)$$

Величины λ_m, δ_m здесь характеризуют погрешность выполнения условия (4).

2) полагают $\alpha_m = \alpha > 0$, затем проверяют условие монотонности $I(u_{m+1}) < I(u_m)$ и, при необходимости, дробят величину α , добиваясь выполнения условия монотонности.

3) иногда α_m определяют из условий

$$0 < \varepsilon_0 - \alpha_m \leq 2/(L + 2\varepsilon), \quad (7)$$

где L – константа Липшица; $\varepsilon, \varepsilon_m$ – положительные числа, являющиеся параметрами метода.

4) возможен выбор α_m из условия

$$I(u_m) - I(u_m - \alpha_m I'(u_m)) \leq \varepsilon \alpha_m \|I'(u_m)\|^2, \quad \varepsilon < 0, \quad (8)$$

для определения такого α_m обычно задают $\alpha_m = \alpha$ и затем его дробят до тех пор, пока не выполнится выписанное неравенство.

5) возможно априорное задание величин α_m из условий

$$\bar{\alpha}_m > 0, \quad m = 0, 1, 2, \dots, \quad \bar{\alpha}_m = 0, \quad \bar{\alpha}_m^2 < \quad (9)$$

Например, можно принять $\alpha_m = c(k+1)^{-b}$, $c = \text{const} > 0$, $1/2 < b < 1$. Такой выбор α_m прост для реализации, но не гарантирует условия выполнения монотонности и сходится медленно.

6) в тех случаях, когда заранее известна величина $I_* = \inf I(u_m) > -\infty$, можно принять

$$I_* = \inf I(u_m) > -\infty, \quad \alpha_m = (I(u_m(t)) - I_*) / \|I'(u_m(t))\|^2, \quad (10)$$

На практике итерационных методов итерации продолжают до тех пор, пока не выполнится какой-либо условия, т.е. критерий окончания счета [4,5]. Здесь возможно использование таких критериев окончания счета как

$$\|u_m(t) - u_{m+1}(t)\| \leq \varepsilon, \quad \|I(u_m(t)) - I(u_{m+1}(t))\| \leq \delta, \quad \|I'(u_m(t))\| \leq \gamma, \quad (11)$$

где $\varepsilon, \delta, \gamma$ – заданные числа. Иногда задают число итераций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный градиентный метод и различные способы выбора величины шага позволяют строить минимизирующую последовательность управлений для задач оптимального распределения воды в ирригационных системах в условиях дискретности водоподачи. Поскольку критерии оптимальности в данных задачах являются выпуклыми функционалами, получаемые управления близки к оптимальному. Выбор конкретного способа определения шага и критерия окончания счёта следует осуществлять с учётом требуемой точности решения и вычислительных затрат.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Seytov, A., Abdurakhmanov, O., Kakhkhorov, A., Karimov, D., Abduraimov, D. Modeling of two-dimensional unsteady water of movement in open channels. E3S Web of Conferences, 2024, 486, 01023.
- [2] Turaev, R., Seytov, A., Kuldasheva, S., Nortojiev, U. Algorithms for calculating limits in water management in irrigation systems. E3S Web of Conferences, 2023, 401, 02016.
- [3] Aybek Seytov; Lyudmila Varlamova; Azam Khudayberdiev; Niyetbay Uteuliev; Sherzod Yadgarov; Dauletyar Seytimbetov. Usage of finite element method for modeling twodimensional unsteady water movement in open channels. AIP Conf. Proc. 3147, 030034 (2024). <https://doi.org/10.1063/5.0210332>.
- [4] Aybek Seytov; Azimjon Khusanov; Azam Khudayberdiev; Niyetbay Uteuliev; Sherzod Yadgarov; Dauletyar Seytimbetov. Development of algorithms for modelling water management processes on main canals. AIP Conf. Proc. 3147, 030032 (2024). <https://doi.org/10.1063/5.0210329>.
- [5] Aybek Seytov; Azimjon Khusanov; Azam Khudayberdiev; Niyetbay Uteuliev; Sherzod Yadgarov; Dauletyar Seytimbetov; Otabek Ergashev; Olim Abduraxmanov. Development of algorithms for solving problems of optimisation of water resource management in irrigation systems. AIP Conf. Proc. 3147, 030033 (2024). <https://doi.org/10.1063/5.0210330>

РАДОН И ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

Худайбердиев Аъзам Турсунович

Университет экономики и педагогики, кандидат физико-математических наук, доцент,
Карши 180100, Узбекистан,

e-mail: 4100036@mail.ru

***Аннотация.** В данной статье рассматривается проблема воздействия радона на организм человека и его связь с развитием онкологических заболеваний. Радон является природным радиоактивным газом, образующимся в результате распада урана и радия в земной коре, и представляет собой один из основных источников ионизирующего излучения для населения. Особое внимание уделено механизмам радиобиологического воздействия радона и его дочерних продуктов распада на ткани лёгких, а также анализу эпидемиологических исследований, подтверждающих повышение риска рака лёгких при длительном воздействии повышенных концентраций радона в жилых и производственных помещениях. В статье рассмотрены международные и национальные нормативы по допустимым уровням радона, методы мониторинга и способы снижения его концентрации в зданиях. Полученные данные подчеркивают необходимость систематического радиационного контроля и разработки профилактических мер, направленных на снижение онкологических рисков, связанных с воздействием радона.*

***Ключевые слова:** радон, ионизирующее излучение, рак лёгких, онкологические риски, радиационная безопасность, радиационный мониторинг, эпидемиология.*

Annotatsiya. Ushbu maqolada radonning inson organizmiga ta'siri va uning saraton kasalligi rivojlanishi bilan bog'liqligi o'rganiladi. Radon Yer qobig'ida uran va radiumning parchalanishi natijasida hosil bo'lgan tabiiy radioaktiv gaz bo'lib, aholi uchun ionlashtiruvchi nurlanishning asosiy manbalaridan biridir. Radon va uning avlodlarining o'pka to'qimalariga radiobiologik ta'sir mexanizmlariga, shuningdek, turar-joy va sanoat sharoitlarida radonning yuqori konsentratsiyasiga uzoq vaqt ta'sir qilish bilan o'pka saratoni xavfining oshishini tasdiqlovchi epidemiologik tadqiqotlar tahliliga alohida e'tibor qaratilgan. Maqolada ruxsat etilgan radon darajasi bo'yicha xalqaro va milliy standartlar, monitoring usullari va binolarda uning konsentratsiyasini kamaytirish usullari ko'rib chiqiladi. Olingan ma'lumotlar tizimli radiatsiya monitoringi va radon ta'siri bilan bog'liq saraton xavfini kamaytirishga qaratilgan profilaktika choralarini ishlab chiqish zarurligini ta'kidlaydi.

Kalit so'zlar: radon, ionlashtiruvchi nurlanish, o'pka saratoni, saraton xavfi, radiatsiya xavfsizligi, radiatsiya monitoringi, epidemiologiya.

Abstract. This article examines the impact of radon on the human body and its relationship with the development of cancer. Radon is a naturally occurring radioactive gas formed by the decay of uranium and radium in the Earth's crust and is one of the main sources of ionizing radiation for the population. Particular attention is paid to the mechanisms of the radiobiological effects of radon and its progeny on lung tissue, as well as an analysis of epidemiological studies confirming an increased risk of lung cancer with long-term exposure to elevated radon concentrations in residential and industrial settings. The article examines international and national standards for permissible radon levels, monitoring methods, and ways to reduce its concentration in buildings. The data obtained highlight the need for systematic radiation monitoring and the development of preventive measures aimed at reducing the cancer risks associated with radon exposure.

Keywords: radon, ionizing radiation, lung cancer, cancer risks, radiation safety, radiation monitoring, epidemiology.

ВВЕДЕНИЕ

Число случаев рака легких в общей популяции оценивались от 3 до 14%, в зависимости от средней концентрации радона. Поскольку многие люди подвержены воздействию низких и средних концентраций радона, большинство случаев рака легких, связанных с радоном, вызваны именно этими уровнями облучения, а не облучениями более высоких концентраций.

Последние эпидемиологические исследования убедительно доказали повышение риска развития рака легких при длительном воздействии в течение нескольких лет радона и продуктов его распада, содержащихся в воздухе жилых помещений [1].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа выполнена на основе аналитического обзора результатов эпидемиологических исследований, рекомендаций Всемирной организации здравоохранения и научных публикаций по методам измерения концентрации радона в воздухе помещений [1–10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Обобщенный анализ основных исследований, проведенных в Китае, Европе и Северной Америке подтвердил, что радон в домах в значительной степени способствует развитию рака легких во всем мире. На основе этих исследований Международное агентство по изучению рака (IARC) и Национальная токсикологическая программа США классифицировали радон как человеческий канцероген. В последнее время в ряде литературных источников указывается на возможную связь между заболеванием лейкемией и радоном [2].

Результаты исследований взаимосвязи рака легких и содержания радона в домах, выполненных во многих странах, позволяют существенно улучшить оценку рисков.

Согласованность выводов последних европейских и североамериканских исследований четко указывает на необходимость принятия глобальных мер [3]. Анализ основных европейских исследований показал, что риск развития рака легких возрастает на 16% при увеличении концентрации радона на 100 Бк/м³ [3]. Соотношение доза-эффект представляется линейным и не имеющим пороговой величины, что означает, что риск развития рака легких возрастает прямо пропорционально возрастанию воздействия радона. Кроме того, новые результаты показывают, что если порог существует, то он не должен быть выше, чем 150 Бк/м³. На основе этих результатов, а также учитывая, что среднее по 29 европейским странам значение объемной активности радона в воздухе помещений оценивается в 59 Бк/м³, 9% смертей от рака легких в год в Европе связано с воздействием радона внутри помещений. Совместные исследования подтверждают величину оценки рисков.

В целях снижения уровня заболеваний, связанных с радоном, важно, чтобы национальные органы использовали методы и инструменты, основанные на достоверных научных данных. Проведение исследований и получение данных по содержанию радона в жилых помещениях может помочь оценить уровень ожидаемых рисков. Большинство стран приняли национальные программы по радону для выявления зон его высокой концентрации и предоставляют информацию для общественности. С целью снижения воздействия на население радона внутри помещений и соответствующих рисков разработаны международные и национальные правила / рекомендации регулярно обновляемые на основе последних эпидемиологических данных, например руководство ВОЗ [4].

Методы и техника мониторинга радона. Несмотря на то, что основным источником радона является почва, оценка содержания радона в воздухе помещений на основе измеренных характеристик почвы не представляется возможным из-за неудовлетворительной корреляции между объемной активностью радона внутри помещений и такими параметрами почвы как содержание радия, МЭД, ППР [5]. В связи с этим используются прямые методы измерения концентрации радона в воздухе помещений.

Для определения среднегодовой концентрации радона в помещениях и проведения эпидемиологических исследований с целью установления рисков возникновения онкологических заболеваний оптимальным является экспозиция мониторов в течении 12 месяцев или последовательных 3 или 6 месяцев в течении года. Необходимым условием для обследования большого количества жилищ в национальном или региональном масштабе является применение методов измерения концентрации радона отвечающие следующим основным требованиям:

- период экспозиции от 3 до 12 месяцев;
- низкая стоимость;
- малый размер измерительного прибора.

Базовые методы.

Пассивный метод на основе твердотельных ядерных трековых детекторов (solid state nuclear track detectors - SSNTD) соответствует всем вышеуказанным требованиям и активно используется в исследованиях [6]. Образование треков в этих детекторах происходит под действием альфа частиц испускаемых при распаде радона и его ДПР [7]. Нижний предел обнаружения (LLD) для этой методики при 3-месячной экспозиции составляет 5-10 Бк/м³.

Электретный метод, основанный на изменении заряда электрода под действием ионизации воздуха альфа частицами в ионизационной камере (EIC), также обладает возможностью длительных периодов экспозиции и имеет небольшой размер устройства. Однако в отличие от трековых детекторов электреты чувствительны к гамма-излучению и требуют отдельного определения дозы гамма-излучения для точного измерения концентрации радона.

Дополнительные методы.

Пассивные методы, основанные на краткосрочной экспозиции мониторов радона в течении 2-7 дней (угольные фильтры, электреты) широко используются в некоторых странах (включая США) для мониторинга и быстрой идентификации жилищ с потенциально высоким содержанием радона [8]. В любом случае рекомендуется подтверждение результатов исследования с применением методов долгосрочной экспозиции в связи с неопределенностью оценки среднегодовой концентрации радона на основе данных, полученных при краткосрочной экспозиции [9].

Активные методы, использующие прокачку воздуха через измерительные устройства, могут применяться при непрерывной экспозиции в течении относительно долгого времени. Однако используемые приборы дорогие и имеют большие размеры, что ограничивает возможность их применения для масштабных исследований и, в связи с этим, они, как правило, применяются для калибровки и контроля качества измерений других методов [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эпидемиологические исследования, проведённые в Европе, Северной Америке и Китае, подтверждают, что длительное воздействие радона и его дочерних продуктов распада в жилых помещениях повышает риск развития рака лёгких, причём зависимость «доза–эффект» носит линейный беспороговый характер. Для оценки среднегодовой концентрации радона при массовых обследованиях наиболее приемлемы пассивные методы долгосрочной экспозиции на основе трековых детекторов, тогда как краткосрочные и активные методы целесообразно использовать для скрининга и калибровки. Систематический радоновый мониторинг и реализация национальных программ по радону являются необходимыми условиями снижения онкологических рисков населения.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Krewski, D., et al., A combined analysis of North American case-control studies of residential radon and lung cancer, *J. Toxicol. Environ. Health A* 69 (7-8) (2006) 533–597.
- [2] Olshan A.F. Commentary Are “further studies” really needed? If so, which ones? *Epidemiology*, 2008, 19(4):545-6.
- [3] Darby S et al. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *British Medical Journal*, 2005, 330(7485):223.
- [4] WHO, 2009. World Health Organisation (WHO). WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. WHO Press, Geneva, 2009.
- [5] Levesque, B., et al., Radon in residences: influences of geological and housing factors, *Health Phys.* 72 (1997) 907–914.
- [6] Bochicchio F. Radon epidemiology and nuclear track detectors: methods, results and perspectives, *Radiat. Meas.* 40 (2005) 177–190.
- [7] Nikezić, D., Yu, K.N., Formation and growth of tracks in nuclear track materials, *Materials Science and Engineering R* 46 (2004) 51–123.
- [8] Ibrahimi, Z.F., Miles, J.C.H., An etched track detector for short-term screening measurements of radon, *J. Radiol. Prot.* 29 (2009) 139–146.
- [9] U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. A citizen’s guide to radon: the guide to protecting yourself and your family from radon (2005) (available for download at www.epa.gov/radon/pubs/citguide.html).
- [10] GEORGE, A.C., BREDHOFF, N., Current state of the art in measuring environmental radon, *Proceedings of the 2011 International AARST Symposium, Orlando, Florida, Oct. 16th–19th* (2011) 36–44 (available for download at www.aarst.org/radon_research_papers.shtml).

KOBB-DUGLAS ISHLAB CHIQARISH FUNKSIYASI VA UNING TATBIQLARI

Djurayev N.¹, Bekmurodov B.R.²

¹Qarshi davlat texnika universiteti, dotsent, Qarshi 180100, O'zbekiston,

²Qarshi davlat texnika universiteti, assistent, Qarshi 180100, O'zbekiston,

Annotatsiya. Maqolada Kobb-Duglas ishlab chiqarish funksiyasining nazariy asoslari, parametrlarining iqtisodiy mazmuni va baholash usullari yoritiladi. Kapital va mehnat elastikliklari, masshtab samarasi hamda yalpi omilli unumdorlik tahlil qilinadi. Raqamli kapital, inson kapitali va energiya samaradorligini hisobga olish imkoniyatlari muhokama etilib, O'zbekiston uchun tatbiq yo'nalishlari taklif qilinadi. Shartli simulyatsiya omillar o'zgarishining ishlab chiqarishga ta'sirini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: Kobb-Duglas funksiyasi, kapital, mehnat, elastiklik, masshtab samarasi, yalpi omilli unumdorlik, raqamli kapital.

Аннотация. Рассмотрены теоретические основы функции Кобба–Дугласа, экономический смысл параметров и методы оценивания. Раскрыты эластичности выпуска, отдача от масштаба и совокупная факторная производительность. Обсуждается учет цифрового и человеческого капитала, а также энергоэффективности. Предложены направления применения модели в Узбекистане. Условная симуляция показывает влияние изменения факторов на выпуск.

Ключевые слова: функция Кобба–Дугласа, капитал, труд, эластичность, отдача от масштаба, совокупная факторная производительность.

Abstract. The article examines the theoretical foundations, parameter interpretation and estimation of the Cobb-Douglas production function. It discusses output elasticities, returns to scale and total factor productivity, alongside extensions incorporating digital capital, human capital and energy efficiency. Applications to Uzbekistan are outlined. An illustrative simulation demonstrates how changes in inputs affect output; the results are not empirical estimates or forecasts.

Keywords: Cobb-Douglas function, capital, labour, elasticity, returns to scale, total factor productivity, digital capital.

KIRISH

Kobb-Duglas funksiyasi ishlab chiqarish hajmini kapital va mehnat bilan bog'lovchi bazaviy modeldir [1]. Uning parametrlarini elastiklik sifatida talqin qilish va modelni logarifmlash orqali baholash mumkin. Tadqiqotning maqsadi funksiyaning matematik mazmunini ochib berish, amaliy hisoblash imkoniyatlarini ko'rsatish va raqamli iqtisodiyot sharoitida qo'llash chegaralarini aniqlashdan iborat. Ish nazariy tahlil va shartli indeksli hisoblashga asoslanadi.

MATERIALLAR VA USULLAR

Kobb-Duglas funksiyasining nazariy asoslari.

Klassik ikki omilli ishlab chiqarish funksiyasi quyidagicha ifodalanadi [1]:

$$Y = A \cdot K^{\alpha} \cdot L^{\beta}, \quad A > 0, K > 0, L > 0. \quad (1)$$

Bu yerda Y — real ishlab chiqarish hajmi yoki qo'shilgan qiymat; K — kapital zaxirasi yoki kapital xizmatlari; L — mehnat sarfi; A — texnologik va tashkiliy samaradorlikni umumlashtiruvchi koeffitsient. α va β mos ravishda kapital hamda mehnat bo'yicha ishlab chiqarish elastikliklaridir. Boshqa shartlar o'zgarmaganda kapitalning 1 foizga oshishi mahsulot hajmini taxminan α foizga, mehnatning 1 foizga oshishi esa β foizga oshiradi.

Funksiyaning bir jinslilik darajasi $\alpha + \beta$ ga teng. Omillar bir xil $t > 0$ koeffitsientga ko'paytirilganda quyidagi munosabat hosil bo'ladi:

$$F(tK, tL) = t^{\alpha+\beta}F(K, L). \quad (2)$$

$\alpha + \beta = 1$ bo'lganda doimiy, $\alpha + \beta > 1$ bo'lganda o'suvchi, $\alpha + \beta < 1$ bo'lganda kamayuvchi masshtab samarasi kuzatiladi. Doimiy masshtab samarasida kapital va mehnatning bir vaqtda 10 foizga ortishi ishlab chiqarishni ham 10 foizga oshiradi. Mazkur shartni barcha tarmoqlar uchun oldindan qabul qilish o'rniga empirik tekshirish zarur.

Omillarning chegaraviy mahsuldorligi funksiyaning xususiy hosilalari orqali aniqlanadi:

$$MP_k = \partial Y / \partial K = \alpha Y / K; \quad MP_L = \partial Y / \partial L = \beta Y / L. \quad (3)$$

$0 < \alpha < 1$ va $0 < \beta < 1$ bo'lsa, boshqa omil o'zgarmagan sharoitda har bir omilning chegaraviy mahsuldorligi kamayadi. Bu xususiyat masshtab samarasidan farq qiladi: birinchisi bitta omil o'zgarishini, ikkinchisi esa barcha ishlab chiqarish omillarining mutanosib o'zgarishini ifodalaydi.

Izokvanta bo'ylab mehnatning kapital o'rnini bosish chegaraviy texnik normasi $MP_L / MP_k = (\beta / \alpha)(K / L)$ ga teng. Kobb-Duglas shaklida kapital va mehnat o'rtasidagi o'rinbosarlik elastikligi birga teng. Ushbu cheklov real texnologiyaga mos kelmasa, CES yoki translog funksiyasi bilan taqqoslash talab etiladi [3].

α va β ni daromaddagi kapital va mehnat ulushlari sifatida talqin qilish esa qo'shimcha shartlarni, jumladan, raqobatli omil bozorlari va omillarga chegaraviy mahsulotiga muvofiq haq to'lanishini talab qiladi. Elastiklikning o'zi bu shartlarning bajarilganini anglatmaydi.

Modelni baholash va kengaytirish metodologiyasi.

Multiplikativ tasodifiy xatolik $\exp(u_t)$ kiritilib, (1) tenglama tabiiy logarifmlanganda quyidagi regressiya hosil bo'ladi:

$$\ln Y_t = c + \alpha \ln K_t + \beta \ln L_t + u_t, \quad c = \ln A. \quad (4)$$

Eng kichik kvadratlar usuli boshlang'ich bahoni beradi. Biroq firmalar kapital va mehnat hajmini o'z unumdorligi haqidagi ma'lumotga qarab tanlashi mumkin. Omillar bilan xatolikning korrelyatsiyasi endogenlikni keltirib chiqaradi. Bunday vaziyatda instrumental o'zgaruvchilar yoki nazorat funksiyasi usullari qo'llanadi [5; 6; 7]. Usul tanlovi ma'lumot tuzilishi va identifikatsiya shartlariga asoslanishi kerak.

Baholashdan oldin nominal ishlab chiqarish va kapital ko'rsatkichlari mos deflyatorlar bilan real qiymatga keltiriladi. Investitsiya oqimini kapital zaxirasi bilan tenglashtirish mumkin emas. Kapitalning boshlang'ich zaxirasi va eskirish normasi mavjud bo'lsa, $K_t = (1 - d)K_{t-1} + I_t$ orqali zaxira hisoblanadi; bu yerda d — eskirish normasi, I_t — real investitsiya. Mehnat sarfini imkon qadar ishlangan soatlar va malaka bo'yicha aniqlashtirish lozim.

Vaqt qatorlari uchun statsionarlik va kointegratsiya, qoldiqlarda avtokorrelyatsiya hamda strukturaviy uzilishlar tekshiriladi. Panel ma'lumotlarida tarmoq yoki korxonalarning kuzatilmagan xususiyatlari hisobga olinadi. Standart xatolar ma'lumotlardagi geteroskedastiklik va guruh ichidagi bog'liqlikka mos baholanishi zarur.

Doimiy elastikliklar farazida iqtisodiy o'sish omillar hissasiga ajratiladi [2]:

$$\Delta \ln Y \approx \Delta \ln A + \alpha \Delta \ln K + \beta \Delta \ln L. \quad (5)$$

$A = Y / (K^\alpha L^\beta)$ qoldig'i yalpi omilli unumdorlikni ifodalaydi. Uni faqat texnologik taraqqiyot deb talqin qilish to'liq emas: qoldiqda boshqaruv, quvvatlardan foydalanish, omillar sifati va o'lchash xatolari ham aks etadi [4].

Raqamli va yashil iqtisodiyot uchun konseptual kengaytma quyidagicha yozilishi mumkin:

$$Y = A \cdot K^\alpha \cdot L^\beta \cdot H^\gamma \cdot D^\delta \cdot E^\theta \cdot \exp(-\lambda C). \quad (6)$$

H — inson kapitali, D — raqamli kapital, E — energiya samaradorligi indeksi, C — ekologik cheklov yoki zarar ko'rsatkichi. Bu taklif empirik tasdiqlangan natija emas. H mehnat sifatiga avval kiritilgan bo'lsa, uni takroran hisoblashdan saqlanish kerak. E samaradorlik indeksi bo'lgani uchun darajalar yig'indisini jismoniy omillarning masshtab samarasi deb bevosita talqin qilib bo'lmaydi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

O'zbekiston uchun modelni milliy, tarmoq-hududiy va korxona darajalarida qo'llash mumkin. Milliy tahlil o'sishni kapital, mehnat va unumdorlik hissalariga ajratadi. Panel tahlili tarmoqlar o'rtasidagi texnologik tafovutlarni hisobga olishga, korxona ma'lumotlari esa raqamlashtirish va boshqaruv bilan unumdorlik o'rtasidagi bog'liqlikni tekshirishga xizmat qiladi.

Amaliy tadqiqotda avval taqqoslanuvchi real Y, K va L qatorlari asosida bazaviy model baholanadi. Keyin ma'lumot mavjudligiga qarab inson kapitali, raqamli aktivlar va energiya samaradorligi qo'shiladi. Kengaytma koeffitsientlarining mazmuni, barqarorligi va tanlanmadan tashqari prognoz xatosi bo'yicha tekshiriladi. Qisqa yillik qatarga ko'p parametr kiritish baholash aniqligini pasaytirishi mumkin.

Elastikliklar mazmunini ko'rsatish uchun $A = 1$, $\alpha = 0,4$, $\beta = 0,6$ va $K = L = 100$ deb olinadi. Natijada $Y = 100$. Kapital 10 foizga oshganda ishlab chiqarish $1,1^{0,4} \approx 1,0389$ marta, ya'ni 3,9 foizga; mehnat 10 foizga oshganda $1,1^{0,6} \approx 1,0589$ marta, ya'ni 5,9 foizga ortadi. Ikkala omil bir vaqtda 10 foizga oshsa, Y ham 10 foizga ko'payadi.

Kengaytirilgan shartli hisoblash uchun barcha ko'rsatkichlar bazaviy davrda 100 ga teng normallashtiriladi:

$$Y/100 = (K/100)^{0,35} \cdot (L/100)^{0,50} \cdot (D/100)^{0,10} \cdot (E/100)^{0,05}. \quad (7)$$

1-jadval.

Kengaytirilgan model bo'yicha shartli hisoblash

Ssenariy	K	L	D	E	Y indeksi
Bazaviy holat	100	100	100	100	100,0
Faqat K +10%	110	100	100	100	103,4
Faqat L +5%	100	105	100	100	102,5
Faqat D +20%	100	100	120	100	101,8
Faqat E +15%	100	100	100	115	100,7
Barcha o'zgarishlar	110	105	120	115	108,7

Manba: maqoladagi shartli parametrlar asosida hisoblangan; natijalar bir o'nlikkacha yaxlitlangan.

K 10 foiz, L 5 foiz, D 20 foiz va E 15 foiz oshganda Y indeksi 108,7 ga teng bo'ladi. Ushbu 8,7 foizlik o'sish statistik baho yoki O'zbekiston uchun prognoz emas; u tanlangan koeffitsientlar ostidagi multiplikativ ta'sirni ifodalaydi. Amaliy xulosa chiqarish uchun elastikliklarni real ma'lumotlar asosida baholash talab etiladi.

Kobb-Duglas funksiyasining asosiy afzalligi — ishlab chiqarish omillari ta'sirini iqtisodiy mazmuni aniq parametrlar orqali ifodalashidir. Model omillar hissasini ajratish, chegaraviy mahsuldorlikni hisoblash va shartli ssenariylarni taqqoslash uchun qulay. Shu bilan birga, uning soddaligi barcha ishlab chiqarish jarayonlarini to'liq aks ettirishini anglatmaydi.

Natijalarni talqin qilishda uchta cheklov muhim. Birinchidan, kapital va mehnatning o'rinbosarlik elastikligi birga tengligi texnologik xilma-xillikni cheklaydi. Ikkinchidan, kapital va mehnat sifati yetarlicha o'lganmasa, farqlar unumdorlik qoldig'iga o'tadi. Uchinchidan, endogenlik tufayli regressiyadagi bog'liqlikni sababiy ta'sir deb qabul qilish mumkin emas. Muqobil funksional shakllar va barqarorlik tekshiruvlari xulosalarning ishonchligini oshiradi.

XULOSA

Raqamli kapital va inson kapitalini hisobga olish bazaviy modelning tushuntirish imkoniyatini kengaytiradi. Biroq omillarning ta'riflari bir-birini takrorlamasligi, energiya samaradorligi kabi indekslar resurs hajmidan ajratilishi kerak. Ekologik ko'rsatkichni qo'shishning o'zi modelni farovonlik yoki yashil unumdorlikning to'liq o'lganligiga aylantirmaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Cobb C. W., Douglas P. H. A Theory of Production // American Economic Review. 1928. Vol. 18, No. 1. P. 139–165.

[2] Solow R. M. Technical Change and the Aggregate Production Function // Review of Economics and Statistics. 1957. Vol. 39, No. 3. P. 312–320.

[3] Arrow K. J., Chenery H. B., Minhas B. S., Solow R. M. Capital-Labor Substitution and Economic Efficiency // Review of Economics and Statistics. 1961. Vol. 43, No. 3. P. 225–250.

[4] Hulten C. R. Total Factor Productivity: A Short Biography // New Developments in Productivity Analysis. University of Chicago Press, 2001.

[5] Olley G. S., Pakes A. The Dynamics of Productivity in the Telecommunications Equipment Industry // Econometrica. 1996. Vol. 64, No. 6. P. 1263–1297.

[6] Levinsohn J., Petrin A. Estimating Production Functions Using Inputs to Control for Unobservables // Review of Economic Studies. 2003. Vol. 70, No. 2. P. 317–341.

[7] Akerberg D. A., Caves K., Frazer G. Identification Properties of Recent Production Function Estimators // Econometrica. 2015. Vol. 83, No. 6. P. 2411–2451.

MODDIY NUQTANING TO'G'RI CHIZIQLI HARAKATINI MATEMATIK MODELLASHTIRISH VA UNING KINEMATIK XUSUSIYATLARI

Jamolov Madamin Xabibulla o'g'li

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi 180100, O'zbekiston,

e-mail: jamolovmadamin7@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada nazariy mexanikaning kinematika bo'limida moddiy nuqtaning to'g'ri chiziqli harakati o'rganiladi. Koordinata, trayektoriya, yo'l, ko'chish, tezlik va tezlanish kabi asosiy kinematik kattaliklarning o'zaro bog'lanishi tahlil qilinadi. Tekis va tekis o'zgaruvchan harakatlarning matematik modellari differensial va integral hisob yordamida keltirib chiqariladi. Shuningdek, kinematik masalalarni differensial tenglamalar va matematik modelashtirish orqali yechish usullari ko'rib chiqiladi.

Kalit so'zlar: nazariy mexanika, kinematika, moddiy nuqta, to'g'ri chiziqli harakat, tezlik, tezlanish, harakat tenglamasi, differensial tenglama, matematik modelashtirish.

Аннотация. В статье рассматривается прямолинейное движение материальной точки в рамках кинематики теоретической механики. Анализируется взаимосвязь основных кинематических величин: координаты, траектории, пути, перемещения, скорости и ускорения. С помощью дифференциального и интегрального исчисления выводятся математические модели равномерного и равнопеременного движения. Рассматриваются также методы решения кинематических задач с использованием дифференциальных уравнений и математического моделирования.

Ключевые слова: теоретическая механика, кинематика, материальная точка, прямолинейное движение, скорость, ускорение, уравнение движения, дифференциальное уравнение, математическое моделирование.

Abstract. The article studies the rectilinear motion of a material point within the kinematics section of theoretical mechanics. The relationships between position, trajectory, path, displacement, velocity and acceleration are analyzed. Mathematical models of uniform and uniformly accelerated motion are derived using differential and integral calculus. Methods of solving kinematic problems by means of differential equations and mathematical modeling are also considered.

Keywords: theoretical mechanics, kinematics, material point, rectilinear motion, velocity, acceleration, equation of motion, differential equation, mathematical modeling.

KIRISH

Mexanika tabiatdagi jismlarning mexanik harakatini va ularning o'zaro ta'sirini o'rganuvchi fundamental fanlardan biridir. Mexanika qonunlari fizika, matematika, muhandislik, astronomiya va texnikaning ko'plab sohalari uchun nazariy asos bo'lib xizmat qiladi [1; 3; 7].

Nazariy mexanika mexanik hodisalarni matematik jihatdan izchil va umumlashgan holda o'rganadi. Uning asosiy bo'limlari statika, kinematika va dinamikadan iborat: statikada jismlarning muvozanati, kinematikada harakat uning sabablarini hisobga olmagan holda, dinamikada esa harakatni yuzaga keltiruvchi sabablar o'rganiladi [1; 5].

Kinematikaning asosiy vazifasi jism harakatini matematik jihatdan tavsiflashdan iborat bo'lib, bunda jismning massasi va unga ta'sir etuvchi kuchlar hisobga olinmaydi. Harakatni tavsiflash uchun jismning fazodagi holati, uning vaqt davomida o'zgarishi, tezligi va tezlanishi aniqlanadi.

Mexanik masalalarni soddalashtirish maqsadida real jismlar matematik modellar bilan almashtiriladi. Shunday modellardan biri moddiy nuqta modelidir: agar jismning geometrik o'lchamlari qaralayotgan masala uchun ahamiyatsiz bo'lsa, uni moddiy nuqta deb qarash mumkin. Masalan, avtomobilning ikki shahar orasidagi harakatini o'rganishda uning o'lchamlari hisobga olinmaydi. Moddiy nuqta modeli mexanik jarayonlarni matematik tenglamalar orqali ifodalash imkonini beradi [6; 8; 9].

Maqolaning maqsadi – moddiy nuqtaning to'g'ri chiziqli harakatini matematik jihatdan tahlil qilish, asosiy kinematik tenglamalarni keltirib chiqarish va ularning mexanik masalalarni yechishdagi ahamiyatini ko'rsatishdan iborat.

MATERIALLAR VA USULLAR

Tadqiqotda nazariy mexanika va matematik analizning differensial hamda integral hisob usullaridan, shuningdek, kinematik kattaliklarni analitik va grafik tahlil qilish usullaridan foydalanildi [1; 3; 4].

Moddiy nuqta harakatining matematik modeli.

Moddiy nuqtaning fazodagi holatini aniqlash uchun koordinatalar sistemasidan foydalaniladi. Dekart koordinatalar sistemasida nuqtaning holati radius-vektor orqali aniqlanadi [1]:

$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}, \quad (1)$$

bu yerda $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ – nuqtaning vaqtga bog'liq koordinatalari; $\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$ – koordinata o'qlarining birlik vektorlari. Demak, moddiy nuqtaning harakati uning koordinatalarining vaqt bo'yicha o'zgarishidan iborat:

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t). \quad (2)$$

Ushbu (2) tenglamalar moddiy nuqta harakatining parametrik tenglamalari deyiladi. Agar nuqta faqat bitta koordinata o'qi bo'ylab, masalan, Ox o'qi bo'ylab harakatlansa, masala bir o'lchovli holga keltiriladi va harakatni tavsiflash uchun bitta

$$x=x(t) \quad (3)$$

tenglama yetarli bo'ladi. Shu sababli to'g'ri chiziqli harakat mexanik jarayonlarni matematik modellashtirishning eng sodda, ammo fundamental holatlaridan biri hisoblanadi.

Trayektoriya, yo'l va ko'chish.

Moddiy nuqtaning harakat davomida fazoda egallagan holatlarining geometrik o'rni trayektoriya deyiladi. Trayektoriya shakliga ko'ra harakat to'g'ri chiziqli va egri chiziqli harakatlarga ajratiladi: birinchisida trayektoriya to'g'ri chiziqdan, ikkinchisida egri chiziqdan iborat bo'ladi.

Moddiy nuqtaning trayektoriya bo'ylab bosib o'tgan masofasi yo'l deyiladi va s bilan belgilanadi. Ko'chish esa nuqtaning boshlang'ich holatidan oxirgi holatiga yo'nalgan vektordir. To'g'ri chiziqli harakatda ko'chish koordinata o'zgarishi bilan ifodalanadi:

$$\Delta x = x - x_0, \quad (4)$$

bu yerda x_0 – boshlang'ich koordinata, x – oxirgi koordinata. Agar harakat davomida yo'nalish o'zgarmasa, yo'l ko'chish moduliga teng bo'ladi:

$$s = |x - x_0|. \quad (5)$$

Agar jism harakat davomida yo'nalishini o'zgartirsa, yo'l ko'chish modulidan katta bo'ladi.

Tezlik va uning matematik ifodasi.

Moddiy nuqta harakatining asosiy kinematik tavsiflaridan biri tezlikdir. Δt vaqt oralig'idagi o'rtacha tezlik quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$v_{o'r} = \frac{\Delta x}{\Delta t}. \quad (6)$$

Bu kattalik harakatni butun vaqt oralig'ida o'rtacha tarzda tavsiflaydi. Vaqt oralig'i nolga intilganda oniy tezlik hosil bo'ladi va u differensial hisob ta'rifiga ko'ra koordinatadan vaqt bo'yicha olingan birinchi hosilaga teng [1; 2]:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}. \quad (7)$$

Bu (7) munosabat kinematikaning eng muhim formulalaridan biridir. Agar harakat tenglamasi $x=f(t)$ ko'rinishda berilgan bo'lsa, tezlik $v(t)=f'(t)$ kabi aniqlanadi. Masalan, $x(t)=5t^2+2t-3$ (m) bo'lsa, $v(t)=10t+2$ bo'ladi, $t=3$ s paytdagi tezlik esa

$$v(3)=10 \cdot 3 + 2 = 32 \text{ m/s}. \quad (8)$$

Tezlanish tushunchasi.

Moddiy nuqtaning tezligi vaqt davomida o'zgarishi mumkin. Tezlikning vaqt bo'yicha o'zgarish jadalligini ifodalovchi kattalik tezlanish deyiladi. O'rtacha va oniy tezlanishlar quyidagicha aniqlanadi:

$$a_{o'r} = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \quad a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}. \quad (9)$$

Tezlikning (7) ifodasini hisobga olsak, tezlanish koordinatadan vaqt bo'yicha olingan ikkinchi hosilaga teng bo'ladi:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}. \quad (10)$$

Bu natija matematik modellashtirish nuqtayi nazaridan muhim, chunki u uchta kinematik kattalikni yagona differensial bog'lanishga keltiradi: koordinatadan hosila olish orqali tezlik, tezlikdan hosila olish orqali esa tezlanish topiladi:

$$x(t) \quad v(t) \quad a(t). \quad (11)$$

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Tekis to'g'ri chiziqli harakat.

Tezligi o'zgarmas ($v=\text{const}$) bo'lgan harakat tekis harakat deyiladi. Bu holda $a=dv/dt=0$ bo'ladi. Tezlikning (7) ta'rifidan $dx=v dt$ tenglamani hosil qilamiz va uni $x(0)=x_0$ boshlang'ich shart asosida integrallaymiz:

$$\int_{x_0}^x dx = \int_0^t v dt \quad \Rightarrow \quad x(t)=x_0+vt. \quad (12)$$

Olingan (12) ifoda tekis to'g'ri chiziqli harakatning matematik modeli bo'lib, uni mexanikadagi eng sodda differensial tenglamaning yechimi sifatida qarash mumkin.

Tekis o'zgaruvchan harakat.

Agar moddiy nuqtaning tezlanishi o'zgarmas ($a=\text{const}$) bo'lsa, harakat tekis o'zgaruvchan harakat deyiladi. Tezlanishning (10) ta'rifidan $dv/dt=a$ tenglama kelib chiqadi; uni $v(0)=v_0$ shart bilan integrallasak,

$$v=v_0+at. \quad (13)$$

Endi $dx/dt=v_0+at$ tenglamani $x(0)=x_0$ shart bilan integrallaymiz:

$$x=x_0+v_0t+\frac{at^2}{2}. \quad (14)$$

Ushbu (13) va (14) tenglamalar tekis o'zgaruvchan harakatning asosiy tenglamalari hisoblanadi [1; 2]. Ulardan ko'chish uchun

$$\Delta x=x-x_0=v_0t+\frac{at^2}{2} \quad (15)$$

ifoda hosil bo'ladi. Ushbu (13) tenglamadan $t=(v-v_0)/a$ ni topib, (15) ga qo'ysak, vaqt qatnashmagan munosabat kelib chiqadi:

$$v^2-v_0^2=2a\Delta x. \quad (16)$$

Harakat yo'nalishi o'zgarmagan holda (15) va (16) dagi Δx ni bosib o'tilgan yo'l s bilan almashtirish mumkin.

Differensial tenglama orqali harakatni modellashtirish.

Mexanik harakatlarni matematik modellashtirishda differensial tenglamalar alohida ahamiyatga ega [3; 4]. Faraz qilaylik, moddiy nuqtaning tezlanishi vaqtning ma'lum funksiyasi $a=a(t)$ sifatida berilgan bo'lsin. U holda (10) ga asosan

$$\frac{d^2x}{dt^2}=a(t) \quad (17)$$

ikkinchi tartibli differensial tenglama hosil bo'ladi. Uni ikki marta integrallash orqali $x(t)$ harakat qonuni topiladi, integrallash o'zgarmaslari esa boshlang'ich shartlardan aniqlanadi:

$$x(0)=x_0, \quad v(0)=v_0. \quad (18)$$

Masalan, $d^2x/dt^2=6t$ bo'lsin. Birinchi marta integrallab, $dx/dt=3t^2+C_1$ ni olamiz; $v(0)=v_0$ shartdan $C_1=v_0$ kelib chiqadi. Ikkinchi marta integrallab va $x(0)=x_0$ shartni hisobga olib, quyidagilarni hosil qilamiz:

$$v(t)=v_0+3t^2, \quad x(t)=x_0+v_0t+t^3. \quad (19)$$

Shunday qilib, differensial tenglama va boshlang'ich shartlar moddiy nuqtaning harakat qonunini to'liq va bir qiymatli aniqlaydi.

Kinematik grafiklar va ularning tahlili.

Moddiy nuqta harakatini grafiklar orqali tasvirlash ham muhim tahlil usullaridan biridir. $x=x(t)$ grafigiga o'tkazilgan urinmaning burchak koeffitsienti shu paytdagi tezlikni, $v=v(t)$ grafigiga o'tkazilgan urinmaning burchak koeffitsienti esa tezlanishni beradi. Aksincha, tezlik grafigi ostidagi yuza ko'chishni, tezlanish grafigi ostidagi yuza esa tezlik o'zgarishini ifodalaydi:

$$\Delta x = \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt, \quad \Delta v = \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt. \quad (20)$$

Harakat yo'nalishi o'zgargan hollarda bosib o'tilgan yo'l $s = \int_{t_1}^{t_2} |v(t)| dt$ formula bilan hisoblanadi. Shunday qilib, grafik va analitik usullar bir-birini to'ldiradi.

Amaliy hisoblash misoli.

Moddiy nuqtaning harakat qonuni $x(t)=2+8t-2t^2$ (m) ko'rinishda berilgan bo'lsin. Tezlik va tezlanishning (7) va (10) ifodalariga ko'ra nuqtaning tezligi va tezlanishi:

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = 8-4t, \quad a = \frac{dv}{dt} = -4 \text{ m/s}^2. \quad (21)$$

Demak, nuqta o'zgaras manfiy tezlanish bilan, ya'ni tekis sekinlanuvchan harakat qiladi. To'xtash paytida $v=0$ bo'lgani uchun $8-4t=0$, bundan $t=2$ s. Shu paytdagi koordinata:

$$x(2)=2+8\cdot 2-2\cdot 2^2=10 \text{ m}. \quad (22)$$

Demak, nuqta $t=2$ s da bir lahzaga to'xtaydi va eng katta koordinataga erishadi, so'ngra teskari yo'nalishda harakatlana boshlaydi. Misol harakat tenglamasidan foydalanib tezlik, tezlanish, to'xtash vaqti va nuqtaning holatini bir vaqtda aniqlash mumkinligini ko'rsatadi.

Olingan natijalardan ko'rinadiki, moddiy nuqta harakatini matematik modelashtirishda differensial va integral hisob asosiy vosita hisoblanadi. Harakat qonuni $x(t)$ ma'lum bo'lsa, ketma-ket differensiallash orqali tezlik va tezlanish topiladi (to'g'ri masala); aksincha, tezlanish ma'lum bo'lsa, boshlang'ich shartlar asosida integrallash orqali tezlik va koordinata aniqlanadi (teskari masala). Bu bog'lanish kinematik masalalarni yagona matematik tizim sifatida qarash imkonini beradi.

Shu bilan birga, kinematik model real mexanik jarayonning soddalashtirilgan tasviri ekanini unutmaslik lozim: model qanchalik to'g'ri tanlansa, hisoblash natijalari real jarayonga shunchalik yaqin bo'ladi. Shu sababli nazariy mexanikada matematik modelashtirish formulalarni qo'llash bilan birga fizik jarayonning mohiyatini to'g'ri anglashni ham talab qiladi [4].

XULOSA

Ushbu maqolada moddiy nuqtaning to'g'ri chiziqli harakati matematik modelashtirish nuqtayi nazaridan o'rganildi. Moddiy nuqta modeli real jismlar harakatini soddalashtirib o'rganish imkonini beradi, to'g'ri chiziqli harakatning asosiy matematik modeli esa $x=x(t)$ harakat tenglamasidir. Tezlik koordinatadan vaqt bo'yicha olingan birinchi hosilaga (7), tezlanish esa ikkinchi hosilaga (10) teng; o'zgaras tezlanishda harakat tenglamasi (14) ko'rinishga ega bo'ladi. Differensial tenglamalar yordamida murakkabroq harakatlarni ham modelashtirish mumkin, kinematik kattaliklarning analitik va grafik tasviri esa jarayonni chuqurroq tahlil qilishga imkon beradi.

Moddiy nuqtaning to'g'ri chiziqli harakati nazariy mexanikaning boshlang'ich mavzularidan biri bo'lsa-da, uning matematik modeli murakkab mexanik sistemalar va dinamik jarayonlarni o'rganish uchun muhim asos bo'lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Высшая школа, 2010.

[2] Мещерский И.В. Сборник задач по теоретической механике. – М.: Наука, 1986.

- [3] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. I. Механика. – М.: Физматлит, 2004.
- [4] Goldstein H., Poole C., Safko J. Classical Mechanics. 3rd ed. – San Francisco: Addison-Wesley, 2002.
- [5] Thornton S.T., Marion J.B. Classical Dynamics of Particles and Systems. 5th ed. – Belmont: Brooks/Cole, 2004.
- [6] Taylor J.R. Classical Mechanics. – Sausalito: University Science Books, 2005.
- [7] Feynman R.P., Leighton R.B., Sands M. The Feynman Lectures on Physics. Vol. I. – Reading: Addison-Wesley, 1963.
- [8] Kleppner D., Kolenkow R.J. An Introduction to Mechanics. 2nd ed. – Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [9] Symon K.R. Mechanics. 3rd ed. – Reading: Addison-Wesley, 1971.

ARALASH TA'LIM MUHITIDA O'QITUVCHI PORTRETI

Raximov Xolmurot Abdullayevich¹,

¹Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

e-mail: raximov.xolmurod21@gmail.com

Annotatsiya. Tezisdan aralash ta'lim muhitida oliy ta'lim o'qituvchisining portreti kognitiv, motivatsion-aksiologik, praktsiologik va refleksiv-kommunikativ komponentlar birligi sifatida asoslanadi, uni profil sifatida o'lchash va rivojlantirish yondashuvi taklif etiladi.

Kalit so'zlar: aralash ta'lim, o'qituvchi portreti, tayyorgarlik, profil, kasbiy rivojlanish, refleksiya.

Аннотация. В тезисе обосновывается портрет преподавателя высшей школы в условиях смешанного обучения как единство когнитивного, мотивационно-аксиологического, праксиологического и рефлексивно-коммуникативного компонентов; предлагается подход к его измерению и развитию в форме профиля.

Ключевые слова: смешанное обучение, портрет преподавателя, готовность, профиль, профессиональное развитие, рефлексия.

Abstract. The paper substantiates the portrait of a university teacher in a blended learning environment as a unity of cognitive, motivational-axiological, praxeological and reflective-communicative components, and proposes an approach to measuring and developing it as a profile.

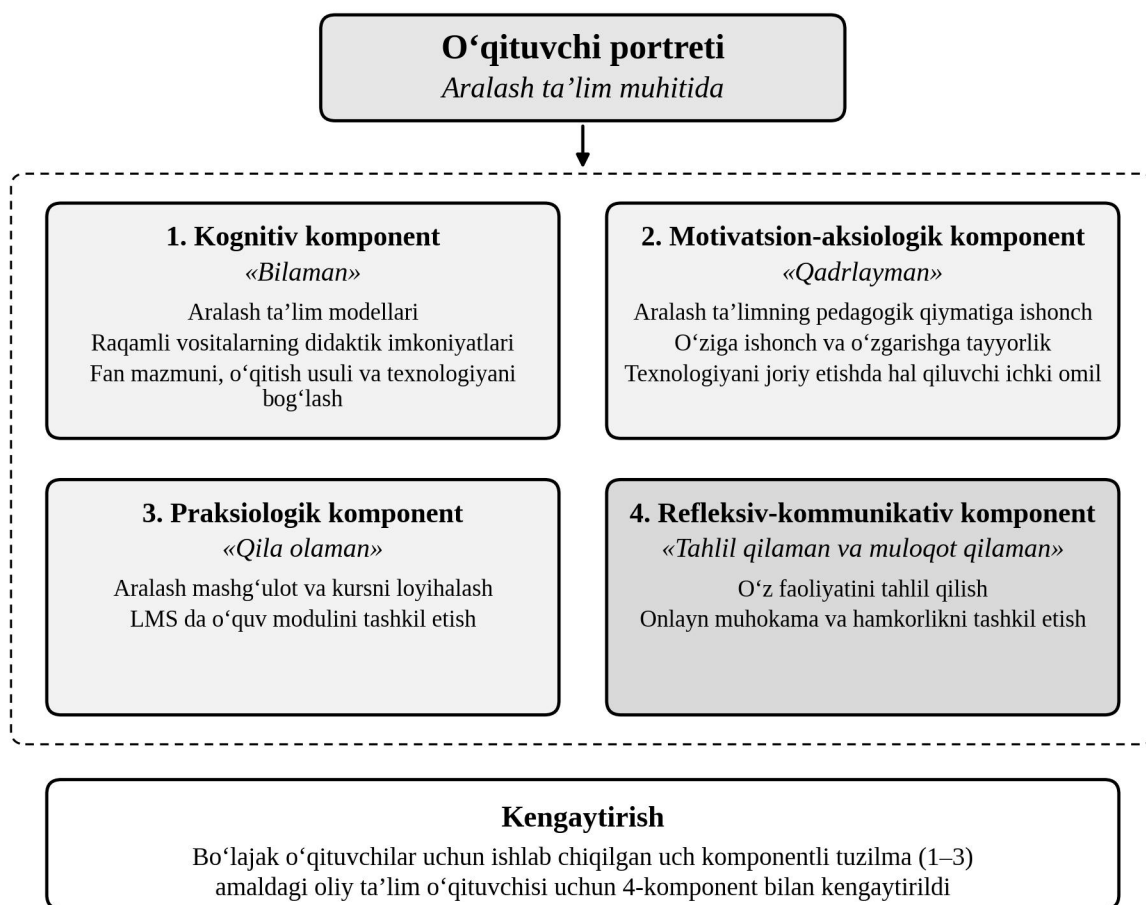
Keywords: blended learning, teacher portrait, preparedness, profile, professional development, reflection.

Oliy ta'limni 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasi raqamli va masofaviy ta'lim shakllarini keng joriy etishni nazarda tutadi [1]. Ammo aralash ta'limning samarasi texnologiyaning mavjudligi bilan cheklanmaydi. Meta-tahlillar aralash ta'limning ko'pincha ijobiy natija berishini ko'rsatsa-da, mualliflar bu natijani faqat ta'lim shakli bilan izohlab bo'lmayligini, uning ortida yaxshi loyihalangan o'quv faoliyati turganini ta'kidlaydi [2]. OECD tahlilida esa o'qituvchilarning raqamli resurslardan samarali foydalanishga ishonchida bo'shliqlar saqlanib qolayotgani qayd etilgan [3]. Demak, aralash ta'lim muhitida o'qituvchi qanday sifatlarga ega bo'lishi kerakligini, ya'ni uning portretini aniqlash dolzarb ilmiy-amaliy vazifadir.

Aralash ta'lim yuzma-yuz va onlayn o'quv tajribasining yagona maqsad asosida puxta o'ylangan integratsiyasi sifatida tushuniladi [4]. C.R.Graham aralashtirishning imkoniyatni kengaytiruvchi, boyituvchi va o'zgartiruvchi darajalarini ajratadi [5]; o'zgartiruvchi darajada o'qituvchi bilimning asosiy manbaidan o'quv tajribasining dizayneri va fasilitatoriga aylanadi.

«Tadqiqot hamjamiyati» modeli ham onlayn muhitda o'qituvchi mavjudligini o'quv faoliyatini loyihalash, muhokamani yo'naltirish va bevosita o'qitish orqali tavsiflaydi [6].

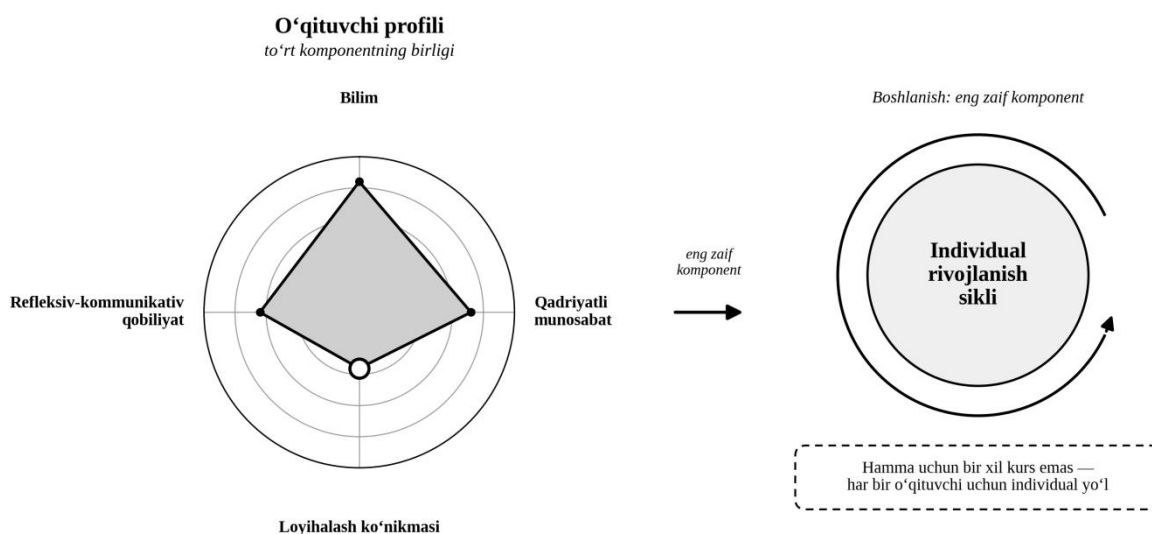
Shu asosda aralash ta'lim muhitidagi o'qituvchi portreti to'rt komponentdan iborat deb qaraladi. Kognitiv komponent («bilaman») – aralash ta'lim modellari, raqamli vositalarning didaktik imkoniyatlari hamda fan mazmuni, o'qitish usuli va texnologiyani bog'lash haqidagi bilimlar [7]. Motivatsion-aksiologik komponent («qadrlayman») – aralash ta'limning pedagogik qiymatiga ishonch, o'ziga ishonch va o'zgarishga tayyorlik; o'qituvchining e'tiqodlari texnologiyani joriy etishda hal qiluvchi ichki omil hisoblanadi [8]. Praksiologik komponent («qila olaman») – aralash mashg'ulot va kursni loyihalash, LMS da o'quv modulini tashkil etish. Refleksiv-kommunikativ komponent («tahlil qilaman va muloqot qilaman») – o'z faoliyatini tahlil qilish, onlayn muhokama va hamkorlikni tashkil etish [9]. Bo'lajak o'qituvchilar uchun ishlab chiqilgan uch komponentli tuzilma [10] amaldagi oliy ta'lim o'qituvchisi uchun to'rtinchi komponent bilan kengaytirildi.



Ushbu tuzilma xalqaro tadqiqotlarga mos keladi. Aralash o'qitishga tayyorlik modeli o'qituvchining munosabati va onlayn integratsiya, ma'lumotlar bilan ishlash, shaxsiylashtirish hamda onlayn o'zaro ta'sir kompetensiyalarini ajratadi [11]. Oliy ta'lim ekspertlari esa aralash ta'limni joriy etishga ta'sir qiluvchi o'qituvchi xususiyatlari orasida o'zgarish zaruratini anglash va texnologiyadan xavotirlanishni qayd etgan [12]; bu motivatsion komponentni alohida o'lchash zarurligini tasdiqlaydi.

Har bir komponent bo'yicha to'rt daraja ajratiladi: reproduktiv (namuna asosida ishlaydi), variativ (tayyor yechimlarni moslashtiradi), qisman izlanuvchi (mustaqil loyihalaydi va natijaga qarab o'zgartiradi) va mobillik (kursni ma'lumotlar asosida takomillashtiradi va hamkasblarga yordam beradi). Muhimi, portret yagona ball bilan emas, komponentlar bo'yicha profil bilan ifodalanadi: bir xil o'rtacha ballga ega o'qituvchilarning ehtiyojlari turlicha bo'lishi mumkin. Oliy ta'lim o'qituvchilarining texnologiyani qabul qilish profillariga qarab kasbiy rivojlanishga oid afzalliklari ham farq qilishi aniqlangan [13].

Portretni ishonchli aniqlash uchun faqat o'z-o'zini baholashga tayanish yetarli emas, chunki odamlar o'z bilim va ko'nikmalarini baholashda tizimli xatolarga yo'l qo'yadi [14]. Shu sababli xulq-atvorga asoslangan anketa natijalari bilim testi va amaliy topshiriqlarning ekspert bahosi bilan solishtiriladi, o'z-o'zini baholash va obyektiv baho o'rtasidagi farq esa refleksiya uchun alohida ko'rsatkich sifatida qayd etiladi.



Xulosa. Aralash ta'lim muhitidagi o'qituvchi portreti bilim, qadriyatli munosabat, loyihalash ko'nikmasi va refleksiv-kommunikativ qobiliyatning birligidir. Uni profil sifatida aniqlash o'qituvchilarni hamma uchun bir xil kurs orqali emas, har birining eng zaif komponentidan boshlanadigan individual rivojlanish sikli orqali qo'llab-quvvatlash imkonini beradi.

Adabiyotlar

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 8-oktabrdagi PF-5847-son «O'zbekiston Respublikasi oliy ta'lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida»gi Farmoni // lex.uz.
2. Means B., Toyama Y., Murphy R., Baki M. The effectiveness of online and blended learning: A meta-analysis of the empirical literature // Teachers College Record. – 2013. – Vol. 115, No. 3. – P. 1–47.
3. OECD. Preparing teachers for digital education: Continuing professional learning on digital skills and pedagogies // OECD Education Policy Perspectives. – No. 122. – Paris: OECD Publishing, 2025.
4. Garrison D.R., Kanuka H. Blended learning: Uncovering its transformative potential in higher education // The Internet and Higher Education. – 2004. – Vol. 7, No. 2. – P. 95–105.
5. Graham C.R. Blended learning systems: Definition, current trends, and future directions // Bonk C.J., Graham C.R. (Eds.). The Handbook of Blended Learning: Global Perspectives, Local Designs. – San Francisco: Pfeiffer, 2006. – P. 3–21.
6. Garrison D.R., Anderson T., Archer W. Critical inquiry in a text-based environment: Computer conferencing in higher education // The Internet and Higher Education. – 2000. – Vol. 2, No. 2–3. – P. 87–105.
7. Mishra P., Koehler M.J. Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge // Teachers College Record. – 2006. – Vol. 108, No. 6. – P. 1017–1054.
8. Ertmer P.A., Ottenbreit-Leftwich A.T. Teacher technology change: How knowledge, confidence, beliefs, and culture intersect // Journal of Research on Technology in Education. – 2010. – Vol. 42, No. 3. – P. 255–284.
9. Schön D.A. The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action. – New York: Basic Books, 1983.

10. Каюмова Н.А. Электрон таълим муҳитида бўлажак информатика ўқитувчиларини интегратив ёндашув асосида тайёрлаш методикасини такомиллаштириш: пед. фан. д-ри (DSc) ... дисс. – Тошкент: ТДПУ, 2021.

11. Graham C.R., Borup J., Pulham E.B., Larsen R. K-12 blended teaching readiness: Model and instrument development // Journal of Research on Technology in Education. – 2019. – Vol. 51, No. 3. – P. 239–258.

12. Bruggeman B., Tondeur J., Struyven K., Pynoo B., Garone A., Vanslambrouck S. Experts speaking: Crucial teacher attributes for implementing blended learning in higher education // The Internet and Higher Education. – 2021. – Vol. 48. – 100772.

13. Garone A., Howard S.K., Yang J., Tondeur J., Pynoo B., Bruggeman B., Struyven K. How do they like it? Higher education teachers' professional development preferences for blended learning and technology acceptance profiles // Computers in Human Behavior Reports. – 2025. – Vol. 18. – 100680.

14. Dunning D., Heath C., Suls J.M. Flawed self-assessment: Implications for health, education, and the workplace // Psychological Science in the Public Interest. – 2004. – Vol. 5, No. 3. – P. 69–106.

AI-DRIVEN MANAGEMENT: SYSTEMS, STRUCTURES AND PROCEDURES FOR HUMAN-CENTRIC ORGANIZATIONAL DEVELOPMENT

1. *Supriya Paul is an Assistant Professor , Research Scholar of EKRC – Under Vidyasagar University , West Bengal, India Mobile No: 91-9163393610 , email id . supriya.paul@eiilm.co.in

2. **Dr. Suman Kumar Dawn is Professor, Head Academics of EIILM-Kolkata, West Bengal , India . Mobile No: 91-9831283670 , email id : drskdawn@gmail.com

3. *** Prof. (Dr.) Rama Prosad Banerjee – Professor , Chairman & Director – EIILM-Kolkata , West Bengal, India Mobile No: 91-9007077779 , email id : rpbeilm@gmail.com

ABSTRACT. Artificial intelligence (AI) is having a growing impact on how businesses create management systems, distribute resources, make choices, train staff, and adapt to shifting market conditions. However, the increasing application of AI poses a crucial managerial question: how can technological intelligence be structured to produce significant organisational and human benefits? Through an analysis of the systems, structures, and practices necessary for responsible organisational development, this paper develops a human-centric perspective of AI-driven management. According to the suggested viewpoint, AI is an augmentation tool that enhances human judgement, creativity, experience, and moral responsibility rather than replacing them. The framework incorporates human-AI cooperation, data-driven intelligence, AI-enabled decision support, organisational learning, accountability, transparency, privacy protection, fairness, and human supervision. Management practices that allow for the assessment, interpretation, implementation, monitoring, and ongoing improvement of AI-generated insights are given special consideration. The study makes the case that a variety of factors, including as organisational success, employee welfare, shareholder value, ethical responsibility, and sustainability, should be considered when evaluating the efficacy of AI-driven management. The shift from technology-centered automation to responsible, human-centered organisational development can be facilitated by such an approach.

Keywords: Artificial Intelligence; AI-Driven Management; Human-Centric Management; Human-AI Collaboration; Ethical AI; Organizational Development; Responsible Decision-Making; Human Well-Being; Sustainable Performance; AI Governance.

A. Introduction

Artificial Intelligence (AI) is steadily becoming part of contemporary management, influencing strategic planning, organisational decisions, resource deployment, and coordination. Developments in generative AI, machine learning, natural language processing, and predictive analytics have made it possible for organisations to examine substantial volumes of information and

derive useful managerial insights. Consequently, AI is no longer viewed merely as a specialised technological tool; it is increasingly becoming part of routine organisational and administrative activity (Davenport et al., 2020; Raisch & Krakowski, 2021).

The organisational impact of AI, however, depends on more than the technology itself. Its effective use requires alignment with organisational structures, management procedures, and human capabilities (Jarrahi, 2018). A complementary relationship is therefore emerging in which employees contribute experience, contextual understanding, creativity, ethical judgement, and accountability, while AI contributes computational capacity, speed of analysis, and pattern recognition (Raisch & Krakowski, 2021).

This changing relationship also creates new requirements for managers and employees. They need the ability to interpret AI-generated information, recognise associated risks, and adapt to changing work processes. A human-centric approach to AI management therefore places emphasis on human agency, fairness, participation, responsibility, transparency, and effective use of technology. The broader objective is to combine human and machine capabilities in a manner that supports ethical decisions, employee development, organisational learning, and sustainable long-term value.

B. The Research Problem & Research Gap

The growing use of Artificial Intelligence (AI) creates an important managerial challenge: organisations must balance technological capability with human judgement, accountability, and organisational values. AI can strengthen prediction, analysis, automation, and decision support, but excessive dependence on algorithmic recommendations may reduce the scope for human autonomy, creativity, interpretation, transparency, and responsibility. Organisations therefore require appropriate managerial processes, structures, and governance arrangements that preserve meaningful human involvement in AI-supported activities.

Much of the existing discussion has concentrated on automation, productivity, efficiency, and cost reduction. Comparatively less attention has been given to employee development and welfare, organisational learning, ethical responsibility, and sustainability. This study addresses that gap by considering how AI capabilities can be brought together with human knowledge, organisational structures, and management practices within a human-centric framework aimed at ethical and sustainable organisational development.

C. Research Objectives

1. To examine the systems required for human-centric AI-driven management. 2. To identify organisational structures that facilitate effective human-AI collaboration. 3. To examine managerial procedures required for the responsible implementation of AI. 4. To explore how AI can strengthen rather than replace human managerial capabilities. 5. To develop a conceptual framework for human-centric AI-driven organisational development.

D. Literature Review

D.1: Artificial Intelligence in Management

Artificial Intelligence (AI) is increasingly becoming part of managerial work. It helps organisations process information, identify patterns, generate insights, and deal with complex tasks. AI-supported decision-making enables managers to analyse large datasets and consider different possible courses of action, although strategic and ethical decisions continue to require human judgement (Jarrahi, 2018). Predictive analytics uses historical and current information to estimate future conditions relating to demand, workforce requirements, risk, customers, and resource allocation; its usefulness is closely connected with the quality and representativeness of the underlying data (Shrestha et al., 2019). Generative AI can assist with content creation, reporting, summarisation, and idea generation, but its outputs require human checking because inaccuracies can occur (Dwivedi et al., 2023). Intelligent automation can reduce repetitive workloads, while AI-

supported knowledge management can improve the sharing, retrieval, and integration of organisational knowledge and thereby contribute to learning (Raisch & Krakowski, 2021).

D.2: AI Driven Organisational Transformation and Knowledge Learning

Artificial Intelligence is reshaping organisational functioning by affecting business processes, managerial roles, capabilities, and strategic decisions. The value obtained from AI is not determined solely by technological sophistication. It also depends on how well the technology is connected with human knowledge, organisational resources, employee skills, and management practices (Raisch & Krakowski, 2021; Shrestha et al., 2019).

AI can support human resources, marketing, finance, operations, and customer service through analytics, automation, forecasting, and timely access to information. Successful implementation generally requires redesigned workflows, dependable data, employee capability, and continuing human supervision (Davenport & Ronanki, 2018). Managers increasingly have to interpret AI-generated information, apply contextual judgement, coordinate human-AI interaction, and consider related ethical issues (Jarrahi, 2018).

AI can also contribute to organisational knowledge by bringing together fragmented information, identifying relationships, and producing potentially useful insights. When these outputs are combined with employees' experience, they can support learning, innovation, and problem-solving (Faraj et al., 2018). AI-supported access to and sharing of knowledge may further strengthen collaboration (Mikalef & Gupta, 2021). In this sense, organisational learning can develop through a continuing sequence of data, insight, interpretation, action, feedback, and adaptation.

D.3: Human-AI Collaboration & Employee Development

Human-AI collaboration is based on combining machine-based analytical capabilities with human knowledge rather than viewing AI mainly as a substitute for employees. AI can help managers deal with large quantities of information, identify patterns, compare alternatives, and provide decision-support insights, while people remain responsible for contextual interpretation and final accountability (Jarrahi, 2018).

A human-in-the-loop approach enables managers to review, verify, question, or modify AI recommendations, particularly where uncertainty, ethical considerations, or significant stakeholder consequences are involved (Shrestha et al., 2019). This complementary arrangement combines the processing speed and analytical scale of AI with human experience, creativity, empathy, contextual awareness, and ethical reasoning (Raisch & Krakowski, 2021). Effective collaboration consequently requires clearly defined responsibilities, appropriate monitoring, and genuine human participation.

AI is also influencing employee development through competency assessment, personalised training, intelligent evaluation, and continuous feedback. AI-based tools can identify competency gaps and recommend suitable learning pathways, although employee participation and managerial support remain important (Tambe et al., 2019). Organisations therefore need continuing reskilling and upskilling in digital, analytical, interpersonal, and problem-solving capabilities. A human-centred approach should develop these capabilities without weakening employee autonomy or introducing excessive technological control (Faraj et al., 2018).

D. 4: Ethical and Sustainable AI-Driven Management

The expanding use of Artificial Intelligence in organisations makes effective governance increasingly important. Governance arrangements need to protect people, promote fairness, and establish clear accountability. Transparency and explainability can help employees and other stakeholders understand AI-supported recommendations and make meaningful human oversight possible (Floridi et al., 2018). Fairness also requires attention to biased datasets that may reproduce

unequal outcomes in recruitment, appraisal, promotion, or resource allocation, making regular data and bias assessments necessary (Tambe et al., 2019).

Privacy protection and clear allocation of responsibility for AI-assisted decisions are similarly important (Jobin et al., 2019). Sustainable AI management should consider employee autonomy, participation, wellbeing, development, and workload alongside organisational efficiency (George et al., 2016; Raisch & Krakowski, 2021). Responsible innovation additionally calls for anticipation of risks, stakeholder engagement, ethical reflection, and continued adjustment as circumstances change (Stilgoe et al., 2013).

E. Theoretical Foundations

Human-Centred Artificial Intelligence (HCAI)

Human-Centred AI (HCAI) provides a basis for designing AI systems that strengthen human capabilities rather than simply replacing them. The approach emphasises human agency, meaningful participation, autonomy, and oversight in technology-supported work (Shneiderman, 2022). Within management, AI can improve analysis, pattern recognition, and decision support, while interpretation, accountability, and value-based judgement remain primarily human responsibilities. The relationship can therefore be expressed as: AI Capability → Human Augmentation → Human Agency → Responsible Outcomes.

Sociotechnical Systems Theory

Sociotechnical Systems Theory understands organisational performance as the result of interaction among technology, people, structures, and work processes (Trist & Bamforth, 1951). From an AI-management perspective, intelligent technologies can alter employee roles, workflows, managerial responsibilities, and decision processes. AI implementation should consequently be aligned with human expertise and organisational needs rather than being treated simply as a technological optimisation exercise.

Technology Acceptance Model (TAM) and UTAUT

TAM explains technology adoption through factors such as perceived usefulness and perceived ease of use (Davis, 1989). UTAUT broadens this explanation by including performance expectancy, effort expectancy, social influence, and facilitating conditions (Venkatesh et al., 2003). These perspectives are useful for understanding employee and managerial acceptance, resistance, and actual use of AI-enabled systems. Adoption is therefore influenced by perceived value, usability, organisational support, and users' confidence.

Stakeholder Theory

Stakeholder Theory considers the consequences of AI beyond organisational efficiency by taking into account groups affected by organisational decisions (Freeman, 1984). Employees, customers, managers, investors, regulators, and society may experience different benefits, risks, and responsibilities from AI adoption. The theory therefore supports assessment in terms of fairness, transparency, accountability, social impact, and stakeholder value, all of which are relevant to responsible organisational development.

Responsible Innovation Theory

Responsible Innovation places emphasis on anticipation, reflection, inclusion, and responsiveness (Stilgoe et al., 2013). In AI-driven management, organisations should anticipate possible consequences, question ethical assumptions, involve relevant stakeholders, and modify systems when new risks or concerns emerge. This approach strengthens responsible AI governance and human-centred decision-making.

Dynamic Capabilities Perspective

Dynamic Capabilities Theory explains organisational adaptation through sensing, seizing, and transforming (Teece, 2007). Organisations can identify technological and market changes, invest in appropriate AI capabilities, strengthen employee competencies, and redesign structures and processes. AI can therefore become a strategic capability that supports innovation, learning, agility, and long-term adaptation.

Integrated Theoretical Foundation

Taken together, these perspectives provide a complementary theoretical base for human-centric AI-driven management. HCAI emphasises human agency; Sociotechnical Systems Theory links technology with people and work processes; TAM/UTAUT explains technology acceptance; Stakeholder Theory brings wider stakeholder interests into consideration; Responsible Innovation provides an ethical governance perspective; and Dynamic Capabilities explains ongoing organisational adaptation. Collectively, these perspectives connect AI capability human participation technology acceptance responsible governance stakeholder value organisational learning and sustainable development.

F. **AI-Driven Management Systems**

AI-driven management systems provide organisational infrastructure through which varied forms of data can be converted into managerial intelligence. They support the collection, integration, processing, and interpretation of information, helping organisations identify trends, relationships, and unusual patterns involving employees, customers, operations, and external conditions. These capabilities can improve organisational visibility and evidence-based decision-making, although their usefulness depends on reliable data, appropriate processes, and human oversight (Davenport & Ronanki, 2018; Jarrahi, 2018).

AI-supported decision mechanisms can assist managers with forecasting, recommendations, scenario analysis, risk identification, and pattern recognition. They can also contribute to recruitment, workforce planning, performance assessment, personalised learning, career development, and the identification of competency gaps (Margherita, 2022; Tambe et al., 2019). Responsible implementation nevertheless requires governance covering data quality, privacy, algorithmic transparency, risk assessment, accountability, ethics, and auditing. Human supervision and periodic review of algorithms remain important for detecting unintended effects and maintaining responsible organisational use (Mittelstadt, 2019; Raji et al., 2020).

G. **Human-Centred AI, Employee Development and Organisational Learning**

Organisations are more likely to obtain sustained value from AI when digital capabilities complement human expertise instead of simply displacing it. AI can provide rapid processing and analysis, while managers contribute experience, contextual understanding, creativity, and ethical reasoning (Jarrahi, 2018). A human-in-the-loop arrangement enables AI outputs to be reviewed, interpreted, questioned, and acted upon appropriately, with subsequent monitoring helping to identify corrections and opportunities for improvement (Shneiderman, 2020). Effective governance should connect senior leadership, technical specialists, functional managers, and employees through clear accountability and suitable risk controls (Mittelstadt, 2019).

AI adoption is also changing the capabilities expected from employees. As routine activities become increasingly automated, AI literacy, analytical ability, problem-solving, digital competence, and strategic thinking become more important. Continuous reskilling and upskilling can help employees adapt to changing responsibilities. Trust and participation are equally significant; transparent communication, suitable training, and employee involvement can affect acceptance of AI-supported practices (Raisch & Krakowski, 2021).

AI can support learning at individual, team, organisational, and strategic levels. Employees interpret machine-generated information using their experience, teams develop shared understanding, and organisations incorporate useful knowledge into routines and capabilities

(Crossan et al., 1999). The proposed pathway can therefore be expressed as: AI Intelligence → Human Interpretation → Knowledge Creation → Organisational Learning → Organisational Capability. Human expertise and collective learning remain essential for converting technological intelligence into lasting organisational adaptability.

H. Research Methodology — Qualitative Literature-Based Research

The study adopts a qualitative and exploratory approach based primarily on a systematic review of scholarly literature and secondary organisational evidence. It examines AI adoption and its implications for management systems, human-AI collaboration, employee development, organisational learning, governance, and sustainable development.

An interpretivist orientation is used to explore meanings, practices, and organisational implications identified in existing academic research, industry reports, corporate publications, and documented AI applications (Creswell & Poth, 2018). The study follows an inductive approach and considers selected organisational examples from banking, information technology, e-commerce, manufacturing, and diversified services to identify recurring practices, challenges, and patterns of AI integration (Yin, 2018).

The evidence base includes peer-reviewed journal articles, books, conference papers, annual and sustainability reports, industry studies, corporate documents, and AI governance materials. The analysis combines synthesis of the literature with comparative interpretation of cases. No primary interviews or statistical tests are undertaken. The analytical sequence is: Literature Review → AI Cases → Comparative Analysis → Emerging Themes → Conceptual Integration → Human-Centric AI Management Framework.

I. Examples of AI-Driven Organisations in Asian Countries

A number of organisations across Asia illustrate different aspects of AI-enabled organisational transformation. In Singapore, DBS Bank has incorporated AI into areas including decision support, risk management, customer intelligence, employee development, and governance. Its initiatives provide an example of the interaction between technological capabilities and human expertise.

In China, Alibaba Group uses AI across e-commerce, cloud services, recommendation systems, generative AI, and intelligent business processes. In India, Tata Consultancy Services (TCS) and Infosys have developed enterprise AI, automation, analytics, generative AI, workforce reskilling, and AI-enabled business solutions. Reliance Industries has likewise expanded its use of AI and digital technologies across its diversified activities.

In Japan, Toyota Motor Corporation provides an example of AI and robotics in intelligent manufacturing and technology-supported operations. Samsung Electronics in South Korea uses AI in products, manufacturing, research, and technology development.

These organisations can be considered through the proposed human-centric AI framework. AI capabilities can be illustrated through DBS, Alibaba, TCS, and Infosys; human-AI collaboration through DBS, Toyota, and Samsung; and AI-driven management systems through DBS, TCS, Infosys, and Alibaba. AI governance, human oversight, employee development, and reskilling are particularly relevant to DBS, TCS, and Infosys. Together, these cases provide useful contexts for examining responsible and sustainable AI-enabled organisational development.

J. Findings

The findings can be organised around several broad dimensions emerging from the reviewed literature and cases. The first dimension, AI Intelligence, concerns the analytical capabilities that AI contributes to organisational activities, including prediction, pattern recognition, recommendations, and decision support. The second, Human Capability, considers the continuing contribution of

employees and managers through judgement, experience, creativity, contextual understanding, and ethical reasoning.

The third dimension, Organisational Structure, focuses on the distribution of responsibility, authority, and governance in AI-enabled organisations, including the roles of senior management, functional units, employees, and specialised governance mechanisms. The fourth, Management Procedures, examines how AI-generated information is assessed, interpreted, converted into decisions, implemented, and monitored within organisational processes.

The fifth dimension, Responsible Outcomes, considers the value created through AI adoption for organisations, employees, and other stakeholders, including learning, development, performance, trust, and sustainable organisational outcomes (Braun & Clarke, 2006; Yin, 2018).

K. **Proposed Human-Centric AI Management Model**

The proposed framework presents AI-driven management as an integrated arrangement in which technological capabilities, human judgement, organisational structures, and responsible management practices operate together. The framework starts with AI capabilities—data, predictive, generative, and analytical intelligence—which provide resources for information processing and managerial decision-making (Jarrahi, 2018).

Human-AI collaboration then combines machine-generated insights with human judgement, creativity, experience, and ethical reasoning, thereby creating augmented organisational capability. These capabilities can support AI-driven management systems such as decision support, knowledge management, AI-enabled human resource systems, performance management, and strategic intelligence.

Successful implementation requires organisational structures that provide AI governance, cross-functional collaboration, human oversight, and clearly assigned accountability. This process promotes employee development, wellbeing, organisational learning, innovation, responsible decision-making, stakeholder value, and sustainability, contributing to **sustainable organisational development** (Raisch & Krakowski, 2021; Shneiderman, 2020).

Framework Layout Overview

The integrated framework is organized into a sequential cascade, balancing automated analytical strength with vital human oversight and governance:

- i. **AI Capabilities:** Formulates the primary computational tier across Data, Predictive, Generative, and Analytical intelligences.
- ii. **Human–AI Collaboration:** Bridges system strengths with qualitative skills like Creativity, Experience, and Ethical Reasoning.
- iii. **AI-Driven Management Systems:** Implements the tools supporting daily enterprise functions (HR, Knowledge Management, Decision Support).
- iv. **Organisational Structures:** Establishes critical parameters via AI Governance and Human Oversight.
- v. **Management Procedure:** Outlines the operational lifecycle chain.
- vi. **Human-Centric Outcomes:** Captures positive milestones like employee wellbeing, sustainable performance, and innovation.
- vii. **Sustainable Organisational Development:** Consolidates continuous learning loops into long-term organizational resiliency.

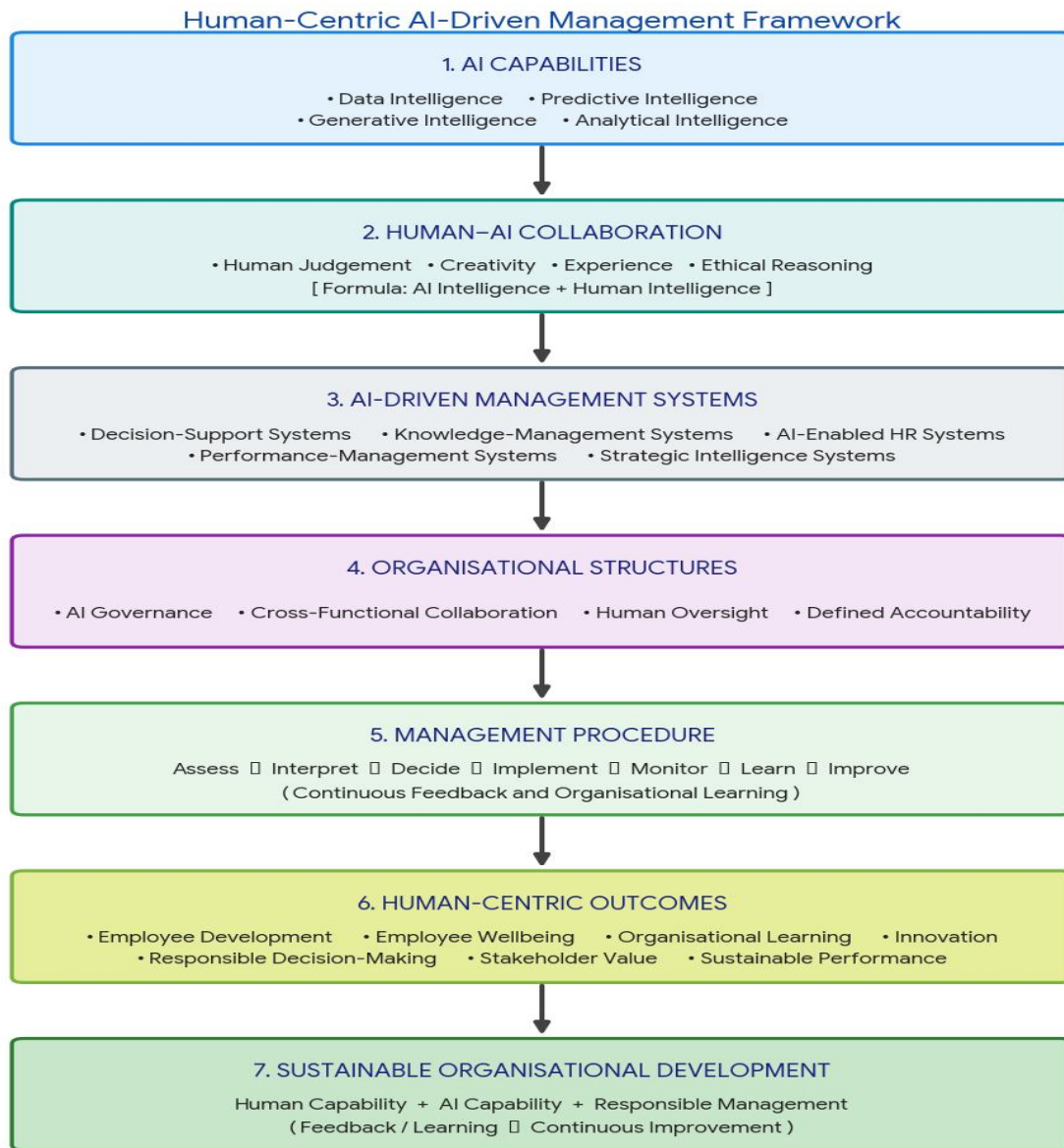


Figure 1: Human-Centric AI-Driven Management Framework

L. Limitations and Future Research

The study has several limitations that should be taken into account when interpreting its conclusions. Because the research is qualitative, the findings may not be directly generalisable across all types of organisations. The relevance of particular observations may also differ according to organisational characteristics and operating environments. Furthermore, AI technologies are evolving rapidly, meaning that some current observations may change as technologies, practices, and regulations develop. Where organisational experiences are reported in the reviewed literature, differences in individual perceptions and interpretations may also introduce an element of subjectivity.

M. CONCLUSION

The organisational significance of Artificial Intelligence goes beyond access to advanced technological tools. Its practical value depends largely on the manner in which AI is integrated with organisational systems, management practices, and human decision-making. Appropriate structures and clearly defined procedures can help ensure that AI-supported activities remain connected with organisational objectives and stakeholder interests.

Human judgement, ethical oversight, transparency, and accountability remain important elements of responsible implementation. Continuous monitoring, feedback, and organisational learning can help organisations refine their use of AI as circumstances and requirements change. Sustainable AI-driven management can therefore be understood as an integrated approach in which technology, people, governance, and organisational learning work together to create responsible and enduring organisational value.

REFERENCES:

- [1] Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- [2] Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
- [3] Crossan, M. M., Lane, H. W., & White, R. E. (1999). An organizational learning framework: From intuition to institution. *Academy of Management Review*, 24(3), 522–537. <https://doi.org/10.5465/amr.1999.2202135>
- [4] Davenport, T. H., & Ronanki, R. (2018). Artificial intelligence for the real world. *Harvard Business Review*, 96(1), 108–116.
- [5] Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- [6] Dwivedi, Y. K., Kshetri, N., Hughes, L., Slade, E. L., Jeyaraj, A., Kar, A. K., Baabdullah, A. M., Koohang, A., Raghavan, V., Ahuja, M., Albanna, H., Albashrawi, M. A., Al-Busaidi, K.A., Balakrishnan, J., Barlette, Y., Basu, S., Bose, I., Brooks, L., Buhalis, D., ... Wright, R. (2023). “So what if ChatGPT wrote it?” Multidisciplinary perspectives on opportunities, challenges and implications of generative conversational AI for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, 71, 102642. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2023.102642>
- [7] Faraj, S., Pachidi, S., & Sayegh, K. (2018). Working and organizing in the age of the learning algorithm. *Information and Organization*, 28(1), 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.infoandorg.2018.02.005>
- [8] Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., Luetge, C., Madelin, R., Pagallo, U., Rossi, F., Schafer, B., Valcke, P., & Vayena, E. (2018). AI4People—An ethical framework for a good AI society. *Minds and Machines*, 28, 689–707. <https://doi.org/10.1007/s11023-018-9482-5>
- [9] Freeman, R. E. (1984). *Strategic management: A stakeholder approach*. Pitman.
- [10] George, G., Merrill, R. K., & Schillebeeckx, S. J. D. (2016). Digital sustainability and entrepreneurship: How digital innovations are helping tackle climate change and sustainable development. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 40(6), 1451–1466.
- [11] Jarrahi, M. H. (2018). Artificial intelligence and the future of work: Human-AI symbiosis in organizational decision making. *Business Horizons*, 61(4), 577–586. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.03.007>
- [12] Jobin, A., Ienca, M., & Vayena, E. (2019). The global landscape of AI ethics guidelines. *Nature Machine Intelligence*, 1, 389–399. <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0088-2>
- [13] Kaplan, A., & Haenlein, M. (2019). Siri, Siri, in my hand: Who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. *Business Horizons*, 62(1), 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.08.004>
- [14] Margherita, A. (2022). Human resources analytics: A systematization of research topics and directions for future research. *Human Resource Management Review*, 32(2), 100795. <https://doi.org/10.1016/j.hrmr.2020.100795>

- [15] Mikalef, P., & Gupta, M. (2021). Artificial intelligence capability: Conceptualization, measurement calibration, and empirical study on its impact on organizational creativity and firm performance. *Information & Management*, 58(3), 103434. <https://doi.org/10.1016/j.im.2020.103434>
- [16] Mittelstadt, B. (2019). Principles alone cannot guarantee ethical AI. *Nature Machine Intelligence*, 1, 501–507. <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0114-4>
- [17] Raisch, S., & Krakowski, S. (2021). Artificial intelligence and management: The automation–augmentation paradox. *Academy of Management Review*, 46(1), 192–210. <https://doi.org/10.5465/amr.2018.0072>
- [18] Raji, I. D., Smart, A., White, R. N., Mitchell, M., Gebru, T., Hutchinson, B., Smith-Loud, J., Theron, D., & Barnes, P. (2020). Closing the AI accountability gap: Defining an end-to-end framework for internal algorithmic auditing. *Proceedings of the 2020 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, 33–44. <https://doi.org/10.1145/3351095.3372873>
- [19] Ransbotham, S., Kiron, D., Gerbert, P., & Reeves, M. (2017). *Reshaping business with artificial intelligence: Closing the gap between ambition and action*. MIT Sloan Management Review and The Boston Consulting Group.
- [20] Shneiderman, B. (2022). *Human-centered AI*. Oxford University Press.
- [21] Shrestha, Y. R., Ben-Menahem, S. M., & von Krogh, G. (2019). Organizational decision-making structures in the age of artificial intelligence. *California Management Review*, 61(4), 66–83. <https://doi.org/10.1177/0008125619862257>
- [22] Stilgoe, J., Owen, R., & Macnaghten, P. (2013). Developing a framework for responsible innovation. *Research Policy*, 42(9), 1568–1580. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.05.008>
- [23] Tambe, P., Cappelli, P., & Yakubovich, V. (2019). Artificial intelligence in human resources management: Challenges and a path forward. *California Management Review*, 61(4), 15–42. <https://doi.org/10.1177/0008125619867910>
- [24] Teece, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of sustainable enterprise performance. *Strategic Management Journal*, 28(13), 1319–1350. <https://doi.org/10.1002/smj.640>
- [25] Trist, E. L., & Bamforth, K. W. (1951). Some social and psychological consequences of the longwall method of coal-getting. *Human Relations*, 4(1), 3–38. <https://doi.org/10.1177/001872675100400101>
- [26] Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425–478. <https://doi.org/10.2307/30036540>
- [27] Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J. Q., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 122, 889–901. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>
- [28] Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118–144. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>
- [29] Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). SAGE Publications

ИНКЛЮЗИВНОСТЬ И ОБРАЗОВАНИЕ

¹Шрымбай Дана Абилахатовна, ²Абилахатұлы Бакдәулет

Старший преподаватель, магистр естественных наук

Студент 4 курс, ОП «Подготовка учителей физики»

^{1,2}Таразский университет имени М.Х.Дулати

Республика Казахстан, г., Тараз,

dana_26_06@mail.ru

Аннотация. Инклюзивное (включающее) образование дает возможность всем учащимся в полном объеме участвовать в жизни коллектива детского сада, школы, института, в дошкольной и школьной жизни. Инклюзивное (включающее) образование обладает ресурсами, направленными на стимулирование равноправия обучающихся и их участия во всех делах коллектива. Инклюзивное (включающее) образование направлено на развитие у всех людей способностей, необходимых для общения.

Целью инклюзивного образования детей с ОВЗ в общеобразовательном (массовом) учреждении является полноценное развитие и самореализация детей с ограниченными возможностями здоровья, освоение ими общеобразовательной программы (государственного образовательного стандарта), важнейших социальных навыков наряду со сверстниками с учетом их индивидуально-типологических особенностей в познавательном, физическом, эмоционально-волевом развитии.

В процессе реализации инклюзивной практики в работу педагогического коллектива привносятся существенные коррективы содержательного и процессуального характера.

Организация совместного обучения и воспитания детей с различными особенностями развития и их условно нормативных сверстников – двусторонний процесс, который включает, с одной стороны, включение ребенка в новое для него образовательное пространство, с другой – приспособление самого образовательного учреждения к включению в свое пространство «необычных» детей. Возникает новая социальная ситуация, при которой создаются новые механизмы взаимодействия, взаимоотношений и новых социальных связей.

Ключевые слово: инклюзия, дети, преподавание, образование, школа.

Abstract. Inclusive education enables all students to participate fully in the life of the community—whether in a kindergarten, school, or higher education institution—and in the broader educational environment. It harnesses resources aimed at fostering equality among learners and encouraging their participation in all collective activities. Furthermore, inclusive education seeks to develop the communication skills essential for everyone.

The goal of inclusive education for children with disabilities in mainstream educational institutions is to ensure their comprehensive development and self-realization. It aims to facilitate their mastery of the general education curriculum (in accordance with state educational standards) and the acquisition of vital social skills alongside their peers, while taking into account their individual characteristics regarding cognitive, physical, and emotional-volitional development.

Implementing inclusive practices necessitates significant adjustments to both the content and the processes of the teaching staff's work.

Organizing the joint education and upbringing of children with diverse developmental needs and their typically developing peers is a two-way process. On one hand, it involves integrating the child into a new educational environment; on the other, it requires the educational institution itself to adapt to accommodate "exceptional" children. This creates a new social situation that gives rise to novel mechanisms of interaction, interpersonal relationships, and social connections.

Keywords: *inclusion, children, teaching, education, school.*

Annotatsiya. *Inklyuziv ta'lim barcha o'quvchilarga o'z bolalar bog'chasi, maktab, kollej, maktabgacha ta'lim va maktab jamoalari hayotida to'liq ishtirok etish imkonini beradi. Inklyuziv ta'lim o'quvchilar o'rtasida tenglikni va ularning barcha jamoat tadbirlarida ishtirok etishini ta'minlash uchun resurslardan foydalanadi. Inklyuziv ta'lim barcha shaxslarda zarur muloqot ko'nikmalarini rivojlantirishga qaratilgan.*

Umumta'lim muassasasida nogiron bolalar uchun inklyuziv ta'limning maqsadi nogiron bolalarning to'liq rivojlanishi va o'zini anglashi, umumiy ta'lim dasturini (davlat ta'lim standarti) o'zlashtirishi va tengdoshlari bilan birga ularning kognitiv, jismoniy va hissiy rivojlanishidagi individual va tipologik xususiyatlarini hisobga olgan holda muhim ijtimoiy ko'nikmalarni egallashdir.

Inklyuziv amaliyotlarni amalga oshirish jarayonida o'qituvchilar ishiga sezilarli darajada mazmunli va protseduraviy o'zgarishlar kiritiladi. Turli rivojlanish nogironligi bo'lgan bolalar va ularning nisbatan normal tengdoshlarini birgalikda o'qitish va tarbiyalashni tashkil etish ikki tomonlama jarayon bo'lib, bir tomondan bolani yangi ta'lim muhitiga integratsiya qilishni, ikkinchi tomondan esa ta'lim muassasasining o'zini ushbu "g'ayrioddiy" bolalarga moslashtirishni o'z ichiga oladi. Yangi ijtimoiy vaziyat paydo bo'ladi, o'zaro ta'sir, munosabatlar va yangi ijtimoiy aloqalarning yangi mexanizmlarini yaratadi.

Kalit so'zlar: *inklyuziya, bolalar, o'qitish, ta'lim, maktab.*

ВВЕДЕНИЕ

Инклюзия – глубокое погружение ребёнка в адаптированную образовательную среду и оказание ему и членам его семьи различных поддерживающих услуг.

Инклюзивная образовательная среда служит реализации права каждого ребенка на образование, соответствующее его потребностям и возможностям, вне зависимости от региона проживания, тяжести нарушения психофизического развития, способности к усвоению цензового уровня образования и вида учебного заведения.

Инклюзивное образование приводит к тому, что ребенок с особыми образовательными потребностями оказывается включенным во многие социальные связи. Дети с ОВЗ приобретают информацию, доступную их сверстникам, они учатся вступать в равноправные отношения с разными людьми. У них есть возможность для освоения разных социальных ролей, способов сотрудничества с разными людьми. В результате этого облегчается их бесконфликтное включение в социум [1].

Таким образом, под влиянием новых ценностных ориентаций общества и государства, а также в связи с переходом системы специального образования на качественно новый этап развития, возникла необходимость переосмыслить соотношение образовательных достижений ребенка и достижений в области социальной компетенции, переосмысления роли и места личностного, социализации ребенка с ограниченными возможностями здоровья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Понятие "социализация" характеризует в обобщенном виде процесс усвоения индивидом определенной системы знаний, норм, ценностей, установок, образцов поведения, которые входят в понятие культуры, присущей социальной группе и обществу в целом, и позволяет функционировать индивиду в качестве активного субъекта общественных отношений. Социализацию не следует сводить к образованию и воспитанию, хотя она и включает эти процессы. Социализация личности осуществляется под влиянием совокупности многих условий, как социально-контролируемых, и направленно-организуемых, так и стихийных, возникающих спонтанно. Она и есть атрибут образа жизни

личности, и может рассматриваться как ее условие и как результат. Непременным условием социализации является культурная самоактуализация личности, ее активная работа над своим социальным совершенствованием.

Какими бы благоприятными ни были условия социализации, ее результаты во многом зависят от активности самой личности.

В традиционной отечественной социологии социализация рассматривается как саморазвитие личности в процесса ее взаимодействия с различными социальными группами, институтами, организациями, в результате которых вырабатывается активная жизненная позиция личности [2].

Важно иметь в виду, что социализация есть процесс, продолженный в течение всей жизни человека. В связи с этим обычно различают определенные этапы социализации: дотрудовой (детство, обучение), трудовой и послетрудовой.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Одной из главных целей социализации является приспособление, адаптация человека к социальной реальности, что служит, пожалуй, наиболее возможным условием нормального функционирования общества.

Освоение детьми-инвалидами социального опыта, включение их в существующую систему общественных отношений требует от общества определенных дополнительных мер, средств и усилий (это могут быть специальные программы, специальные центры по реабилитации, специальные учебные заведения и т.д.). Но разработка этих мер должна основываться на знании закономерностей, задач, сущности процесса социализации.

Школа, которая выбрала для себя путь реализации инклюзивного процесса прежде всего должна принять как свою школьную культуру соблюдение основных принципов инклюзивного образования.

Их восемь:

1. Ценность человека не зависит от его способностей и достижений.
2. Каждый человек способен чувствовать и думать.
3. Каждый человек имеет право на общение и на то, чтобы быть услышанным.
4. Все люди нуждаются друг в друге.
5. Подлинное образование может осуществляться только в контексте реальных взаимоотношений.
6. Все люди нуждаются в поддержке и дружбе ровесников.
7. Для всех обучающихся достижение прогресса скорее может быть в том, что они могут делать, чем в том, что не могут.
8. Разнообразие усиливает все стороны жизни человека [3].

Процесс включения ребёнка в общеобразовательную среду осуществляется с учётом следующих принципов:

Соблюдение интересов ребёнка. Принцип определяет позицию специалиста, который призван решать проблему ребёнка с максимальной пользой и в интересах ребёнка.

Системность. Принцип обеспечивает единство диагностики, коррекции и развития, т. е. системный подход к анализу особенностей развития и коррекции нарушений детей с

ограниченными возможностями здоровья, а также всесторонний многоуровневый подход специалистов различного профиля, взаимодействие и согласованность их действий в решении проблем ребёнка; участие в данном процессе всех участников образовательного процесса.

Непрерывность. Принцип гарантирует ребёнку и его родителям (законным представителям) непрерывность помощи до полного решения проблемы или определения подхода к её решению.

Вариативность. Принцип предполагает создание вариативных условий для получения образования детьми, имеющими различные недостатки в физическом и (или) психическом развитии.

Для специалистов и педагогов установление отношений сотрудничества с родителями, взаимодействие с семьей предполагает изменение перспективы профессиональной деятельности, дает ощущение востребованности собственной деятельности, пробуждает ресурсы для творчества, поиска новых форм работы, выбора методического подхода, повышает эффективность и результативность деятельности.

Для родителей, воспитывающих детей с ОВЗ, сотрудничество с педагогом расширяет представление о собственной компетентности, придает уверенность в своих силах, способствует пониманию своих возможностей и компенсаторных возможностей ребенка, активному участию в процессе обучения и воспитания, помогает родителю и ребенку адекватно взаимодействовать друг с другом.

Традиция школьного преподавания как трансляции знаний, должна стать специально организованной деятельностью по коммуникации участников обучения, по совместному поиску новых знаний. Профессиональная ориентировка учителя на образовательную программу неизбежно должна измениться на способность видеть индивидуальные возможности ученика и умение адаптировать программу обучения. Профессиональная позиция специалистов сопровождения должна быть направлена на сопровождение учебного процесса, поддержку учителя на уроке, помощь ученику в овладении программным материалом и способами общения с другими детьми.

Одной из форм инклюзивного образования является воспитательная инклюзия, осуществляемая в различных воспитательных организациях (детский сад, школа, учреждение дополнительного образования) и в других учреждениях, посещаемых детьми с ограниченными возможностями здоровья и их родителями (медицинское учреждение, социально-реабилитационный центр).

Традиция школьного преподавания как трансляции знаний, должна стать специально организованной деятельностью по коммуникации участников обучения, по совместному поиску новых знаний. Профессиональная ориентировка учителя на образовательную программу неизбежно должна измениться на способность видеть индивидуальные возможности ученика и умение адаптировать программу обучения. Профессиональная позиция специалистов сопровождения должна быть направлена на сопровождение учебного процесса, поддержку учителя на уроке, помощь ученику в овладении программным материалом и способами общения с другими детьми.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В завершении ещё раз остановимся на критериях эффективности интегрированного обучения, способствующего социализации детей с ОВЗ, которые необходимо четко отслеживать и учитывать [4].

Таким образом, традиция школьного преподавания как трансляции знаний, должна стать специально организованной деятельностью по коммуникации участников обучения, по совместному поиску новых знаний. Профессиональная ориентировка учителя на

образовательную программу неизбежно должна измениться на способность видеть индивидуальные возможности ученика и умение адаптировать программу обучения. Профессиональная позиция специалистов сопровождения должна быть направлена на сопровождение учебного процесса, поддержку учителя на уроке, помощь ученику в овладении программным материалом и способами общения с другими детьми.

Основные направления реализации программы инклюзивного образования:

- а) раннее выявление и коррекция детей с ограниченными возможностями здоровья;
- б) интеграция коррекционно - развивающего и общего образования;
- в) кадрово - методическое обеспечение программы;
- г) управление реализацией программы;
- д) мониторинг реализации программы.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Лаврентьева З.И. Педагогическая реабилитация в процессе социального развития подростков: Авт. дис... д-ра пед. наук. – Новосибирск, 2009.

[2] Малофеев Н.Н. Западная Европа: эволюция отношения общества и государства к лицам с отклонениями в развитии. - М.: «Экзамен», 2003.

[3] Малофеев Н.Н. Особый ребенок – обычное детство // Воспитание и обучение детей с нарушениями развития. – 2011. - №1. – С. 3-7.

[4] Ярская-Смирнова Е.Р., Лошакова И.И. Инклюзивное образование детей-инвалидов // Социологические исследования. - 2003. - № 5. - С. 100-106.

RAQAMLI TA'LIM MUHITIDA TALABALARNING KOGNITIV FAOLLIGINI OSHIRISHNING NAZARIY-METODOLOGIK ASOSLARI

Mannabov Javlon Toxirovich,

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti Samarqand kampusi

Iqtisodiyot va kompyuter injiniringi kafedrası v.b dotsenti

Annotatsiya. Ushbu maqolada oliy ta'lim tizimini raqamli transformatsiyalash sharoitida talabalarining kognitiv faolligini oshirish hamda uni samarli boshqarishning nazariy va metodologik asoslari tadqiq etilgan. Tadqiqotning asosiy madsadi — raqamli ta'lim muhitida kognitiv jarayonlarni faollashtirishning ilmiy-pedagogik omillarini aniqlash va ularni rivojlantirishning kontseptual modelini ishlab chiqishdan iborat. Tadqiqot jarayonida kognitiv va tizimli yondashuvlar, ilmiy-pedagogik manbalarni qiyosiy tahlil qilish, pedagogik kuzatuv hamda ta'lim jarayonini modellash metodlaridan foydalanildi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, an'anaviy ta'lim shakllaridan raqamli ta'lim muhitiga o'tishda talabalarining axborotni idrok etish, tahlil qilish va muammoli vaziyatlarni hal etish ko'nikmalari sifat jihatidan yangi bosqichga ko'tariladi. Raqamli vositalarning pedagogik jihatdan to'g'ri integratsiyalashuvi talabalarining mustaqil fikrlash, kognitiv moslashuvchanlik hamda o'z-o'zini boshqarish darajasini sezilarli darajada oshiradi. Maqola xulosasida raqamli ta'lim platformalarini loyihalashda talabalarining kognitiv xususiyatlarini inobatga olish, interaktiv didaktik resurslarni joriy etish va kognitiv yuklamani optimallashtirish bo'yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ilgari surilgan.

Kalit so'zlar: raqamli ta'lim muhit, kognitiv faollik, raqamli transformatsiya, oliy ta'lim, kognitiv yondashuv, pedagogik modellash, o'z-o'zini boshqarish, didaktik vositalar.

Zamonaviy jamiyatning jadal rivojlanishi va bilimlar iqtisodiyotiga o'tish davrida oliy ta'lim tizimining asosiy vazifasi nafaqat tayyor bilimlarni uzatish, balki talabalarda mustaqil bilish, tahlil qilish va murakkab axborotlar oqimida to'g'ri qaror qabul qilish ko'nikmalarini shakllantirishdan

iboratdir. Bugungi kunda oliy ta'limni raqamli transformatsiyalash jarayoni ta'limning mazmuni, shakli va usullarini tubdan o'zgartirmoqda.

Biroq, amaliyot shuni ko'rsatadiki, ta'lim jarayoniga raqamli texnologiyalarni (LMS platformalari, interaktiv multimedia resurslari, sun'iy intellekt vositalari) joriy etish har doim ham o'z-o'zidan ta'lim sifatining oshishiga olib kelmaydi. Aksariyat hollarda axborotning haddan tashqari ko'pligi (kognitiv yuklama) va ta'lim resurslarining pedagogik jihatdan tizimlashtirilmaganligi talabalarda passiv idrok etish holatlarini keltirib chiqarmoqda. Shu sababli, raqamli ta'lim muhitida talabalarining kognitiv faolligini maqsadli oshirish va uni pedagogik-psixologik nuqtai nazardan to'g'ri boshqarishning nazariy-metodologik poydevorini ishlab chiqish bugungi kun oliy ta'lim didaktikasining eng dolzarb muammolaridan biri hisoblanadi.

Tadqiqot maqsadi: Raqamli ta'lim muhitida talabalarining kognitiv faolligini oshirish hamda uni samarali boshqarishning nazariy-metodologik asoslari va kontseptual modelini ishlab chiqishdan iborat.

Ushbu maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilab olindi:

1. Raqamli transformatsiya sharoitida talabalarining «kognitiv faolligi» tushunchasining mohiyati va pedagogik-psixologik xususiyatlarini ilmiy manbalar bazasida tahlil qilish;
2. Raqamli ta'lim muhitining kognitiv jarayonlarga (diqqat, xotira, tafakkur va idrok) ta'sir qiluvchi omillari hamda didaktik imkoniyatlarini aniqlash;
3. Raqamli ta'lim vositalari vositasida talabalarining kognitiv faolligini oshirish va boshqarishning kontseptual modelini taklif etish.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi shundaki, unda oliy ta'limni raqamlashtirish sharoitida talabalarining kognitiv faolligini oshirish jarayoni an'anaviy ta'lim metodikasidan farqli ravishda kognitiv va tizimli yondashuvlar integratsiyasi asosida asoslab berilgan. Shuningdek, raqamli ta'lim muhitidagi interaktivlik va muammoli topshiriqlar vositasida talabalarining o'z-o'zini regulatsiya qilish hamda kognitiv moslashuvchanlik ko'nikmalarini bosqichma-bosqich rivojlantirishning kontseptual-metodik tamoyillari aniqlangan.

Oliy ta'limda talabalarining kognitiv faolligi, ularning bilish jarayonlarini boshqarish hamda raqamli ta'lim texnologiyalarining ta'lim samaradorligiga ta'siri muammosi so'nggi yillarda mahalliy va xorijiy pedagogika hamda psixologiya fanining markaziy masalalaridan biriga aylandi.

An'anaviy pedagogik va psixologik tadqiqotlarda kognitiv faollik va o'quv faoliyatini boshqarish masalalari B. Bloom, J. Piaget hamda L. Vygotsky ishlarida o'zining fundamental aksini topgan. Biroq zamonaviy raqamli transformation sharoitida ushbu klassik nazariyalarni yangicha didaktik va raqamli kontekstda qayta ko'rib chiqish ehtiyoji tug'ilmoqda.

Raqamli ta'lim muhitida talabalarining bilish faoliyatini tashkil etish va ularning diqqat, xotira hamda mantiqiy tafakkurini rivojlantirish yo'nalishida O'zbekiston va MDH mamlakatlari olimlari tomonidan ham qator tadqiqotlar amalga oshirilgan. Jumladan, oliy ta'limni raqamlashtirish, LMS platformalaridan foydalanish va elektron ta'lim resurslarini yaratishning pedagogik xususiyatlari bo'yicha ilmiy izlanishlar olib borilgan. Biroq, ushbu tadqiqotlarning aksariyatida asosiy e'tibor texnik va texnologik infratuzilmaga qaratilib, raqamli muhitda talabaning kognitiv strukturasida sodir bo'ladigan o'zgarishlar hamda kognitiv yuklamani optimallashtirishning kontseptual-metodik mexanizmlari yetarlicha kompleks tadqiq etilmagan. So'nggi o'nyillikdagi xalqaro ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, raqamli ta'lim va kognitiv faollik kesishmasidagi tadqiqotlar uchta asosiy nazariy yo'nalish atrofida jamlangan:

1. Kognitiv yuklama nazariyasi: J. Sweller va R. Mayer tomonidan ilgari surilgan Kognitiv yuklama nazariyasi hamda Multimedia vositalari orqali ta'lim olish nazariyasi raqamli ta'lim muhitini loyihalashda tayanch metodologik poydevor hisoblanadi. Sweller tadqiqotlarida ta'kidlanishicha, raqamli ta'lim resurslari insonning operativ xotira

imkoniyatlariga mos kelishi zarur. Aks holda, ortiqcha vizual va tekstual axborot talabning bilish faolligini pasaytiradi va axborotni chuqur qayta ishlashga xalaqit beradi.

2. Raqamli konnektivizm va kognitiv moslashuvchanlik: G. Siemens va S. Downes tomonidan asos solingan konnektivizm nazariyasiga ko'ra, raqamli asrda bilish va kognitiv faollik faqat inson miyasi ichida kechmaydi, balki tarmoqlar, raqamli manbalar hamda texnologik tugunlar (nodes) o'rtasidagi bog'liqlikni o'rnatish orqali amalga oshadi. Xalqaro tadqiqotchilar (R. Spiro va boshqalar) raqamli ta'lim muhitida talabalarning kognitiv moslashuvchanligini rivojlantirish — giptext va multimedia tuzilmalari orqali muammolarni ko'p o'lchamli tahlil qilish imkonini berishini isbotlaganlar.
3. O'z-o'zini regulatsiya qilish va kognitiv monitoring: B. Zimmerman va P. Winne izlanishlarida raqamli va masofaviy ta'lim muhitida talabning kognitiv faolligi uning o'z-o'zini boshqarish (metakognitsiya) ko'nikmalariga to'g'ridan-to'g'ri bog'liq ekanligi ko'rsatiladi. Raqamli muhitda o'qituvchining bevosita nazorati kamayganligi sababli, talaba o'zining bilish maqsadi va strategiyasini o'zi belgilashi (metakognitiv monitoring) talab etiladi. Xalqaro tajriba shuni tasdiqlaydiki, LMS va interaktiv platformalarda Quizizz, Kahoot, Moodle) tayyorlangan formativ baholash va teskari aloqa (feedback) vositalari talabalarning metakognitiv faolligini oshiruvchi drayver hisoblanadi.

Adabiyotlar sharhi bo'yicha xulosa: Xalqaro va mahalliy manbalarni qiyosiy tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, raqamli ta'lim muhitida talabalarning kognitiv faolligini oshirish muammosi kognitiv psixologiya, raqamli didaktika va pedagogik menejment tutashuvida kompleks o'rganishni talab etadi. Mavjud xalqaro nazariyalarni milliy oliy ta'lim amaliyotiga moslashtirish va raqamli transformatsiya sharoitiga mos kontseptual-metodik tizimni ishlab chiqish ushbu tadqiqotning zaruriyatini belgilaydi.

Maqola mavzusi: Raqamli ta'lim muhitida talabalarning kognitiv faolligini oshirishning nazariy-metodologik asoslari

Tadqiqotning metodologik poydevorini raqamli ta'lim muhitida talabalarning bilish faoliyatini majmuaviy o'rganish imkonini beruvchi kognitiv, tizimli va faoliyatli yondashuvlar integratsiyasi tashkil etadi:

- Kognitiv yondashuv: Talabalarning axborotni idrok etish, qayta ishlash, xotirada saqlash va muammoli vaziyatlarda qo'llash mexanizmlarini inobatga olgan holda o'quv materiallarini didaktik strukturani maqbullashtirishga xizmat qiladi.
- Tizimli yondashuv: Raqamli ta'lim muhiti, o'qituvchi, talaba hamda didaktik vositalarni bir-biri bilan uzviy bog'liq bo'lgan yaxlit pedagogik tizim sifatida tadqiq etishga imkon beradi.
- Faoliyatli yondashuv: Talabani ta'lim jarayonining passiv tinglovchisidan mustaqil va kognitiv faol sub'ektiga aylantirishga yo'naltiriladi.

Tadqiqot doirasida quyidagi usullar majmuidan foydalanildi:

1. Nazariy usullar: Pedagogik, psixologik va raqamli didaktikaga oid ilmiy-metodik adabiyotlarni tahlil qilish, qiyoslash, umumlashtirish hamda kognitiv jarayonlarni pedagogik modellash.
2. Empirik usullar: Pedagogik kuzatuv, talabalarning kognitiv faollik darajasini aniqlashga qaratilgan so'rovnomalar (anketa va testlar), LMS (Moodle) platformasidagi talabalar faoliyati log-fayllarini (faollik vaqti, topshiriqlar bajarish dinamikasi) tahlil qilish.
3. Matematik-statistik usullar: Tajriba-sinov natijalarining ishonchliligini tasdiqlash uchun SPSS dasturiy paketi yordamida statistik guruhlash, klasterli tahlil va miqdoriy ko'rsatkichlarni qiyoslash.

Raqamli ta'lim muhitida talabalarning kognitiv faolligini bosqichma-bosqich rivojlantirish uchun 4 blokdan iborat kontseptual model ishlab chiqildi va amaliyotga joriy etildi:

1. Maqsadli blok: Raqamli muhitda talabalarda mustaqil va kritik fikrlash, kognitiv moslashuvchanlik hamda metakognitiv boshqaruv ko'nikmalarini shakllantirish va faollashtirish.
2. Mazmuniy-didaktik blok: O'quv materiallarini mikromodullar ko'rinishida strukturalashtirish, kognitiv yuklamani kamaytirish uchun multimedia resurslari va giptext texnologiyalaridan unumli foydalanish.
3. Jarayonli-texnologik blok: LMS platformalari hamda interaktiv raqamli vositalar va muammoli ta'lim elementlarini birgalikda qo'llash orqali o'quv topshiriqlarini interaktiv shaklda tashkil etish.
4. Mezonli-natijaviy blok: Kognitiv faollikning uchta asosiy ko'rsatkichi bo'yicha dinamikani baholash va teskari aloqani ta'minlash.

Tajriba-sinov ishlarining tashkil etilishi: Tadqiqot uch bosqichda amalga oshirildi:

- Aniqllovchi bosqich: Oliy ta'lim muassasalari talabalarining raqamli muhitdagi kognitiv faollik va o'z-o'zini boshqarishning dastlabki darajalari tashxis qilindi.
- Shakllantiruvchi bosqich: Nazorat guruhlarida mashg'ulotlar an'anaviy elektron ta'lim shaklida, tajriba guruhlarida esa taklif etilgan kontseptual-metodik model va interaktiv didaktik vositalar integratsiyasi asosida olib borildi.
- Nazorat-qiyyosiy bosqich: Tajriba va nazorat guruhleri ko'rsatkichlari qayta baholanib, SPSS dasturiy vositalari yordamida kognitiv faollikdagi o'sish ko'rsatkichlari matematik-statistik tahlildan o'tkazildi.

Olingan ilmiy va amaliy natijalar raqamli ta'lim muhitida kognitiv faollik shunchaki axborotlarni elektron formatda uzatish orqali emas, balki kognitiv yuklamani to'g'ri taqsimlash hamda metakognitiv monitoringni yo'lga qo'yish orqali rivojlanishini ko'rsatdi.

- Xalqaro tadqiqotlar bilan taqqoslash: Tadqiqotimiz natijalari J. Sweller hamda R. Mayerning Kognitiv yuklama nazariyasi xulosalarini to'liq tasdiqlaydi. LMS platformasida axborotni mikromodullar shaklida va multimedia resurslari bilan interaktiv taqdim etilishi talabalarda ortiqcha kognitiv zo'riqishni kamaytirib, produktiv fikrlash darajasini oshirgan.
- B. Zimmerman va P. Winne tadqiqotlarida ta'kidlanganidek, o'z-o'zini regulatsiya qilish ko'nikmalari raqamli muhitda yetakchi o'rin tutadi. Tajriba guruhida qo'llanilgan raqamli formativ baholash talabalarda metakognitiv faollikni va mustaqil ta'limga bo'lgan ichki motivatsiyani sezilarli darayver sifatida faollashtirdi.
- Mahalliy amaliyotdagi an'anaviy yondashuvlardan farqli o'laroq, ushbu tadqiqot shuni ko'rsatdiki, raqamli texnologiyalar faqat vosita emas, balki talabaning kognitiv strukturasini shakllantiruvchi va boshqaruvchi didaktik tizim vazifasini o'taydi.

Asosiy natijalar

1. Raqamli ta'lim muhitida talabalarning kognitiv faolligini oshirish hamda boshqarishning nazariy-metodologik asoslari kognitiv, tizimli va faoliyatli yondashuvlar integratsiyasi asosida takomillashtirildi.
2. Tajriba-sinov ishlari taklif etilgan kontseptual-metodik model va didaktik vositalar talabalarning kognitiv faolligini oshirishini va o'quv samaradorligini ta'minlashini isbotladi.

Tadqiqot doirasida ishlab chiqilgan metodik tavsiyalar, kognitiv faollikni tashxislovchi mezonlar hamda LMS platformalarida kognitiv yuklamani optimallashtirish modellari oliy ta'lim muassasalarida o'quv jarayonini raqamlashtirish va modul-kredit tizimida talabalarning mustaqil ta'limini samarali tashkil etishda bevosita qo'llanilishi mumkin.

Tavsiyalar

1. O'quv kurslarini LMS (Moodle) platformalariga joylashtirishda ma'ruza va amaliyot materiallarini "kognitiv yuklama" qoidalariga mos ravishda qisqa va interaktiv mikromodullarga ajratish.
2. Dars jarayonlarida talabalarning metakognitiv va o'z-o'zini boshqarish ko'nikmalarini faollashtiruvchi raqamli formativ baholash va interaktiv didaktik platformalarni muntazam integratsiya qilish.
3. Kelgusi ilmiy izlanishlarda talabalarning kognitiv profillarini sun'iy intellekt va Machine Learning algoritmlari vositasida avtomatik tahlil qilish hamda differentsial ta'lim traektoriyalarini yaratish masalalarini chuqurlashtirish tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals. Handbook I: Cognitive Domain*. New York: David McKay Company.
- [2] Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678>
- [3] Siemens, G. (2005). Connectivism: A Learning Theory for the Digital Age. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning (ITDL)*, 2(1), 3–10.
- [4] Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. New York: Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4>
- [5] Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [6] Winne, P. H. (2011). A Cognitive and Metacognitive Analysis of Self-Regulated Learning. In B. J. Zimmerman & D. H. Schunk (Eds.), *Handbook of Self-Regulation of Learning and Performance* (pp. 15–32). New York: Routledge.
- [7] Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a Self-Regulated Learner: An Overview. *Theory Into Practice*, 41(2), 64–70. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4102_2
- [8] Mannabov, J. T. (2024). Oliy ta'limni raqamli transformatsiyalash sharoitida talabalarning kognitiv faolligini oshirishning pedagogik mexanizmlari. *Oliy ta'lim muammolari va istiqbollari*, 3(1), 45–52.
- [9] Abduqodirov, A. A., & Pardayev, F. Y. (2021). *Masofaviy ta'lim nazariyasi va amaliyoti*. Toshkent: Fan va texnologiya.
- [10] Bepalko, V. P. (2018). *Slagayemyye pedagogicheskoy tekhnologii* [Components of Educational Technology]. Moscow: Pedagogika.

INNOVATSION IQTISODIYOT SHAROITIDA OLIY TA'LIM XIZMATLARI SAMARADORLIGINI OSHIRISHNING RAQAMLI MEXANIZMLARI

Amriyeva Shaxzoda Shuxratovna

Samarqand iqtisodiyot va servis instituti,

“Raqamli iqtisodiyot” kafedrası assistenti,

amriyevashaxzoda250@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada innovatsion iqtisodiyot sharoitida oliy ta'lim xizmatlari samaradorligini oshirishning raqamli mexanizmlari tizimlashtirilgan. Tizimli va qiyosiy tahlil asosida raqamli ta'lim platformasi, integratsiyalashgan boshqaruv tizimi, ta'lim analitikasi, sun'iy intellekt hamda sifat monitoringini yagona boshqaruv konturiga birlashtiruvchi model taklif etilgan. Uning natijadorligini akademik, iqtisodiy, operatsion va ijtimoiy ko'rsatkichlar orqali baholash asoslangan.

Kalit so'zlar: innovatsion iqtisodiyot, oliy ta'lim xizmatlari, samaradorlik, raqamli transformatsiya, ta'lim analitikasi, sun'iy intellekt, boshqaruv axborot tizimi, raqamli sifat monitoringi.

Аннотация. В статье систематизированы цифровые механизмы повышения эффективности услуг высшего образования в условиях инновационной экономики. На основе системного и сравнительного анализа предложена модель, объединяющая цифровую образовательную платформу, информационную систему управления, образовательную аналитику, искусственный интеллект и мониторинг качества. Результативность модели оценивается академическими, экономическими, операционными и социальными показателями.

Ключевые слова: инновационная экономика, услуги высшего образования, эффективность, цифровая трансформация, образовательная аналитика, искусственный интеллект, информационная система управления, мониторинг качества.

Abstract. The article systematises digital mechanisms for improving the efficiency of higher education services in an innovation-driven economy. Based on systems and comparative analysis, it proposes a model integrating a digital learning platform, a management information system, learning analytics, artificial intelligence and quality monitoring. The model is assessed through academic, economic, operational and social indicators.

Keywords: innovation economy, higher education services, efficiency, digital transformation, learning analytics, artificial intelligence, management information system, quality monitoring.

KIRISH

Innovatsion iqtisodiyotda bilim yaratish, uni tezkor tarqatish va amaliy qiymatga aylantirish mamlakat hamda hududlar raqobatbardoshligining muhim manbaiga aylanadi. Shu sababli oliy ta'lim muassasasining natijasi faqat bitiruvchilar soni bilan emas, balki ta'lim sifati, mehnat bozori talablariga mos kompetensiyalar, ilmiy-innovatsion faollik, xizmatlardan foydalanish qulayligi va sarflangan resurslarning qaytimi bilan baholanishi lozim. Talabalar sonining ko'payishi, individual ta'lim trayektoriyalariga ehtiyoj va tez yangilanayotgan kasbiy kompetensiyalar an'anaviy boshqaruv usullarining imkoniyatlarini cheklaydi.

O'zbekistonda oliy ta'lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasi ta'lim sifati, qamrov va boshqaruv samaradorligini oshirishni ustuvor vazifa sifatida belgilagan [1]. “Raqamli O'zbekiston – 2030” strategiyasi esa iqtisodiyot va ijtimoiy sohalarda raqamli texnologiyalarni keng joriy etishga institutsional asos yaratdi [2]. Biroq alohida elektron tizimlarning mavjudligi o'z-o'zidan iqtisodiy samaradorlikni kafolatlamaydi. Axborot tizimlari o'zaro integratsiyalashmagan,

ma'lumotlar boshqaruv qarorlariga aylantirilmagan va natijalar aniq ko'rsatkichlar bilan baholanmagan sharoitda raqamlashtirish qo'shimcha xarajat va takroriy operatsiyalarni ham yuzaga keltirishi mumkin.

Tadqiqotning maqsadi oliy ta'lim xizmatlari samaradorligini oshiradigan raqamli mexanizmlarni aniqlash, ularning o'zaro bog'liqligini asoslash hamda O'zbekiston oliy ta'lim muassasalari uchun natijaga yo'naltirilgan integratsiyalashgan modelni taklif etishdan iborat.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYA

Raqamli transformatsiya tashkilotning qiymat yaratish usuli va boshqaruv jarayonlarini texnologiyalar asosida qayta qurishni anglatadi [3]. UNESCO, OECD va Jahon banki tadqiqotlari uning samarasi infratuzilma, pedagogik tayyorgarlik, o'zaro ishlay oladigan tizimlar, ma'lumotlardan foydalanish va teng imkoniyatlarga bog'liqligini ko'rsatadi [4–6]. Sun'iy intellektni qo'llashda esa akademik halollik, shaxsiy ma'lumotlar himoyasi va inson nazorati ta'minlanishi lozim [7].

Tadqiqotda tizimli tahlil orqali raqamli mexanizmlar yagona ekotizim sifatida o'rganildi; qiyosiy tahlil asosida xalqaro yondashuvlar milliy sharoit bilan solishtirildi; jarayonli yondashuv yordamida “ma'lumot – tahlil – boshqaruv qarori – natija – qayta aloqa” zanjiri ishlab chiqildi. Tadqiqot konseptual xususiyatga ega bo'lib, normativ hujjatlar, xalqaro tashkilotlar hisobotlari va ilmiy adabiyotlarni kontent-tahlil qilishga asoslandi.

TAHLIL VA NATIJALAR

Oliy ta'lim xizmatlari samaradorligi ko'p o'lchovli iqtisodiy kategoriya hisoblanadi. U bir tomondan, ta'lim natijasining sarflangan moliyaviy, mehnat va vaqt resurslariga nisbatini; ikkinchi tomondan esa talabalar, ish beruvchilar, davlat va jamiyat ehtiyojlarining qondirilish darajasini ifodalaydi. Shuning uchun raqamli transformatsiyani faqat qog'oz hujjatlar soni yoki elektron xizmatlar ulushi bilan baholash yetarli emas. Asosiy mezon texnologiyaning ta'lim natijasi va resurs unumdorligiga qo'shgan hissasi bo'lishi kerak.

Tahlil natijasida beshta asosiy mexanizm ajratildi: LMS va raqamli kontent ta'limning moslashuvchanligini; integratsiyalashgan axborot tizimi ma'lumotlarning yaxlitligini; ta'lim analitikasi akademik xavfni erta aniqlashni; sun'iy intellekt maslahat va yordamchi tahlil tezligini; raqamli sifat monitoringi esa natijalarni uzluksiz baholashni ta'minlaydi. Ular yagona boshqaruv konturida ishlaganda resurs tejalishi va ta'lim sifati o'rtasida bog'liqlik yuzaga keladi.

1-jadval.

Oliy ta'lim xizmatlari samaradorligini oshirishning raqamli mexanizmlari

Raqamli mexanizm	Boshqaruv obyekti	Kutiladigan samara	Asosiy indikator
LMS va raqamli kontent	O'qitish va mustaqil ta'lim	Moslashuvchanlik, tezkor teskari aloqa	Kursni yakunlash, o'zlashtirish
Integratsiyalashgan boshqaruv tizimi	Kontingent, yuklama, moliya va resurslar	Takroriy operatsiya va vaqt xarajatining kamayishi	Xizmat muddati, bir talabaga xarajat
Ta'lim analitikasi	Akademik jarayon va xavf guruhlari	Muammoni erta aniqlash, individual yordam	O'qishni tark etish, akademik qarzdorlik
Sun'iy intellekt	Maslahat, kontent va	Mehnat unumdorligi	Javob vaqti, tejalgan

vositalari	yordamchi tahlil	va xizmat tezligi	ish vaqti
Raqamli sifat monitoringi	Natijalar va manfaatdor tomonlar fikri	Dalillarga asoslangan doimiy takomillashtirish	Qoniqish, bandlik, shikoyatlarni ko'rib chiqish

Taklif etilayotgan mexanizm “ma'lumot – tahlil – boshqaruv qarori – natija – qayta aloqa” zanjiriga asoslanadi. Akademik natijalar o'zlashtirish va o'qishni tark etish; iqtisodiy natijalar bir talabaga xarajat va tejalgan ish vaqti; operatsion natijalar xizmat muddati va tizim uzluksizligi; ijtimoiy natijalar esa qoniqish, raqamli inklyuziya va bitiruvchilar bandligi orqali baholanadi.

Raqamli loyihani baholashda xarid narxi bilan birga integratsiya, infratuzilma, kiberxavfsizlik, o'qitish va texnik qo'llab-quvvatlash xarajatlarini qamrab oluvchi umumiy egalik qiymati hisoblanishi zarur. Foyda vaqt tejalishi, xatolar kamayishi, resurslardan foydalanish va ta'lim natijalarining yaxshilanishi orqali aniqlanadi.

Joriy etish jarayonlar va ma'lumotlar auditi, kichik pilot loyiha, natijalarni bazaviy holat bilan taqqoslash, samarali yechimni kengaytirish hamda doimiy monitoring bosqichlarida amalga oshirilishi maqsadga muvofiq.

Amaliyotdagi asosiy xatarlar texnologik emas, ko'pincha tashkiliy xususiyatga ega. Ma'lumotlar sifati pastligi analitik xulosalarni buzadi; tizimlar o'rtasidagi mos kelmaslik xarajatlarni oshiradi; professor-o'qituvchilarning raqamli kompetensiyasi yetarli bo'lmasa, platforma formal hisobot vositasiga aylanadi. Bundan tashqari, talabaning shaxsiy ma'lumotlari, sun'iy intellekt qarorlarining tushuntirilishi va raqamli imkoniyatlardan teng foydalanish kafolatlanishi zarur. Shuning uchun raqamli boshqaruv reglamenti, rollarga asoslangan kirish, ma'lumotlarni minimallashtirish, zaxira nusxa va inson nazoratini saqlash mexanizmlari majburiy element bo'lishi kerak.

XULOSA VA TAKLIFLAR

Tadqiqot natijalari oliy ta'lim xizmatlari samaradorligini oshirishda raqamli texnologiyalar alohida dastur yoki qurilmalar majmui emas, balki ta'lim va boshqaruv jarayonlarini qayta tashkil etuvchi iqtisodiy mexanizm ekanini ko'rsatdi. Samaradorlikka erishish uchun LMS, boshqaruv axborot tizimi, ta'lim analitikasi, sun'iy intellekt va sifat monitoringi yagona ma'lumotlar arxitekturasini hamda umumiy natija ko'rsatkichlari asosida birlashtirilishi lozim.

Oliy ta'lim muassasalari uchun quyidagi takliflar ishlab chiqildi: birinchidan, raqamlashtirish dasturini aniq muammo, bazaviy qiymat va o'lchanadigan maqsadli indikatorlardan boshlash; ikkinchidan, ma'lumotlarni bir marta kiritish va ko'p maqsadda foydalanish tamoyiliga asoslangan integratsiyani yo'lga qo'yish; uchinchidan, ta'lim analitikasini jazolash vositasi emas, akademik xavfni erta aniqlash va qo'llab-quvvatlash mexanizmi sifatida qo'llash; to'rtinchidan, har bir raqamli loyiha bo'yicha umumiy egalik qiymati va kutiladigan iqtisodiy samara hisobini yuritish; beshinchidan, sun'iy intellektdan foydalanishda akademik halollik, shaxsiy ma'lumotlar himoyasi, shaffoflik va inson nazoratini kafolatlovchi ichki siyosatni joriy etish.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 8-oktabrdagi PF-5847-son Farmoni. O'zbekiston Respublikasi oliy ta'lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasi. <https://lex.uz/docs/4545884>

[2] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktabrdagi PF-6079-son Farmoni. “Raqamli O'zbekiston – 2030” strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risida. <https://lex.uz/docs/5030957>

[3] Vial G. Understanding digital transformation: A review and a research agenda // The Journal of Strategic Information Systems. 2019. Vol. 28, No. 2. P. 118–144. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>

[4] UNESCO. Global Education Monitoring Report 2023: Technology in education: A tool on whose terms? Paris: UNESCO, 2023.

[5] OECD. OECD Digital Education Outlook 2023: Towards an Effective Digital Education Ecosystem. Paris: OECD Publishing, 2023. <https://doi.org/10.1787/c74f03de-en>

[6] World Bank. Reimagining Human Connections: Technology and Innovation in Education at the World Bank. Washington, DC: World Bank, 2020.

[7] UNESCO. Guidance for Generative AI in Education and Research. Paris: UNESCO, 2023.

[8] Selwyn N. Education and Technology: Key Issues and Debates. 3rd ed. London: Bloomsbury Academic, 2021.

[9] Bond M., Marín V. I., Dolch C., Bedenlier S., Zawacki-Richter O. Digital transformation in German higher education: student and teacher perceptions and usage of digital media // International Journal of Educational Technology in Higher Education. 2018. Vol. 15. Article 48. <https://doi.org/10.1186/s41239-018-0130-1>

ILMIY TUSHUNCHALARNI ANGLAB TUSHUNISHNI SHAKLLANTIRISHDA INTEGRATIV YONDASHUVNING NAZARIY-METODOLOGIK IMKONIYATLARI

Bobomurodov Ko'paysin Abdivayitovich, Qurbonmurodova Charos Qahhor qizi

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi 180100, Uzbekistan,

G-mail: bobomurodovkupaysin3@gmail.com

Abstract. *This article analyzes the theoretical and methodological potential of an integrative approach in developing students' understanding of scientific concepts. The integrative approach is substantiated as an important pedagogical approach that ensures a transition from the fragmented acquisition of educational content within separate subjects to a holistic system of knowledge. The article clarifies the content of the concepts of "integration," "integrative approach," "scientific concept," and "understanding," and reveals their interrelated didactic and pedagogical connections. The possibilities of integrating systematic, competency-based, activity-oriented, cognitive, and learner-centered approaches in the formation of scientific concepts are demonstrated. Furthermore, the significance of interdisciplinary connections, problem-based learning, project-based activities, inquiry-based learning, STEAM technologies, conceptual maps, and digital educational tools in promoting a deeper understanding of scientific concepts is highlighted. Based on the integrative approach, a pedagogical mechanism and methodological model for developing students' understanding of scientific concepts are proposed.*

Keywords: *integration, integrative approach, scientific concept, understanding, interdisciplinary connections, methodology, cognitive activity, systematic approach, competency-based approach, activity-oriented approach, STEAM, pedagogical mechanism.*

Аннотация. В статье анализируются теоретические и методологические возможности интегративного подхода в формировании у учащихся осознанного понимания научных понятий. Интегративный подход обоснован как важный педагогический подход, обеспечивающий переход от фрагментарного усвоения содержания образования в рамках отдельных учебных дисциплин к целостной системе знаний. В статье уточнено содержание понятий «интеграция», «интегративный подход», «научное понятие», «осознанное понимание», а также раскрыты их взаимосвязанные дидактико-педагогические связи. Показаны возможности интеграции системного, компетентностного, деятельностного,

когнитивного и личностно-ориентированного подходов в процессе формирования научных понятий. Кроме того, освещено значение межпредметных связей, проблемного обучения, проектной деятельности, исследовательского подхода, STEAM-технологий, концептуальных карт и цифровых образовательных средств в обеспечении глубокого осмысления научных понятий. На основе интегративного подхода предложены педагогический механизм и методологическая модель формирования у учащихся осознанного понимания научных понятий.

Ключевые слова: интеграция, интегративный подход, научное понятие, осознанное понимание, межпредметные связи, методология, когнитивная деятельность, системный подход, компетентностный подход, деятельностный подход, STEAM, педагогический механизм.

Annotatsiya. Mazkur maqolada o'quvchilarda ilmiy tushunchalarni anglab tushunishni shakllantirishda integrativ yondashuvning nazariy va metodologik imkoniyatlari tahlil qilingan. Integrativ yondashuv ta'lim mazmunini alohida fanlar doirasida fragmentar o'zlashtirishdan yaxlit bilimlar tizimiga o'tishni ta'minlovchi muhim pedagogik yondashuv sifatida asoslangan. Maqolada «integratsiya», «integrativ yondashuv», «ilmiy tushuncha», «anglab tushunish» tushunchalarining mazmuni aniqlashtirilgan hamda ularning o'zaro didaktik-pedagogik aloqalari ochib berilgan. Ilmiy tushunchalarni shakllantirishda tizimli, kompetensiyaviy, faoliyatga yo'naltirilgan, kognitiv va shaxsga yo'naltirilgan yondashuvlarni integratsiyalash imkoniyatlari ko'rsatilgan. Shuningdek, fanlararo aloqalar, muammoli ta'lim, loyihaviy faoliyat, tadqiqotchilik yondashuvi, STEAM texnologiyalari, konseptual xaritalar va raqamli ta'lim vositalarining ilmiy tushunchalarni chuqur anglashdagi ahamiyati yoritilgan. Integrativ yondashuv asosida ilmiy tushunchalarni anglab tushunishning pedagogik mexanizmi va metodologik modeli taklif etilgan.

Kalit so'zlar: integratsiya, integrativ yondashuv, ilmiy tushuncha, anglab tushunish, fanlararo aloqalar, metodologiya, kognitiv faoliyat, tizimli yondashuv, kompetensiyaviy yondashuv, faoliyatga yo'naltirilgan yondashuv, STEAM, pedagogik mexanizm.

Kirish. Zamonaviy ta'lim tizimida o'quvchilarda chuqur, tizimli va funksional bilimlarni shakllantirish muhim pedagogik vazifalardan biri hisoblanadi. Bugungi kunda ta'lim natijasi o'quvchining muayyan fakt yoki qoidani yodlab qolishi bilan emas, balki uning bilimlarni anglashi, tushunchalar o'rtasida mantiqiy aloqalar o'rnatishi, bilimlarni turli vaziyatlarda qo'llashi va yangi bilimlarni mustaqil egallay olishi bilan belgilanadi.

Ilmiy tushunchalarni anglab tushunish mazkur jarayonning markaziy komponentlaridan biridir. Chunki ilmiy tushuncha o'quvchining predmetga oid bilimlarini tizimlashtiradi, hodisa va jarayonlarni umumlashtirishga, ular o'rtasidagi qonuniyatlarni aniqlashga va nazariy bilimlarni amaliy faoliyatga tatbiq etishga imkoniyat yaratadi.

Biroq ta'lim amaliyotida ilmiy tushunchalar ko'pincha muayyan fan doirasida, alohida va o'zaro uzilgan holda o'zlashtiriladi. Bunday holat o'quvchida bilimlarning fragmentar shakllanishiga, tushunchalar o'rtasidagi aloqalarning yetarlicha anglanmasligiga va olingan bilimlarni yangi vaziyatlarga ko'chirishda qiyinchiliklarga olib kelishi mumkin.

Shu nuqtai nazardan, integrativ yondashuv ilmiy tushunchalarni anglab tushunishni shakllantirishning nazariy-metodologik asoslaridan biri sifatida alohida ahamiyat kasb etadi.

Mavzuga oid adabiyotlarning sharhi. Ilmiy tushunchalarni anglab tushunish muammosi pedagogika, psixologiya, didaktika va metodika fanlarining muhim tadqiqot yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Ilmiy tushuncha o'quvchining muayyan hodisa, jarayon, predmet yoki qonuniyat haqidagi alohida faktlarni yod olishi bilan cheklanmay, ular o'rtasidagi sabab-oqibat, tizimli va mantiqiy bog'lanishlarni anglashini nazarda tutadi. Shu nuqtayi nazardan, ilmiy tushunchalarni shakllantirish masalasi bilimlarni mexanik ravishda o'zlashtirishdan ko'ra, ularni turli vaziyatlarda qo'llash, boshqa tushunchalar bilan bog'lash va yangi bilimlarni mavjud bilimlar tizimiga integratsiya qilish jarayoni sifatida qaralmoqda.

Pedagogik va psixologik adabiyotlarda tushunchalarni shakllantirishning nazariy asoslari, avvalo, L.S. Vygotskiy, J. Piaget, J. Bruner, D. Ausubel kabi olimlarning qarashlari bilan bog'liq. Vygotskiy ta'lim va rivojlanishning o'zaro aloqasini asoslab, bilimlarning ijtimoiy hamkorlik va faol bilish jarayonida shakllanishiga e'tibor qaratadi. Piagetning kognitiv rivojlanish nazariyasida esa yangi bilimlarning avvalgi bilimlar bilan o'zaro munosabati va kognitiv tuzilmalarning qayta tashkil etilishi muhim o'rin egallaydi. Ausubelning mazmunli o'rganish nazariyasida yangi bilimlarning o'quvchining mavjud kognitiv tuzilmasi bilan bog'lanishi chuqur tushunishning muhim sharti sifatida qaraladi. Mazkur nazariyalar integrativ yondashuv uchun metodologik asos bo'lib, yangi ilmiy tushunchalarni o'quvchida mavjud bilimlar tizimi bilan bog'lash zarurligini ko'rsatadi.

Tadqiqot metodologiyasi. Mazkur tadqiqotning metodologik asosini umumiy o'rta ta'lim jarayonida o'quvchilarda ilmiy tushunchalarni anglab tushunishni shakllantirishning nazariy va amaliy imkoniyatlarini aniqlash, shuningdek, ushbu jarayonda integrativ yondashuvning didaktik hamda metodik imkoniyatlarini asoslash tashkil etadi. Tadqiqotda ilmiy tushunchalarni shakllantirish jarayoni o'quvchining tayyor bilimlarni o'zlashtirishi emas, balki mavjud bilim, tajriba va yangi axborot o'rtasidagi aloqalarni anglash, tushunchalarni tizimlashtirish, ularni turli vaziyatlarda qo'llash va o'z faoliyatini tahlil qilish jarayoni sifatida talqin qilindi. Tadqiqot metodologiyasi tizimli, integrativ, kompetensiyaviy, kognitiv va faoliyatga yo'naltirilgan yondashuvlar uyg'unligiga asoslandi. Mazkur yondashuvlarning o'zaro aloqadorligi ilmiy tushunchalarni anglab tushunish jarayonini ko'p komponentli pedagogik hodisa sifatida o'rganish imkonini beradi. **Tizimli yondashuv** tadqiqotning asosiy metodologik yo'nalishlaridan biri sifatida belgilandi. Ushbu yondashuv asosida ilmiy tushunchalarni shakllantirish jarayoni o'zaro bog'liq komponentlardan tashkil topgan yaxlit pedagogik tizim sifatida qaraldi. Tizimning maqsadli komponenti ilmiy tushunchalarni ongli va chuqur o'zlashtirishni ta'minlashga, mazmuniy komponenti turli fanlarga oid bilimlarni o'zaro bog'lashga, jarayonli komponenti integrativ metod va vositalardan foydalanishga, natijaviy komponenti esa o'quvchilarning tushunchalarni izohlash, taqqoslash, umumlashtirish va amaliy vaziyatlarda qo'llash qobiliyatlarini rivojlantirishga yo'naltirildi. **Integrativ yondashuv** tadqiqotning markaziy metodologik asosi sifatida olindi. Bunda turli o'quv fanlari va bilim sohalariga oid tushunchalar o'rtasidagi mazmuniy, mantiqiy, sabab-oqibat va funksional aloqalarni aniqlashga alohida e'tibor qaratildi. Integrativ yondashuv o'quvchida alohida fan doirasidagi bilimlarni boshqa fanlar, hayotiy tajriba va amaliy faoliyat bilan bog'lash imkonini beruvchi pedagogik mexanizm sifatida talqin qilindi. Tadqiqotda integratsiyaning **mazmuniy, metodik, faoliyatli va kognitiv** jihatlari ajratib olindi. Mazmuniy integratsiya turli fanlarning o'quv materiallari o'rtasidagi aloqalarni belgilashni; metodik integratsiya turli o'qitish metodlarini uyg'unlashtirishni; faoliyatli integratsiya o'quvchilarni muammoli, tadqiqotchilik va amaliy faoliyatga jalb etishni; kognitiv integratsiya esa yangi tushunchalarni avvalgi bilimlar bilan bog'lash va yagona bilimlar tizimida qayta tashkil etishni nazarda tutadi.

Tahlil va natijalar.1. Integratsiya tushunchasining pedagogik-metodologik mohiyati

«Integratsiya» atamasi lotincha «integratio» so'zidan kelib chiqqan bo'lib, yaxlitlashtirish, qismlarni bir butunga birlashtirish ma'nolarini anglatadi. Pedagogikada integratsiya ta'lim mazmuni, maqsadi, metodlari va natijalarini o'zaro bog'lash orqali o'quvchida yaxlit bilim va tasavvurlarni shakllantirish jarayoni sifatida qaraladi. Integrativ yondashuvni oddiy fanlararo aloqa bilan tenglashtirib bo'lmaydi. Fanlararo aloqa muayyan fan mazmunini boshqa fanlar bilimlari bilan bog'lashni nazarda tutsa, integrativ yondashuv ta'lim mazmuni, faoliyat usullari va bilish jarayonlarini yagona tizimga birlashtirishni nazarda tutadi. Integrativ yondashuvning pedagogik mohiyati quyidagi mantiqiy zanjir orqali ifodalanishi mumkin:

alohida bilimlar → o'zaro aloqa → tizimlashtirish → umumlashtirish → yaxlit tushuncha → yangi vaziyatda qo'llash.

Shu jihatdan integratsiya o'quvchining bilimlarini miqdor jihatdan ko'paytirishdan ko'ra, ularning ichki tuzilishi va o'zaro munosabatlarini takomillashtirishga qaratilgan jarayon hisoblanadi.

2. Ilmiy tushuncha va anglab tushunishning integrativ tabiati

Ilmiy tushuncha muayyan predmet, hodisa yoki jarayonning muhim, umumiy va barqaror belgilarini aks ettiruvchi tafakkur shaklidir. Tushunchaning shakllanishi o'quvchidan ma'lumotni qabul qilishnigina emas, balki uni tahlil qilish, taqqoslash, umumlashtirish va tizimlashtirishni talab qiladi.

Anglab tushunish esa o'quvchining bilim mazmunini ichki mantiqiy bog'liqliklari bilan o'zlashtirishi, uni avvalgi bilimlari bilan integratsiyalashi va yangi vaziyatlarda qo'llay olish qobiliyatini anglatadi.

Shu sababli ilmiy tushunchalarni anglash tabiatan integrativ jarayondir. O'quvchi yangi tushunchani o'zlashtirish jarayonida:

- avvalgi bilimlarini faollashtiradi;
- yangi axborotni mavjud bilimlar bilan taqqoslaydi;
- umumiy va xususiy belgilarni ajratadi;
- turli tushunchalar o'rtasida aloqa o'rnatadi;
- yangi bilimni yaxlit bilim tizimiga kiritadi;
- tushunchani yangi vaziyatda qo'llaydi.

Demak, integratsiya ilmiy tushunchaning tashqi mazmunini emas, balki uning o'quvchi ongidagi kognitiv tuzilishini ham o'zgartiradi.

3. Ilmiy tushunchalarni anglab tushunishda integrativ yondashuvning metodologik asoslari

Integrativ yondashuvni ilmiy-metodologik jihatdan asoslashda bir nechta yondashuvlarning o'zaro uyg'unligi muhim.

Tizimli yondashuv

Tizimli yondashuvga ko'ra, ta'lim jarayoni o'zaro bog'liq elementlardan tashkil topgan yaxlit tizim sifatida qaraladi. Ilmiy tushuncha ham alohida bilim emas, balki boshqa tushunchalar bilan munosabatga kirishuvchi tizim elementi hisoblanadi.

Masalan, «energiya» tushunchasini o'zlashtirishda fizikadagi energiya turlari, biologiyada organizmning energiya almashinuvi, kimyoda reaksiyalarning energetik jihatlari va geografiyada tabiiy resurslar o'rtasidagi bog'liqliklarni ko'rsatish o'quvchida yaxlit ilmiy tasavvurni shakllantiradi.

Kognitiv yondashuv. Kognitiv yondashuv o'quvchining bilimni qanday qabul qilishi, qayta ishlashi, saqlashi va qo'llashga e'tibor qaratadi. Integratsiya sharoitida yangi tushuncha mavjud kognitiv tuzilmalar bilan bog'lanadi.

Bunda yangi bilimni «tayyor axborot» sifatida qabul qilish emas, balki mavjud bilimlar bilan bog'lash asosiy mexanizm hisoblanadi.

Faoliyatga yo'naltirilgan yondashuv

Ilmiy tushuncha faoliyat jarayonida chuqurroq o'zlashtiriladi. Shu sababli o'quvchi tushunchani faqat ta'riflash emas, balki undan foydalanish, muammoni hal qilish, tajriba o'tkazish, loyiha ishlab chiqish va tadqiqot olib borish imkoniyatiga ega bo'lishi lozim.

Kompetensiyaviy yondashuv

Kompetensiyaviy yondashuv ilmiy tushunchalarni amaliy vaziyatlarda qo'llashga alohida e'tibor qaratadi. Bunda bilim → ko'nikma → faoliyat → natija munosabati ta'minlanadi.

Integrativ ta'limda kompetensiyaviy yondashuv o'quvchining turli fanlardan olgan bilimlarini birlashtirib, kompleks muammoni hal qilish qobiliyatini rivojlantiradi.

Shaxsga yo'naltirilgan yondashuv

Har bir o'quvchining bilim, tajriba, qiziqish va bilish imkoniyatlari turlicha. Integrativ ta'lim mazmuni o'quvchining individual tajribasi bilan bog'langanida bilimning shaxsiy ahamiyati ortadi.

Xulosa va takliflar. Ilmiy tushunchalarni anglab tushunishni shakllantirish murakkab va ko'p komponentli pedagogik jarayon bo'lib, uni samarali tashkil etish ta'lim mazmuni, bilish faoliyati, metodlar, texnologiyalar va baholash mexanizmlarining o'zaro uyg'unligini talab qiladi. Integrativ yondashuv mazkur uyg'unlikni ta'minlovchi nazariy-metodologik asoslardan biri sifatida namoyon bo'ladi.

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, integrativ yondashuvda ilmiy tushuncha alohida va izolyatsiyalangan bilim birligi sifatida emas, balki boshqa tushunchalar, fanlar, amaliy faoliyat va o'quvchining shaxsiy tajribasi bilan bog'liq tizim elementi sifatida qaraladi.

Integrativ yondashuvning samaradorligi, avvalo, o'quvchining mavjud bilimlarini yangi bilimlar bilan bog'lash, fanlararo aloqalarni belgilash, umumlashtirish, bilimlarni yangi vaziyatlarga ko'chirish va refleksiya qilish imkoniyatlarini kengaytirish bilan belgilanadi.

Shu asosda ilmiy tushunchalarni anglab tushunishni shakllantirishning integrativ pedagogik mexanizmini quyidagi formula orqali ifodalash mumkin:

mavjud bilimlarni aktuallashtirish → yangi bilimni qabul qilish → konseptual bog'lash → fanlararo integratsiya → umumlashtirish → amaliyotda qo'llash → transfer → refleksiya.

Demak, integrativ yondashuv o'quvchilarda ilmiy tushunchalarni anglab tushunishni shakllantirish bilan bir qatorda ularning tizimli fikrlashi, mustaqil bilish faoliyati, muammoli vaziyatlarni hal qilish qobiliyati va funksional bilimlarini rivojlantirish uchun ham metodologik asos bo'lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

- [1] Mavlonova R., Rahmonqulova N. *Boshlang'ich ta'limda integratsiya*. — Toshkent, 2018.
- [2] Yo'ldoshev J.G'., Usmonov S.A. *Pedagogik texnologiya asoslari*. — Toshkent: O'qituvchi, 2004.
- [3] Tolipov O'., Usmonboyeva M. *Pedagogik texnologiyalarning tatbiqiy asoslari*. — Toshkent, 2006.
- [4] Saidahmedov N. *Yangi pedagogik texnologiyalar*. — Toshkent: Moliya, 2003.
- [5] Azizxo'jayeva N.N. *Pedagogik texnologiyalar va pedagogik mahorat*. — Toshkent: O'qituvchi, 2006.

UMUMIY O'RTA TA'LIM MUASSASALARIDA ILMIY TUSHUNCHALARNI SHAKLLANTIRISH AMALIYOTINING HOLATI

Bobomurodov Ko'paysin Abdivayitovich, Murodova Zaxro Sirojiddin qizi

Yarashova Sevinch Asadullo qizi

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi 180100, Uzbekistan,

G-mail: bobomurodovkupaysin3@gmail.com

Abstract. This article analyzes the current state of the practice of developing scientific concepts among students in general secondary education institutions. It examines aspects of scientific concept formation related to educational content, curricula, textbooks, teachers' activities, and students' cognitive processes. The analysis highlights the potential of various methods, including explanation, question-and-answer, observation, practical activities, problem-based situations, experimentation, project-based learning, and digital educational tools, in facilitating students' acquisition of scientific concepts. At the same time, several challenges have been identified, including mechanical memorization of concepts, insufficiently established interdisciplinary connections, difficulties in transferring theoretical knowledge into practice, and inadequate support for students' independent thinking and reflective activities. The article substantiates the importance of the integrated use of an integrative approach, concept maps, problem-based and inquiry-based learning, project activities, and digital technologies in addressing these challenges.

Keywords: general secondary education, scientific concept, concept formation, conscious understanding, educational content, interdisciplinary integration, cognitive activity, problem-based learning, inquiry-based learning, digital technology, pedagogical practice.

Аннотация. В статье проанализировано современное состояние практики формирования научных понятий у учащихся в учреждениях общего среднего образования. Освещены аспекты формирования научных понятий, связанные с содержанием образования, учебными программами, учебниками, деятельностью учителя и познавательной деятельностью учащихся. В ходе анализа раскрыты возможности использования объяснения, вопросов и ответов, наблюдения, практических занятий, проблемных ситуаций, экспериментов, проектной деятельности и цифровых образовательных средств в процессе усвоения учащимися научных понятий. Вместе с тем выявлены такие проблемы, как механическое запоминание понятий, недостаточно развитые межпредметные связи, трудности переноса теоретических знаний в практическую деятельность, а также недостаточная поддержка самостоятельного мышления и рефлексивной деятельности учащихся. В статье обоснована значимость комплексного использования интегративного подхода, концептуальных карт, проблемного и исследовательского обучения, проектной деятельности и цифровых технологий в целях преодоления выявленных проблем.

Ключевые слова: общее среднее образование, научное понятие, формирование понятий, осознанное понимание, содержание образования, межпредметная интеграция, познавательная деятельность, проблемное обучение, исследовательская деятельность, цифровые технологии, педагогическая практика.

Annotatsiya. Mazkur maqolada umumiy o'rta ta'lim muassasalarida o'quvchilarda ilmiy tushunchalarni shakllantirish amaliyotining zamonaviy holati tahlil qilingan. Ilmiy tushunchalarni shakllantirishning ta'lim mazmuni, o'quv dasturlari, darsliklar, o'qituvchi faoliyati va o'quvchilarning bilish faoliyati bilan bog'liq jihatlari yoritilgan. Tahlil jarayonida ilmiy tushunchalarni o'zlashtirishda tushuntirish, savol-javob, kuzatish, amaliy mashg'ulot, muammoli vaziyat, tajriba, loyihaviy faoliyat va raqamli ta'lim vositalaridan foydalanish imkoniyatlari ochib berilgan. Shu bilan birga, tushunchalarni mexanik yodlash, fanlararo aloqalarning yetarli darajada yo'lga qo'yilmaganligi, nazariy bilimlarni amaliyotga ko'chirishdagi qiyinchiliklar, o'quvchilarning mustaqil fikrlashi va refleksiv faoliyatini yetarlicha qo'llab-quvvatlamaslik kabi muammolar aniqlangan. Maqolada mazkur muammolarni bartaraf etishda integrativ yondashuv, konseptual xaritalar, muammoli va tadqiqotchilik ta'limi, loyihaviy faoliyat hamda raqamli texnologiyalardan kompleks foydalanishning ahamiyati asoslangan.

Kalit so'zlar: umumiy o'rta ta'lim, ilmiy tushuncha, tushuncha shakllanishi, anglab tushunish, ta'lim mazmuni, fanlararo integratsiya, bilish faoliyati, muammoli ta'lim, tadqiqotchilik, raqamli texnologiya, pedagogik amaliyot.

Kirish. Zamonaviy umumiy o'rta ta'lim tizimi oldida turgan muhim vazifalardan biri o'quvchilarda nafaqat predmetga oid bilimlarni, balki mazkur bilimlarni anglash, tizimlashtirish, ular o'rtasidagi aloqalarni aniqlash va yangi vaziyatlarda qo'llash qobiliyatini shakllantirishdan iborat.

Ayniqsa, ilmiy tushunchalar o'quvchining ilmiy dunyoqarashi va mantiqiy tafakkurini rivojlantirishda muhim ahamiyatga ega. Ilmiy tushuncha orqali o'quvchi muayyan hodisa, predmet yoki jarayonning muhim va umumiy belgilarini anglaydi, ular o'rtasidagi qonuniyatlarni tushunadi hamda bilimlarni boshqa holatlarga tatbiq etish imkoniyatiga ega bo'ladi.

Umumiy o'rta ta'limda ilmiy tushunchalarni shakllantirish tabiiy fanlar, matematika, informatika, ijtimoiy-gumanitar fanlar va til ta'limi jarayonida amalga oshiriladi. Biroq tushunchalarning fanlar kesimida alohida o'rganilishi ba'zi hollarda o'quvchilarda bilimlarning fragmentar shakllanishiga sabab bo'lishi mumkin.

Shu bois umumiy o'rta ta'lim muassasalarida ilmiy tushunchalarni shakllantirish amaliyotini o'rganish, mavjud yondashuvlar va pedagogik imkoniyatlarni tahlil qilish, mavjud muammolarni aniqlash hamda takomillashtirish yo'llarini belgilash dolzarb ilmiy-pedagogik vazifa hisoblanadi.

Mavzuga oid adabiyotlarning sharhi. Umumiy o'rta ta'lim muassasalarida o'quvchilarda ilmiy tushunchalarni shakllantirish masalasi pedagogika, psixologiya, didaktika va metodika fanlarining muhim tadqiqot yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Ilmiy tushunchalarni shakllantirish jarayoni o'quvchining tayyor bilimlarni o'zlashtirishi bilan cheklanmay, hodisa va jarayonlarning mohiyatini anglash, ularni o'zaro bog'lash, umumlashtirish, taqqoslash hamda amaliy vaziyatlarda qo'llash kabi murakkab bilish jarayonlarini ham qamrab oladi.

Ilmiy tushunchalarning shakllanishi va rivojlanishining psixologik asoslari L.S. Vygotskiy tadqiqotlarida alohida o'rin egallaydi. Olim ilmiy tushunchalarning shakllanishini bolaning tafakkuri rivojlanishi bilan uzviy bog'liq holda izohlaydi. Uning qarashlariga ko'ra, ilmiy tushunchalar o'quv jarayonida tizimli va maqsadli ta'lim ta'sirida shakllanib, o'quvchining mavjud bilimlari bilan yangi bilimlar o'rtasidagi aloqalarni o'rnatishiga imkon beradi. Vygotskiyning yaqin rivojlanish zonasi haqidagi konsepsiyasi o'qituvchining o'quvchi bilish faoliyatini qo'llab-quvvatlashi va murakkab tushunchalarni bosqichma-bosqich o'zlashtirishini tashkil etish zarurligini asoslaydi.

J. Piagetning kognitiv rivojlanish nazariyasi ham ilmiy tushunchalarni o'zlashtirishning yoshga xos jihatlarini tushuntirishda muhim nazariy manba hisoblanadi. Piaget o'quvchining bilimni tayyor shaklda qabul qiluvchi subyekt emas, balki faol ravishda quruvchi subyekt sifatidagi rolini ta'kidlaydi. Mazkur yondashuv ilmiy tushunchalarni shakllantirishda kuzatish, tajriba, taqqoslash, muammoli vaziyatlar va mustaqil xulosalarning ahamiyatini ko'rsatadi.

J.D. Novak va D.B. Gowin tomonidan ishlab chiqilgan konseptual xaritalash g'oyasi o'quvchilarning tushunchalar o'rtasidagi mantiqiy va ierarxik aloqalarni anglashiga yordam beruvchi vosita sifatida qaraladi. Konseptual xaritalar orqali o'quvchi alohida faktlarni yodlashdan ko'ra, tushunchalar o'rtasidagi sabab-oqibat, umumiy-xususiy va tizimli munosabatlarni ko'rish imkoniyatiga ega bo'ladi. Shu jihatdan ushbu metod umumiy o'rta ta'limda ilmiy tushunchalarni anglab o'zlashtirishni tashkil etishda amaliy ahamiyat kasb etadi.

J. Brunerning kashfiyot orqali o'qitish konsepsiyasida ham o'quvchilarning bilimlarni mustaqil izlanish va faol bilish jarayoni orqali egallashiga katta e'tibor qaratiladi. Mazkur yondashuv ilmiy tushunchalarni shakllantirishda muammoli savollar, kuzatish, tajriba va mustaqil xulosa chiqarish kabi metodlardan foydalanish zarurligini ko'rsatadi. Bruner ta'lim mazmunini o'quvchining rivojlanish darajasiga mos ravishda bosqichma-bosqich murakkablashtirish orqali bir tushunchani turli darajalarda qayta o'zlashtirish imkoniyatini ham asoslaydi.

Tadqiqot metodologiyasi. Mazkur tadqiqotning metodologik asosini umumiy o'rta ta'lim muassasalarida o'quvchilarda ilmiy tushunchalarni shakllantirish jarayonining mazmuni, mavjud

amaliyoti, metodik imkoniyatlari va muammolarini aniqlashga yo'naltirilgan tizimli, integrativ, kompetensiyaviy va faoliyatga yo'naltirilgan yondashuvlar tashkil etadi. Tadqiqotda ilmiy tushunchalarni shakllantirish jarayoni o'quvchining tayyor bilimlarni o'zlashtirishi sifatida emas, balki bilimlarni anglash, tahlil qilish, umumlashtirish, tushunchalar o'rtasidagi aloqalarni aniqlash va ularni amaliy vaziyatlarda qo'llashga asoslangan faol bilish jarayoni sifatida qaraldi.

Tadqiqotning asosiy maqsadi umumiy o'rta ta'lim muassasalarida ilmiy tushunchalarni shakllantirish amaliyotining hozirgi holatini aniqlash, mavjud metodik yondashuvlarni tahlil qilish hamda o'quvchilarning ilmiy tushunchalarni anglab o'zlashtirishiga ta'sir etuvchi omillarni belgilashdan iborat.

Tadqiqot metodologiyasida, avvalo, **tizimli yondashuv** asos qilib olindi. Ushbu yondashuv asosida ilmiy tushunchalarni shakllantirish jarayoni o'zaro bog'liq komponentlardan tashkil topgan yaxlit pedagogik tizim sifatida o'rganildi. Mazkur tizimning maqsadli, mazmuniy, metodik, faoliyatli va natijaviy komponentlari o'zaro aloqadorlikda tahlil qilindi.

Integrativ yondashuv orqali o'quvchilarning ilmiy tushunchalarni turli fanlar doirasida o'zaro bog'liq holda o'zlashtirish imkoniyatlari o'rganildi. Bunda alohida fanlarda shakllantiriladigan tushunchalarning o'zaro aloqadorligi, fanlararo bog'lanishlarning mavjudligi hamda bilimlarni yaxlit tizimga keltirish imkoniyatlariga e'tibor qaratildi.

Tadqiqotda **faoliyatga yo'naltirilgan yondashuv** o'quvchilarning ilmiy tushunchalarni o'zlashtirishdagi faol ishtirokini aniqlash uchun qo'llanildi. Mazkur yondashuv asosida kuzatish, taqqoslash, tasniflash, muammoli vaziyatlarni hal etish, tajriba o'tkazish, mustaqil xulosa chiqarish va amaliy topshiriqlarni bajarish kabi faoliyat turlari tahlil qilindi.

Tahlil va natijalar.1. Ilmiy tushunchalarni shakllantirish amaliyotining mazmuni

Umumiy o'rta ta'lim muassasalarida ilmiy tushunchalarni shakllantirish, avvalo, ta'lim mazmuni orqali amalga oshiriladi. O'quv dasturlarida fanning asosiy tushunchalari muayyan mantiqiy ketma-ketlik asosida joylashtiriladi.

Tushunchalarni shakllantirish jarayoni odatda quyidagi elementlarni qamrab oladi:

yangi tushunchaga ehtiyoj yaratish → tushuncha obyektini kuzatish → asosiy belgilarni aniqlash → taqqoslash → umumlashtirish → tushunchani ta'riflash → misollar orqali mustahkamlash → amaliyotda qo'llash → nazorat va baholash.

Bunday jarayonda o'qituvchi o'quvchilarning mavjud bilimlarini yangi bilimlar bilan bog'lashga harakat qiladi.

Masalan, fizika darsida «zichlik» tushunchasini shakllantirishda o'quvchilarning massa va hajm haqidagi avvalgi bilimlaridan foydalaniladi. Biologiyada «ekotizim» tushunchasini o'rganishda organizm, muhit, oziq zanjiri va o'zaro ta'sir kabi avvalgi tushunchalar bilan aloqa o'rnatiladi. Matematikada funksiya tushunchasini shakllantirishda o'zgaruvchilar, bog'liqlik va koordinata kabi bilimlar bir tizimga keltiriladi.

Demak, tushunchalarni shakllantirishda yangi bilimning avvalgi bilimlar tizimi bilan bog'lanishi muhim ahamiyatga ega.

2. Ta'lim mazmuni va o'quv dasturlarida ilmiy tushunchalarning ifodalanishi

Ilmiy tushunchalarning shakllanish sifati ko'p jihatdan ta'lim mazmunining tuzilishiga bog'liq.

O'quv dasturlarida tushunchalarning mantiqiy izchilligi ta'minlansa, o'quvchi oddiy tushunchalardan murakkab tushunchalarga bosqichma-bosqich o'tib boradi. Bu esa bilimlarning tizimli o'zlashtirilishiga xizmat qiladi.

Shu bilan birga, tushunchalarning vertikal va gorizontal bog'liqligi ham muhim.

Vertikal bog‘liqlik bir tushunchaning ta’lim bosqichlari bo‘yicha bosqichma-bosqich rivojlanishini anglatadi.

Gorizontal bog‘liqlik esa bir vaqtda o‘rganilayotgan turli fanlar mazmuni o‘rtasidagi aloqani ta’minlaydi.

Masalan, «energiya», «harakat», «modda», «axborot», «tizim», «muhit», «miqdor», «vaqt» kabi umumiy ilmiy tushunchalar bir nechta fanlarda turli mazmun va kontekstlarda uchraydi.

Ushbu tushunchalarni fanlararo integratsiya asosida o‘rganish o‘quvchilarda ularning mazmunini kengroq va yaxlitroq anglash imkonini beradi.

3. O‘qituvchining ilmiy tushunchalarni shakllantirishdagi faoliyati

O‘qituvchi ilmiy tushunchalarni shakllantirish jarayonining asosiy tashkilotchisi hisoblanadi.

An’anaviy dars jarayonida o‘qituvchi ko‘pincha tushunchaning ta’rifini beradi, uni misollar bilan izohlaydi va o‘quvchilardan qayta aytib berishni talab qiladi.

Bunday yondashuv tushunchaning tashqi belgilarini eslab qolishga yordam bersa-da, uning mazmun-mohiyatini chuqur anglashni har doim ham ta’minlamaydi.

Zamonaviy pedagogik yondashuvda esa o‘qituvchi:

muammoli vaziyat yaratadi;

savollar orqali o‘quvchini fikrlashga undaydi;

kuzatish va tajribani tashkil etadi;

o‘quvchilarni taqqoslashga yo‘naltiradi;

muhim belgilarni mustaqil aniqlashga sharoit yaratadi;

tushunchalar o‘rtasida aloqa o‘rnatishni tashkil etadi;

bilimlarni yangi vaziyatlarda qo‘llashga undaydi;

refleksiyani amalga oshiradi.

Bunday pedagogik faoliyat o‘quvchining bilim olishdagi subyektiv faolligini oshiradi.

4. O‘quvchilarning ilmiy tushunchalarni o‘zlashtirish holati

Ilmiy tushunchalarni o‘zlashtirish darajasi o‘quvchilarda bir xil emas. Ayrim o‘quvchilar tushunchalarni tez o‘zlashtirib, ularni yangi vaziyatlarda qo‘llay oladi. Boshqalari esa tushunchani ta’rif darajasida bilishiga qaramay, uni amaliy vaziyatga tatbiq etishda qiyinchilikka duch keladi.

Bu holatni shartli ravishda uch darajaga ajratish mumkin.

Reproduktiv daraja

O‘quvchi tushunchaning ta’rifini aytadi, asosiy belgilarini tanib oladi va berilgan namuna asosida vazifani bajaradi.

Konstruktiv daraja

O‘quvchi tushunchani tahlil qiladi, uni boshqa tushunchalar bilan bog‘laydi, misollar keltiradi va nisbatan yangi vaziyatlarda qo‘llaydi.

Transformatsion daraja

O‘quvchi tushunchani mustaqil ravishda yangi vaziyatlarga ko‘chiradi, fanlararo aloqalarni aniqlaydi, muammoli masalalarni hal qiladi va yangi xulosalar chiqaradi.

Umumiy o‘rta ta’lim amaliyotida asosiy vazifalardan biri o‘quvchilarni reproduktiv darajadan konstruktiv va transformatsion darajaga olib chiqishdan iborat.

Xulosa va takliflar. Umumiy o'rta ta'lim muassasalarida ilmiy tushunchalarni shakllantirish amaliyoti ta'lim mazmuni, o'qituvchi faoliyati, o'quvchining bilish jarayoni, metod va texnologiyalar hamda baholash mexanizmlarining o'zaro ta'siri asosida amalga oshiriladi.

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, mavjud ta'lim amaliyotida ilmiy tushunchalarni shakllantirishning muayyan metodik tajribasi shakllangan bo'lsa-da, tushunchalarni anglab o'zlashtirish, ularni fanlararo bog'lash, yangi vaziyatlarga ko'chirish va refleksiv faoliyatni tashkil etish imkoniyatlaridan yanada tizimli foydalanish zarurati mavjud.

Ilmiy tushunchalarni shakllantirishda asosiy e'tiborni tushunchani ta'rif darajasida yodlashdan uning mazmun-mohiyatini anglashga o'tkazish muhim. Buning uchun muammoli, tadqiqotchilik, loyihaviy va integrativ ta'lim texnologiyalaridan kompleks foydalanish zarur.

Ayniqsa, tayanch ilmiy tushunchalarni turli fanlar mazmuni bilan bog'lash, ularni amaliy va hayotiy vaziyatlarda qo'llash, konseptual xaritalar va raqamli vositalardan foydalanish o'quvchilarda yaxlit ilmiy tasavvurni shakllantirishga xizmat qiladi.

Shu asosda umumiy o'rta ta'lim muassasalarida ilmiy tushunchalarni shakllantirish amaliyotini takomillashtirishning asosiy yo'nalishini «bilimni berish → tushunchani anglatish → tushunchalarni integratsiyalash → bilimni qo'llash → mustaqil transformatsiya qilish → refleksiya» tizimi asosida qayta tashkil etish maqsadga muvofiq.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Jalolov J.J. Chet til o'qitish metodikasi. – Toshkent: O'qituvchi, 2012.
- [2] Yo'ldoshev J.G., Usmonov S.A. Pedagogik texnologiya asoslari. – Toshkent: O'qituvchi, 2004.
- [3] Mahmudov N. Ta'lim jarayonida o'quvchilarning ilmiy tafakkurini rivojlantirish masalalari. – Toshkent: Fan, 2020.
- [4] Azizxo'jayeva N.N. Pedagogik texnologiyalar va pedagogik mahorat. – Toshkent: O'zbekiston Yozuvchilar uyushmasi Adabiyot jamg'armasi nashriyoti, 2006.
- [5] Tolipov O'.Q., Usmonboyeva M. Pedagogik texnologiyalarning tatbiqiy asoslari. – Toshkent: Fan, 2006.

ELEKTRON TIJORATNING ISTE'MOLCHILAR XULQ-ATVORI VA BOZOR RAQOBATIGA TA'SIRI

Buriboyev Kamronbek Ruslan o'g'li

O'zbekiston Milliy universiteti Jizzax filiali, iqtisodiyot yo'nalishi 1-kurs talabasi, Jizzax,
O'zbekiston,

e-mail:butayevruslantop@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada elektron tijoratning iste'molchilar xulq-atvoriga va bozor raqobati muhitiga ta'siri tahlil qilingan. Onlayn xarid jarayonida qaror qabul qilishning o'zgarishi, narx shaffofligi, onlayn sharhlarning roli hamda platformalarning tarmoq effekti ko'rib chiqilgan. Bozor konsentratsiyasini baholash uchun Xerfindal–Xirshman indeksi asosida shartli hisob-kitob keltirilgan. Elektron tijorat bozorga kirish to'siqlarini pasaytirib, raqobatni kuchaytirishi, biroq yirik platformalar atrofida konsentratsiya xavfini yuzaga keltirishi ko'rsatilgan. Iste'molchi huquqlarini himoya qilish, shaffoflikni ta'minlash va kichik biznesni qo'llab-quvvatlashga oid takliflar shakllantirilgan.

Kalit so'zlar: elektron tijorat, iste'molchi xulq-atvori, onlayn platformalar, bozor raqobati, raqamli iqtisodiyot, Xerfindal–Xirshman indeksi.

Аннотация. В статье проанализировано влияние электронной торговли на поведение потребителей и конкурентную среду рынка. Рассмотрены изменение процесса принятия решений при онлайн-покупках, прозрачность цен, роль онлайн-отзывов и сетевой эффект платформ. Для оценки концентрации рынка приведён условный расчёт на основе индекса Херфиндаля–Хиршмана. Показано, что электронная торговля снижает барьеры входа на рынок и усиливает конкуренцию, однако создаёт риск концентрации вокруг крупных платформ. Сформулированы предложения по защите прав потребителей, обеспечению прозрачности и поддержке малого бизнеса.

Ключевые слова: электронная торговля, поведение потребителей, онлайн-платформы, рыночная конкуренция, цифровая экономика, индекс Херфиндаля–Хиршмана.

Abstract. The paper analyzes the impact of e-commerce on consumer behavior and market competition. It considers changes in online purchase decision-making, price transparency, the role of online reviews, and network effects of platforms. An illustrative calculation based on the Herfindahl–Hirschman index is used to assess market concentration. It is shown that e-commerce lowers entry barriers and intensifies competition, yet creates a risk of concentration around large platforms. Proposals are formulated on consumer protection, transparency, and support for small businesses.

Keywords: e-commerce, consumer behavior, online platforms, market competition, digital economy, Herfindahl–Hirschman index.

KIRISH

Raqamli texnologiyalarning rivojlanishi tovar va xizmatlar savdosining shaklini tubdan o'zgartirmoqda. Elektron tijorat an'anaviy savdoga qo'shimcha kanal bo'lib qolmay, iste'molchilarning qaror qabul qilish jarayoniga va kompaniyalar o'rtasidagi raqobat muhitiga bevosita ta'sir qiluvchi mustaqil bozor makoniga aylandi [7]. Internet xaridorning qidiruv xarajatlarini kamaytirib, narx va sifatni taqqoslashni osonlashtiradi, natijada sotuvchilar narx va xizmat sifati bo'yicha faolroq raqobatlashishga majbur bo'ladi [1, 2]. Shu bilan birga, platformalarga asoslangan bozorlarda tarmoq effekti va ma'lumotlar to'planishi tufayli yirik ishtirokchilarning ustunligi kuchayadi, bu esa konsentratsiya xavfini oshiradi [4, 5, 8].

O'zbekistonda elektron tijorat "Elektron tijorat to'g'risida"gi Qonun va boshqa normativ-huquqiy hujjatlar asosida tartibga solinadi [10, 11]. Shu bois uning iste'molchi xulq-atvori va bozor raqobatiga ta'sirini o'rganish nazariy ham, amaliy ham ahamiyatga ega. Tadqiqotning maqsadi – elektron tijoratning iste'molchilar xulq-atvoridagi o'zgarishlarga va bozor raqobati mexanizmlariga ta'sirini aniqlash hamda tegishli xulosalar shakllantirishdan iborat.

MATERIALLAR VA USULLAR

Ishda ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish, tizimli va qiyosiy tahlil hamda mantiqiy umumlashtirish usullaridan foydalanildi. Iste'molchi xulq-atvori xarid qarori bosqichlari – ehtiyojni anglash, axborot qidirish, variantlarni baholash, xarid qilish va xariddan keyingi baholash – nuqtai nazaridan ko'rib chiqildi [9]. Bozor konsentratsiyasi darajasi Xerfindal–Xirshman indeksi (HHI) yordamida baholanadi:

$$HHI = \sum_{i=1}^n s_i^2$$

bu yerda

HHI – bozor konsentratsiyasi indeksi;

s_i – i-ishtirokchining bozordagi ulushi (foizda);

n – bozordagi ishtirokchilar soni.

Indeks qiymati qanchalik yuqori bo'lsa, bozor shunchalik konsentratsiyalashgan hisoblanadi: ulushlar foizda ifodalanganda uning eng katta qiymati 10 000 ga teng bo'lib, bu yakka hukmronlik holatiga mos keladi. Keltirilgan hisob-kitoblar shartli ma'lumotlarga asoslangan bo'lib, amaldagi statistik ko'rsatkichlarni aks ettirmaydi va faqat mexanizmni tushuntirishga xizmat qiladi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Elektron tijorat iste'molchining xarid jarayonini bosqichma-bosqich o'zgartirdi. Ilgari tanlov do'kon assortimenti va jismoniy masofa bilan cheklangan bo'lsa, endi xaridor bir necha daqiqada yuzlab taklifni narx, sifat va sharhlar bo'yicha solishtira oladi [1, 2]. Onlayn kitob savdosi misolida mahsulot xilma-xilligining ortishi iste'molchi manfaatini sezilarli oshirishi ko'rsatilgan [3]. Xaridlarda axborotga tayanish kuchayib, onlayn sharhlar va reytinglar ishonchni shakllantiruvchi asosiy omillardan biriga aylandi: sharhlarning yaxshilanishi sotuvlar ortishi bilan bog'liqligi aniqlangan [6]. Qulaylik, vaqtni tejash va yetkazib berish tezligi xarid qarorlariga ta'sir qiladi; shaxsiylashtirilgan reklama va ijtimoiy tarmoqlar esa impulsiv xaridlar ehtimolini oshirishi mumkin [7].

Elektron tijoratning raqobatga ta'siri ikki tomonlama. Bir tomondan, bozorga kirish to'siqlari pasayadi: kichik va o'rta biznes fizik do'kon ochmasdan keng auditoriyaga chiqa oladi, narx shaffofligi oshadi, kompaniyalar narx va xizmat sifati bo'yicha raqobatlashishga majbur bo'ladi [1, 7]. Buni shartli misolda ko'rish mumkin. Faraz qilaylik, biror tovar guruhida an'anaviy savdoda to'rtta sotuvchining ulushi 40 %, 30 %, 20 % va 10 % bo'lsin. U holda $HHI = 40^2 + 30^2 + 20^2 + 10^2 = 3000$. Onlayn kanal orqali beshinchi sotuvchi bozorga kirib, ulushlar 30 %, 25 %, 20 %, 15 % va 10 % ga o'zgarsa, $HHI = 2250$ bo'ladi, ya'ni konsentratsiya 25 % ga pasayadi.

Boshqa tomondan, tarmoq effekti tufayli yirik platformalar ustunlik qo'lga kiritadi [4]. Ikki tomonlama bozorlarda platformaning qiymati unga qo'shilgan xaridorlar va sotuvchilar soniga bog'liq bo'ladi [5]; foydalanuvchilar bazasi, ma'lumotlar massivi va logistika infratuzilmasi esa yangi ishtirokchilar uchun yuqori to'siq yaratadi. Platforma ham bozor tashkilotchisi, ham sotuvchi sifatida faoliyat yuritisa, raqobat teng bo'lmay qolishi mumkin [8]. Agar savdo asosan uchta platforma orqali amalga oshib, ulushlar 60 %, 25 % va 15 % bo'lsa, $HHI = 3600 + 625 + 225 = 4450$ ga yetadi, ya'ni bozor an'anaviy holatdagidan ham yuqori darajada konsentratsiyalashadi. Demak, raqobatning kuchayishi avtomatik natija emas, u platformalar qoidalari va faoliyatining shaffofligiga bog'liq.

1-jadval.

Elektron tijoratning iste'molchi xulq-atvori va raqobatga ta'sirini umumlashtirish matritsasi

Omil	Iste'molchi xulq-atvoridagi o'zgarish	Raqobatga ta'siri	Asosiy xavf
Narx shaffofligi	Narx va sifatni tez taqqoslash	Narx bo'yicha raqobat kuchayadi	Faqat narxga asoslangan raqobat sifatni pasaytirishi mumkin
Onlayn sharhlar va reyting	Ishonch sharhlarga tayanadi	Sifatli sotuvchilar afzallik oladi	Soxta sharhlar va manipulyatsiya
Qulaylik va yetkazib berish	Vaqt tejaladi, xaridlar chastotasi ortadi	Logistika yangi raqobat omiliga aylanadi	Logistikasi kuchsiz kichik sotuvchilar uchun to'siq

Omil	Iste'molchi xulq-atvoridagi o'zgarish	Raqobatga ta'siri	Asosiy xavf
Shaxsiylashtirilgan reklama	Impulsiv xaridlar ehtimoli ortadi	Ma'lumotga ega platformalar ustunlik oladi	Shaxsiy ma'lumotlar himoyasi va ortiqcha iste'mol
Tarmoq effekti	Xaridor ko'p foydalanuvchili platformani tanlaydi	Yirik platformalar atrofida konsentratsiya	Yangi ishtirokchilar uchun yuqori kirish to'siqlari

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, har bir omil bir vaqtning o'zida ham imkoniyat, ham xavf yaratadi. Bundan tashqari, soxta sharhlar va sifatsiz tovarlar xavfi, onlayn to'lovlar xavfsizligi hamda raqamli savodxonlik va internetdan foydalanish imkoniyatidagi hududiy tafovutlar iste'molchi ishonchini pasaytirishi mumkin. Shaxsga doir ma'lumotlarni himoya qilish va elektron tijorat ishtirokchilarining huquq va majburiyatlarini belgilash bu xavflarni kamaytirishning huquqiy asosini tashkil etadi [10, 11].

Shu sababli tahlil quyidagi ketma-ketlikda olib borilishi maqsadga muvofiq: birinchidan, xarid qarorining qaysi bosqichi o'zgarayotgani aniqlanadi; ikkinchidan, bu o'zgarish sotuvchilar o'rtasidagi raqobatni kuchaytiradimi yoki platforma ustunligini oshiradimi, baholanadi; uchinchidan, HHI kabi ko'rsatkichlar yordamida bozor konsentratsiyasi hisoblanadi; to'rtinchidan, iste'molchi huquqlari va ma'lumotlar himoyasi bo'yicha xavflar ko'rib chiqiladi. Bunday yondashuv elektron tijoratni faqat "qulaylik" yoki faqat "xavf" sifatida emas, balki raqobat muhitini shakllantiruvchi omil sifatida baholash imkonini beradi.

XULOSA

Elektron tijorat iste'molchini axborotga boy, talabchan va qulaylikka yo'naltirilgan xaridorga aylantirdi, bozorda esa raqobatni ham kuchaytirdi, ham platformalar atrofida yangi konsentratsiya xavfini yuzaga keltirdi. Shartli hisob-kitob shuni ko'rsatadiki, bozorga yangi sotuvchilarning kirishi HHI ni pasaytirsang, savdning bir necha yirik platformada to'planishi uni oshiradi. Barqaror rivojlanish uchun iste'molchi huquqlari va ma'lumotlar himoyasini kuchaytirish, platformalar faoliyatida shaffoflik va halol raqobat tamoyillarini ta'minlash, kichik biznesning raqamli savdoga chiqishini qo'llab-quvvatlash hamda aholining raqamli savodxonligini oshirish zarur.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Bakos, J.Y. Reducing Buyer Search Costs: Implications for Electronic Marketplaces. *Management Science*, 43(12), 1997, 1676–1692. <https://doi.org/10.1287/mnsc.43.12.1676>
- [2] Brynjolfsson, E., Smith, M.D. Frictionless Commerce? A Comparison of Internet and Conventional Retailers. *Management Science*, 46(4), 2000, 563–585. <https://doi.org/10.1287/mnsc.46.4.563.12061>
- [3] Brynjolfsson, E., Hu, Y., Smith, M.D. Consumer Surplus in the Digital Economy: Estimating the Value of Increased Product Variety at Online Booksellers. *Management Science*, 49(11), 2003, 1580–1596. <https://doi.org/10.1287/mnsc.49.11.1580.20580>
- [4] Katz, M.L., Shapiro, C. Network Externalities, Competition, and Compatibility. *American Economic Review*, 75(3), 1985, 424–440.
- [5] Rochet, J.-C., Tirole, J. Platform Competition in Two-Sided Markets. *Journal of the European Economic Association*, 1(4), 2003, 990–1029. <https://doi.org/10.1162/154247603322493212>

[6] Chevalier, J.A., Mayzlin, D. The Effect of Word of Mouth on Sales: Online Book Reviews. Journal of Marketing Research, 43(3), 2006, 345–354. <https://doi.org/10.1509/jmkr.43.3.345>

[7] Goldfarb, A., Tucker, C. Digital Economics. Journal of Economic Literature, 57(1), 2019, 3–43. <https://doi.org/10.1257/jel.20171452>

[8] Khan, L.M. Amazon's Antitrust Paradox. Yale Law Journal, 126(3), 2017, 710–805.

[9] Kotler, P., Keller, K.L. Marketing Management. 15th ed. Pearson, 2016.

[10] O'zbekiston Respublikasining 2022-yil 29-sentabrdagi O'RQ-792-sonli "Elektron tijorat to'g'risida"gi Qonuni. Qonunchilik ma'lumotlari milliy bazasi (lex.uz).

[11] O'zbekiston Respublikasining 2019-yil 2-iyuldagi O'RQ-547-sonli "Shaxsga doir ma'lumotlar to'g'risida"gi Qonuni. Qonunchilik ma'lumotlari milliy bazasi (lex.uz).

TILSHUNOSLIK, AMALIY FILOLOGIYA VA RUS TILINING ZAMONAVIY TADQIQOTLARI

Duysenbayeva Malika Rashid qizi

Toshkent shahar Sergeli tuman 47-maktab o'qituvchisi, malika.duysenbaeva@icloud.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada tilshunoslik va amaliy filologiyaning zamonaviy taraqqiyot bosqichi, rus tilshunosligida olib borilayotgan dolzarb tadqiqotlar tahlil qilinadi. Ishda korpus tilshunosligi, kognitiv tilshunoslik, kompyuter (hisoblash) tilshunosligi va tarjimashunoslik yo'nalishlarining rus tili misolida qo'llanilishi, shuningdek amaliy filologiyaning ta'lim va tarjima sohalaridagi ahamiyati yoritilgan.

Kalit so'zlar: tilshunoslik, amaliy filologiya, rus tili, korpus tilshunosligi, kognitiv tilshunoslik, kompyuter tilshunosligi, matn lingvistikasi, tarjimashunoslik.

KIRISH

Zamonaviy tilshunoslik fani so'nggi yillarda tez sur'atlar bilan rivojlanib, o'z tadqiqot doirasini nazariy tilshunoslikdan amaliy yo'nalishlarga tomon kengaytirmoqda. Axborot texnologiyalarining tilshunoslik bilan integratsiyalashuvi, katta hajmdagi matn korpuslarining yaratilishi, sun'iy intellekt asosidagi tabiiy tilni qayta ishlash tizimlarining takomillashuvi tilshunoslar oldiga yangi ilmiy-amaliy vazifalarni qo'yimoqda. Bu jarayonda amaliy filologiya, ya'ni tilshunoslik nazariyasining amaliyotga tatbiq etilishi, alohida ahamiyat kasb etadi.

Rus tili, dunyoning yirik tillaridan biri sifatida, ushbu yangilanishlar zaminida keng qamrovli tadqiqotlar predmetiga aylanib bormoqda. Rus tilshunosligida olib borilayotgan zamonaviy izlanishlar nafaqat nazariy jihatdan, balki amaliy — ta'lim, tarjima, terminologiya va raqamli lingvistika sohalarida ham muhim natijalarga ega. Shu bois mazkur maqolada tilshunoslik va amaliy filologiyaning hozirgi holati, rus tili misolida olib borilayotgan dolzarb tadqiqot yo'nalishlari ilmiy jihatdan tahlil qilinadi.

Tadqiqotning maqsadi — zamonaviy tilshunoslik paradigmalari doirasida amaliy filologiya va rus tilshunosligining o'zaro bog'liqligini ochib berish, ushbu sohadagi eng dolzarb yo'nalishlarni sistemalashtirishdir.

1. Tilshunoslik va amaliy filologiyaning zamonaviy yo'nalishlari

Zamonaviy tilshunoslik fanida antroposentrik paradigma yetakchi o'rin tutadi, ya'ni til hodisalari inson ongi, madaniyati va faoliyati bilan uzviy bog'liqlikda o'rganiladi. Ushbu paradigma doirasida kognitiv tilshunoslik, lingvokulturologiya, pragmatika va matn lingvistikasi kabi yo'nalishlar faol rivojlanmoqda.

Amaliy filologiya esa tilshunoslik nazariyasi bilan amaliyot o'rtasidagi bog'lovchi bo'g'in vazifasini bajaradi. U quyidagi asosiy vazifalarni qamrab oladi: chet tillarni o'qitish metodikasini

takomillashtirish, tarjima nazariyasi va amaliyotini rivojlantirish, terminologik lug'atlar va me'yoriy hujjatlarni ishlab chiqish, matnlarni tahrir va tahlil qilish, shuningdek tabiiy tilni avtomatik qayta ishlash tizimlari uchun lingvistik ta'minot yaratish.

Amaliy filologiyaning muhim xususiyati shundaki, u interdisiplinar xarakterga ega bo'lib, tilshunoslik bilan bir qatorda axborot texnologiyalari, pedagogika, madaniyatshunoslik va sotsiologiya fanlari bilan chambarchas bog'liq holda rivojlanadi.

2. Rus tilshunosligida olib borilayotgan zamonaviy tadqiqotlar

2.1. Korpus tilshunosligi. So'nggi o'n yilliklarda rus tilshunosligida Rus tili milliy korpusi (Национальный корпус русского языка) kabi yirik elektron matn bazalarining yaratilishi tadqiqotchilarga tilning real qo'llanish holatlarini statistik va miqdoriy tahlil qilish imkonini bermogda. Korpusga asoslangan tadqiqotlar leksik birikuvchanlik, grammatik shakllarning chastotasi va uslubiy xususiyatlarni obyektiv dalillar asosida o'rganishga xizmat qiladi.

2.2. Kognitiv va lingvokulturologik yo'nalish. Rus tilshunosligida so'z va tushunchalarning milliy-madaniy xususiyatlari, kontsept va kontseptosfera masalalari faol tadqiq etilmoqda. Bu yo'nalish rus tilidagi frazeologik birliklar, metaforalar va milliy dunyoqarashning tilda aks etishini o'rganishga qaratilgan.

2.3. Kompyuter (hisoblash) tilshunosligi. Sun'iy intellekt texnologiyalarining rivojlanishi rus tili uchun avtomatik morfologik tahlil, matnni sintaktik tahlil qilish (parsing), mashina tarjimasi va nutqni tanish tizimlarini yaratishga bo'lgan qiziqishni kuchaytirdi. Ushbu yo'nalishdagi tadqiqotlar tilshunoslik va dasturiy injiniring fanlari kesishmasida olib boriladi.

2.4. Sotsiolingvistik tadqiqotlar. Rus tilining zamonaviy holati, xususan, tilning ijtimoiy tarmoqlar, ommaviy axborot vositalari va rasmiy muloqot sohasidagi o'zgarishlari, shuningdek ko'p tillilik sharoitida rus tilining funksional holati sotsiolingvistlar tomonidan tadqiq etilmoqda.

2.5. Tarjimashunoslik. Rus tilidan boshqa tillarga, jumladan o'zbek tiliga, badiiy va ilmiy-texnik matnlarni tarjima qilish masalalari, ekvivalentlik va adekvatlik muammolari zamonaviy tarjimashunoslikning dolzarb yo'nalishlaridan biri sifatida saqlanib qolmoqda.

3. Amaliy filologiyaning ta'lim va tarjima sohasidagi ahamiyati

Amaliy filologiya yutuqlarining eng samarali qo'llanish sohalaridan biri — chet tillarni, jumladan rus tilini, o'qitish metodikasidir. Zamonaviy metodika kommunikativ kompetensiyani shakllantirishga, korpus materiallaridan foydalangan holda haqiqiy til vaziyatlarini o'quv jarayoniga tatbiq etishga qaratilgan.

Bundan tashqari, amaliy filologiya doirasida ishlab chiqilgan lingvistik dasturiy vositalar — avtomatik tarjima tizimlari, imlo va uslub tekshiruvchi dasturlar, terminologik ma'lumotlar bazalari — ta'lim va professional faoliyatda keng qo'llanilmoqda. Bu esa amaliy filologiyaning nazariy tilshunoslikdan farqli o'laroq, bevosita amaliy natija berishga yo'naltirilganligini ko'rsatadi.

Yuqoridagilardan xulosa qilib aytish mumkinki, rus tilshunosligidagi zamonaviy tadqiqotlar nazariy va amaliy jihatlarining uyg'unligi asosida rivojlanmoqda, bu esa umumiy tilshunoslik fani taraqqiyotiga ham o'z hissasini qo'shmoqda.

4. Amaliy filologiya va rus tilshunosligidagi dolzarb muammolar

Zamonaviy sharoitda rus tilshunosligi va amaliy filologiya oldida bir qator ilmiy-amaliy muammolar turadi. Birinchidan, elektron matn korpuslarining sifatini va qamrovini oshirish, ularni turli janr va uslublar bo'yicha yanada mukammal tizimlashtirish zarurati mavjud. Ikkinchidan, tabiiy tilni avtomatik qayta ishlash tizimlarida rus tilining morfologik boyligi va grammatik murakkabligini hisobga oluvchi algoritmlarni takomillashtirish talab etiladi.

Uchinchidan, ko'p tillilik va til aloqasi (kontakt) sharoitida rus tilining boshqa tillar, jumladan turkiy tillar bilan o'zaro ta'sirini o'rganish, qarz so'zlar va interferentsiya hodisalarini

tahlil qilish dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi. Bu borada o'zbek va rus tillari qiyosiy-tipologik tadqiqotlari alohida ilmiy ahamiyatga ega, chunki ular ikki tilli ta'lim tizimini takomillashtirishga xizmat qiladi.

To'rtinchidan, raqamli ta'lim texnologiyalarining rivojlanishi rus tilini xorijiy til sifatida o'qitish metodikasini yangi bosqichga olib chiqmoqda. Onlayn platformalar, sun'iy intellektga asoslangan til o'rganish dasturlari va moslashuvchan (adaptiv) test tizimlari amaliy filologiya mutaxassislaridan yangi kompetensiyalarni talab qilmoqda.

5. Rus va o'zbek tilshunosligi hamkorligining istiqbollari

O'zbekistonda olib borilayotgan filologik tadqiqotlarda rus tilshunosligi tajribasidan foydalanish, xususan korpus tilshunosligi va kompyuter tilshunosligi metodlarini o'zbek tili materiallariga tatbiq etish istiqbolli yo'nalish hisoblanadi. Ikki til tizimini qiyosiy o'rganish orqali tarjima nazariyasi, ikki tilli lug'atshunoslik va chet tillarni o'qitish metodikasini boyitish mumkin.

Shuningdek, xalqaro ilmiy hamkorlik doirasida rus va o'zbek tilshunos olimlari o'rtasida qo'shma tadqiqot loyihalarini amalga oshirish, ilmiy konferensiya va nashrlar orqali tajriba almashish amaliy filologiya sohasining yanada rivojlanishiga zamin yaratadi.

XULOSA

Xulosa qilib aytganda, tilshunoslik va amaliy filologiya bugungi kunda tez o'zgaruvchan ilmiy-texnologik muhitda muttasil rivojlanib bormoqda. Rus tilshunosligi misolida ko'rib chiqilgan korpus tilshunosligi, kognitiv-lingvokulturologik tadqiqotlar, kompyuter tilshunosligi va tarjimashunoslik yo'nalishlari zamonaviy filologik fanning dolzarb tadqiqot maydonlarini tashkil etadi. Ushbu yo'nalishlarning har biri tilshunoslik nazariyasi bilan amaliyot o'rtasidagi bog'lanishni mustahkamlashga xizmat qiladi.

Kelgusida ushbu sohadagi tadqiqotlarni yanada chuqurlashtirish, xususan sun'iy intellekt texnologiyalarini rus va boshqa tillar tilshunosligiga tatbiq etish masalalarini ilmiy jihatdan asoslash muhim ahamiyat kasb etadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Маслова В.А. Когнитивная лингвистика: учебное пособие. — М.: Флинта, 2021.
- [2] Захаров В.П., Богданова С.Ю. Корпусная лингвистика. — СПб.: СПбГУ, 2020.
- [3] Валгина Н.С. Теория текста. — М.: Логос, 2019.
- [4] Комиссаров В.Н. Современное переводоведение. — М.: ЭТС, 2018.
- [5] Ёўлдошев Б. Амалий филология асослари. — Тошкент: Fan va texnologiya, 2022.
- [6] Национальный корпус русского языка — <https://ruscorpora.ru>

O'ZBEKISTONNING MUSTAQILLIKKA ERISHISH YO'LI: MILLIY DAVLATCHILIKNING QAYTA TIKLANISHI VA TARIXIY AHAMIYATI

Eshimova Rayxon

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti talabasi, e-mail: rayxon111@gmail.com

***Annotatsiya.** Ushbu maqolada O'zbekiston Respublikasining davlat mustaqilligiga erishish jarayoni, uning siyosiy-huquqiy asoslari hamda mustaqil davlatchilikning shakllanish bosqichlari yoritilgan. XX asrning 80-yillari oxiri va 90-yillari boshlarida sobiq Sovet Ittifoqida kechgan siyosiy, ijtimoiy-iqtisodiy jarayonlarning O'zbekiston hayotiga ta'siri tahlil etilgan. Shuningdek, o'zbek tiliga davlat tili maqomining berilishi, Prezidentlik institutining joriy etilishi, Davlat suvereniteti to'g'risidagi Deklaratsiyaning qabul qilinishi, milliy davlat ramzlarini shakllantirish jarayoni hamda 1991-yil 31-avgustda davlat mustaqilligining e'lon qilinishi kabi muhim tarixiy*

voqealarning mazmun-mohiyati ochib berilgan. Maqolada mustaqil O'zbekiston davlatining siyosiy va huquqiy asoslarini shakllantirish jarayonining tarixiy ahamiyatiga alohida e'tibor qaratilgan.

Kalit so'zlar: O'zbekiston, davlat mustaqilligi, davlat suvereniteti, milliy davlatchilik, Davlat suvereniteti to'g'risidagi Deklaratsiya, davlat tili, Prezidentlik instituti, davlat ramzlari, Oliy Kengash, milliy o'zlik, istiqlol.

Аннотация. В данной статье освещается процесс достижения государственной независимости Узбекистаном, а также рассматриваются его политико-правовые предпосылки и основные этапы формирования независимой государственности. Анализируются политические, социально-экономические и общественные процессы, происходившие в конце 1980-х – начале 1990-х годов в Советском Союзе и оказавшие влияние на общественно-политическое развитие Узбекистана. Особое внимание уделяется принятию Закона «О государственном языке», введению института президентства, принятию Декларации о государственном суверенитете, формированию государственных символов и провозглашению государственной независимости 31 августа 1991 года. Раскрывается историческое значение создания политико-правовых основ независимого государства и становления национальной государственности Узбекистана.

Ключевые слова: Узбекистан, государственная независимость, государственный суверенитет, национальная государственность, Декларация о государственном суверенитете, государственный язык, институт президентства, государственные символы, Олий Кенгаши, национальная идентичность, независимость.

Annotation. This article examines the process through which Uzbekistan achieved state independence, focusing on its political and legal foundations and the principal stages in the development of independent statehood. It analyzes the political, socio-economic and social processes that took place in the Soviet Union in the late 1980s and early 1990s and their impact on Uzbekistan's political development. Particular attention is given to the adoption of the Law on the State Language, the establishment of the presidency, the adoption of the Declaration of State Sovereignty, the formation of national state symbols, and the proclamation of state independence on August 31, 1991. The article also highlights the historical significance of establishing the political and legal foundations of an independent state and strengthening national statehood in Uzbekistan.

Key words: Uzbekistan, state independence, state sovereignty, national statehood, Declaration of State Sovereignty, state language, presidency, state symbols, Oliy Kengash, national identity, independence.

KIRISH.

XX asrning so'nggi choragi O'zbekiston tarixida siyosiy, ijtimoiy-iqtisodiy va ma'naviy hayotda tub o'zgarishlar yuz bergan muhim tarixiy davr hisoblanadi. Ayniqsa, sobiq Sovet Ittifoqida 1980-yillarning ikkinchi yarmidan boshlab siyosiy va iqtisodiy tizimda yuzaga kelgan inqirozli holatlar ittifoqdosh respublikalar hayotiga ham bevosita ta'sir ko'rsatdi. Mazkur jarayonlar O'zbekistonda milliy o'zlikni anglash, tarixiy xotirani tiklash, milliy qadriyatlarni qayta baholash hamda xalqning siyosiy-huquqiy manfaatlarini himoya qilish masalalarining dolzarblashuviga olib keldi.

O'zbekistonda milliy uyg'onish jarayonining kuchayishi bilan bir qatorda, respublikaning siyosiy va huquqiy maqomini belgilash, davlat suverenitetini ta'minlash va milliy davlatchilik asoslarini shakllantirishga qaratilgan muhim qadamlar tashlandi. Bu jarayon davlat boshqaruvi, qonunchilik, til siyosati va ijtimoiy hayotning turli sohalarida amalga oshirilgan o'zgarishlarda o'z ifodasini topdi.

ASOSIY QISM.

O'zbekistonning davlat mustaqilligiga erishish jarayoni XX asrning 80-yillari oxiri va 90-yillari boshlarida mamlakatda yuz bergan siyosiy, ijtimoiy va ma'naviy o'zgarishlar bilan uzviy bog'liq bo'ldi. Sobiq Sovet Ittifoqida yuzaga kelgan iqtisodiy inqiroz, siyosiy tizimdagi beqarorlik va markaziy hokimiyatning zaiflashuvi ittifoqdosh respublikalarning kelajakdagi siyosiy maqomi masalasini kun tartibiga olib chiqdi. O'zbekistonda ham milliy manfaatlarni anglash, tarixiy va madaniy merosga bo'lgan munosabatni qayta ko'rib chiqish hamda respublikaning siyosiy-huquqiy vakolatlarini kengaytirish jarayonlari kuchaydi[1.-B.37].

Mazkur davrda milliy o'zlikni anglash jarayonining muhim ko'rinishlaridan biri ona tiliga bo'lgan e'tiborning ortishi edi. 1989-yil 21-oktabrda "Davlat tili to'g'risida"gi Qonunning qabul qilinishi O'zbekistonning ijtimoiy-siyosiy va ma'naviy hayotida muhim voqea bo'ldi. O'zbek tiliga davlat tili maqomining berilishi milliy qadriyatlarni tiklash va milliy o'zlikni mustahkamlash jarayonining huquqiy asoslarini kuchaytirdi. Mazkur qonun keyingi yillarda davlat boshqaruvi, ta'lim, madaniyat va jamoat hayotida o'zbek tilining mavqeini oshirish uchun huquqiy zamin yaratdi.

Mustaqillik sari olib borilgan siyosiy jarayonlarda davlat boshqaruvi tizimining takomillashuvi ham muhim o'rin egalladi. 1990-yil mart oyida O'zbekiston SSRda Prezidentlik institutining joriy etilishi respublikaning davlat boshqaruvi tizimida yangi bosqichni boshlab berdi. Prezidentlik institutining tashkil etilishi ijro hokimiyatining faoliyatini muvofiqlashtirish va respublikaning siyosiy boshqaruv mexanizmlarini takomillashtirish bilan bog'liq muhim institutsional o'zgarishlardan biri bo'ldi[2.-B.112].

Shu davrda O'zbekistonning davlat ramzlarini yaratish masalasi ham siyosiy kun tartibiga chiqdi. Milliy davlat ramzlarini ishlab chiqish bo'yicha amalga oshirilgan tashkiliy ishlar respublikaning o'ziga xos davlat atributlarini shakllantirish yo'lidagi dastlabki qadamlar sifatida namoyon bo'ldi. Keyinchalik davlat bayrog'i, gerbi va madhiyasining qabul qilinishi mustaqil O'zbekiston davlatchiligining ramziy asoslarini yanada mustahkamladi.

O'zbekistonning mustaqillik sari harakatida 1990-yil 20-iyunda qabul qilingan Davlat suvereniteti to'g'risidagi Deklaratsiya alohida tarixiy ahamiyatga ega bo'ldi. Mazkur hujjat respublikaning siyosiy-huquqiy maqomini mustahkamlash yo'lidagi muhim qadam bo'lib, O'zbekiston xalqining o'z taqdirini o'zi belgilash huquqini e'tirof etdi. Deklaratsiyada O'zbekistonning o'z taraqqiyot yo'lini belgilashi, hududiy yaxlitligi va davlat hokimiyatining huquqiy asoslarini mustahkamlashga oid muhim tamoyillar o'z ifodasini topdi[3.-B.72].

Davlat suvereniteti to'g'risidagi Deklaratsiyaning qabul qilinishi respublikaning keyingi siyosiy-huquqiy taraqqiyoti uchun muhim huquqiy asos yaratdi. Ayniqsa, unda belgilangan tamoyillar mustaqil davlatchilik institutlarini shakllantirish va yangi Konstitutsiyaviy tizimni yaratish jarayonlari bilan chambarchas bog'liq bo'ldi. Shu tariqa O'zbekistonda mustaqil davlatning huquqiy poydevorini yaratishga qaratilgan izchil jarayon shakllandi.

1991-yilga kelib sobiq Sovet Ittifoqidagi siyosiy vaziyat yanada murakkablashdi. Markaziy hokimiyatning zaiflashuvi, ittifoqdosh respublikalarda suverenitetga intilishning kuchayishi va davlatlararo munosabatlarning o'zgarishi O'zbekistonning ham o'z siyosiy kelajagini mustaqil belgilash masalasini dolzarb qilib qo'ydi. Shu sharoitda O'zbekistonning davlat mustaqilligini huquqiy jihatdan rasmiylashtirish jarayoni jadallashdi[4.-B.89].

1991-yil 31-avgustda O'zbekiston Respublikasi Oliy Kengashining navbatdan tashqari sessiyasida davlat mustaqilligi e'lon qilindi. Shu kuni O'zbekiston Respublikasining davlat mustaqilligi to'g'risidagi Bayonot hamda davlat mustaqilligining huquqiy asoslarini belgilovchi muhim hujjatlar qabul qilindi. 1-sentabrning Mustaqillik kuni sifatida belgilanishi esa yangi davlat tarixining boshlanishini ramziy jihatdan ifodaladi.

Davlat mustaqilligining e'lon qilinishi O'zbekistonning siyosiy taraqqiyotida yangi davrni boshlab berdi. Endilikda mamlakat davlat boshqaruvi, ichki va tashqi siyosat, iqtisodiy rivojlanish hamda ijtimoiy-madaniy sohalaridagi ustuvor yo'nalishlarini mustaqil belgilash imkoniyatiga ega bo'ldi. Shu bilan birga, mustaqil davlatning huquqiy va siyosiy institutlarini shakllantirish, yangi qonunchilik tizimini yaratish hamda fuqarolarning huquq va erkinliklarini kafolatlash masalalari dolzarb vazifalarga aylandi[5.-B.103].

Mustaqillikning dastlabki davrida Konstitutsiyani ishlab chiqish va qabul qilish davlat qurilishining asosiy yo'nalishlaridan biriga aylandi. O'zbekistonning davlat suvereniteti va mustaqilligi tamoyillariga asoslangan yangi Konstitutsiyaviy tizimni shakllantirish zarurati yuzaga keldi. Konstitutsiya loyihasini tayyorlash jarayonida mamlakatning tarixiy tajribasi, milliy qadriyatlari va xalqaro huquqning umum e'tirof etilgan tamoyillari hisobga olindi. Natijada mustaqil O'zbekiston davlatining huquqiy asoslarini belgilab beruvchi Konstitutsiya qabul qilindi.

Mustaqillik yillarida davlat ramzlarining shakllantirilishi ham milliy davlatchilikning muhim yo'nalishlaridan biri bo'ldi. O'zbekiston Respublikasining Davlat bayrog'i, Davlat gerbi va Davlat madhiyasining qabul qilinishi mustaqil davlatning siyosiy-huquqiy maqomini ifodalovchi ramzlarning shakllanishini ta'minladi. Mazkur ramzlarda xalqning tarixiy xotirasi, milliy qadriyatlari va davlat mustaqilligi g'oyalari o'zining ramziy ifodasini topdi.

Mustaqillikka erishish jarayonining muhim jihatlaridan yana biri milliy-ma'naviy merosga bo'lgan munosabatning o'zgarishi bilan bog'liq bo'ldi. Mustaqil taraqqiyot sharoitida xalqning tarixiy xotirasini tiklash, milliy madaniyat va an'analarni o'rganish, tarixiy shaxslar merosini qayta baholash uchun keng imkoniyatlar yaratildi. Bu jarayon jamiyatda milliy o'zlikni anglashning yanada chuqurlashishiga hamda yosh avlodning tarixiy-madaniy merosga bo'lgan qiziqishining ortishiga xizmat qildi.

Umuman olganda, O'zbekistonning mustaqillikka erishish jarayoni o'zaro bog'liq bo'lgan bir qator siyosiy-huquqiy va ijtimoiy-ma'naviy bosqichlarni qamrab oldi. Davlat tilining huquqiy maqomini mustahkamlash, Prezidentlik institutining joriy etilishi, Davlat suvereniteti to'g'risidagi Deklaratsiyaning qabul qilinishi, davlat ramzlarini shakllantirish, davlat mustaqilligining e'lon qilinishi va yangi Konstitutsiyaviy tizimning yaratilishi ushbu jarayonning muhim tarkibiy qismlarini tashkil etdi. Mazkur bosqichlarning izchil amalga oshirilishi O'zbekistonning mustaqil davlat sifatida shakllanishi uchun zarur siyosiy-huquqiy va institutsional asoslarni yaratdi.

Xulosa qilib aytganda, O'zbekistonning davlat mustaqilligiga erishishi uzoq davom etgan siyosiy, huquqiy va ijtimoiy jarayonlarning natijasi bo'ldi. 1989-yilda davlat tiliga oid qonunning qabul qilinishi, 1990-yilda Prezidentlik institutining joriy etilishi, Davlat suvereniteti to'g'risidagi Deklaratsiyaning qabul qilinishi hamda 1991-yil 31-avgustda davlat mustaqilligining e'lon qilinishi mustaqil davlatchilikning muhim bosqichlarini tashkil etdi. Ushbu jarayonlar O'zbekistonning siyosiy-huquqiy va ma'naviy taraqqiyoti uchun mustahkam zamin yaratdi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

- [1] O'zbekistonning yangi tarixi. Uchinchi kitob. – Toshkent: Sharq, 2000.
- [2] Mustaqil O'zbekiston tarixi. – Toshkent: Akademiya, 2000.
- [3] O'zbekistonning eng yangi tarixi: darslik. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2011.
- [4] O'zbekiston Respublikasining davlat mustaqilligi asoslari to'g'risida. – Toshkent, 1991.
- [5] Usmonov Q., Sodiqov M. O'zbekiston tarixi. – Toshkent: Sharq, 2007

O'QUVCHILARDA ILMIY TUSHUNCHALARNI SHAKLLANTIRISHNING PEDAGOGIK-PSIXOLOGIK VA DIDAKTIK ASOSLARI

Bobomurodov Ko'paysin Abdivayitovich

Boymurodova Husnida Soli qizi

To'xtayeva Gulruh Otabek qizi

Yarashova Sevinch Asadullo qizi

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi 180100, Uzbekistan,

G-mail: bobomurodovkupaysin3@gmail.com

Abstract. *This article provides a theoretical analysis of the pedagogical, psychological, and didactic foundations of the formation of scientific concepts in students. It substantiates that the process of developing scientific concepts is closely interconnected with students' cognitive activity, logical thinking, perception, memory, attention, motivation, and reflective abilities. Scientific concepts are interpreted not as knowledge acquired through mechanical memorization, but as a process of understanding their content and essence, identifying their essential characteristics, determining the logical relationships between concepts, applying knowledge in new situations, and generalizing it. The article examines such didactic principles of concept formation as scientificity, systematicity and consistency, consciousness and activity, accessibility, the connection between theory and practice, individualization, and differentiation. Furthermore, the pedagogical potential of problem-based learning, an integrative approach, inquiry-based learning, project-based learning, conceptual maps, and digital educational tools in facilitating the formation of scientific concepts is highlighted.*

Keywords: *scientific concept, concept formation, cognitive activity, cognitive processes, pedagogical and psychological foundations, didactic principles, integrative approach, logical thinking, problem-based learning, reflection.*

Аннотация. *В статье проведён теоретический анализ педагогико-психологических и дидактических основ формирования научных понятий у учащихся. Обосновано, что процесс формирования научных понятий находится в тесной взаимосвязи с познавательной деятельностью учащегося, логическим мышлением, восприятием, памятью, вниманием, мотивацией и рефлексивными способностями. Кроме того, научные понятия рассматриваются не как результат механического запоминания, а как процесс осмысления их содержания и сущности, выделения существенных признаков, выявления логических связей между понятиями, применения знаний в новых ситуациях и их обобщения. В статье раскрыты такие дидактические принципы формирования понятий, как научность, системность и последовательность, сознательность и активность, доступность, связь теории с практикой, индивидуализация и дифференциация. Также освещены педагогические возможности использования проблемного обучения, интегративного подхода, исследовательского обучения, проектного обучения, концептуальных карт и цифровых образовательных средств в процессе формирования научных понятий у учащихся.*

Ключевые слова: *научное понятие, формирование понятий, познавательная деятельность, когнитивные процессы, педагогико-психологические основы, дидактические принципы, интегративный подход, логическое мышление, проблемное обучение, рефлексия.*

Annotatsiya. *Mazkur maqolada o'quvchilarda ilmiy tushunchalarni shakllantirishning pedagogik-psixologik va didaktik asoslari nazariy jihatdan tahlil qilingan. Ilmiy tushunchalarni shakllantirish jarayoni o'quvchining bilish faoliyati, mantiqiy tafakkuri, idroki, xotirasi, diqqati, motivatsiyasi va refleksiv qobiliyatlari bilan uzviy bog'liq ekanligi asoslangan. Shuningdek, ilmiy tushunchalarni mexanik yodlash emas, balki ularning mazmun-mohiyatini anglash, muhim*

belgilarini ajratish, tushunchalar o'rtasidagi mantiqiy aloqalarni aniqlash, bilimlarni yangi vaziyatlarda qo'llash va umumlashtirish jarayoni sifatida talqin qilingan. Maqolada tushunchalarni shakllantirishning ilmiylik, tizimlilik va izchillik, onglik va faollik, tushunarlilik, nazariyaning amaliyot bilan bog'liqligi, individuallashtirish va differensiallashtirish kabi didaktik tamoyillari ochib berilgan. Shuningdek, muammoli ta'lim, integrativ yondashuv, tadqiqotchilik, loyihaviy ta'lim, konseptual xaritalar va raqamli ta'lim vositalaridan foydalanishning pedagogik imkoniyatlari yoritilgan.

Kalit so'zlar: *ilmiy tushuncha, tushuncha shakllanishi, bilish faoliyati, kognitiv jarayonlar, pedagogik-psixologik asoslar, didaktik tamoyillar, integrativ yondashuv, mantiqiy tafakkur, muammoli ta'lim, refleksiya.*

Kirish. Zamonaviy ta'lim tizimida o'quvchilarga tayyor bilimlarni yetkazish bilan bir qatorda ularning bilimlarni anglash, tahlil qilish, umumlashtirish, tizimlashtirish va yangi vaziyatlarda qo'llash qobiliyatini rivojlantirish muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, ilmiy tushunchalarni to'g'ri va ongli o'zlashtirish o'quvchining predmetga oid bilimlarini tizimlashtirish, mantiqiy fikrlashini rivojlantirish hamda keyingi ta'lim bosqichlarida murakkab nazariy va amaliy masalalarni o'zlashtirishi uchun muhim zamin yaratadi.

Ilmiy tushuncha muayyan predmet, hodisa yoki jarayonning muhim, umumiy va barqaror belgilarini aks ettiruvchi tafakkur shakli sifatida namoyon bo'ladi. O'quvchi ilmiy tushunchani o'zlashtirish jarayonida nafaqat uning ta'rifini eslab qoladi, balki mazkur tushunchaning mazmunini anglaydi, uni boshqa tushunchalardan farqlaydi, o'zaro aloqalarini belgilaydi va muayyan faoliyat jarayonida qo'llay oladi.

Shu nuqtai nazardan, ta'lim jarayonida «tushunchani bilish» va «tushunchani anglab o'zlashtirish» o'rtasidagi farqni hisobga olish muhim. O'quvchi tushunchaning ta'rifini aytib berishi mumkin, ammo uni yangi vaziyatda qo'llay olmasa, mazkur tushuncha to'liq shakllangan deb bo'lmaydi. Demak, ilmiy tushunchalarni shakllantirish jarayoni bilimlarning miqdoriy o'zlashtirilishi emas, balki ularning sifat jihatdan qayta ishlanishi va shaxsiy bilim tizimiga integratsiyalashuvini nazarda tutadi.

Mavzuga oid adabiyotlarning sharhi. O'quvchilarda ilmiy tushunchalarni shakllantirish masalasi pedagogika, psixologiya va didaktikaning o'zaro kesishgan muhim tadqiqot yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Mazkur muammo, avvalo, tushunchaning inson tafakkurida shakllanish mexanizmlari, bilimlarning o'zlashtirilishi va ularni yangi vaziyatlarga tatbiq etish jarayonlari bilan bog'liq holda o'rganilgan. Ilmiy adabiyotlarda tushuncha oddiy ma'lumotni eslab qolish natijasi emas, balki muhim belgilarni ajratish, umumlashtirish, abstraksiyalash va mavjud bilimlar tizimiga kiritish orqali shakllanadigan murakkab kognitiv hodisa sifatida qaraladi.

Mazkur yo'nalishda L.S. Vygotskiyning tadqiqotlari alohida ilmiy ahamiyatga ega. Uning "Thought and Language" asarida tushunchalarning rivojlanishi, tafakkur va nutqning o'zaro munosabati hamda bolalik davrida ilmiy tushunchalarning shakllanishi maxsus tadqiq etilgan. Vygotskiy ilmiy tushunchalarni o'zlashtirish jarayonini bolaning ijtimoiy-madaniy tajribasi va ta'lim jarayonidagi vositachilik bilan bog'laydi. Shu nuqtayi nazardan, o'quvchiga tayyor ta'rifni berishning o'zi yetarli emas; tushunchaning mazmunini faol bilish jarayonida egallash muhimdir.

J. Brunerning ta'lim nazariyasida ham o'quvchilarning asosiy ilmiy tushunchalarni egallashi muhim o'rin tutadi. Olim fan mazmunini o'quvchi yoshiga mos ravishda bosqichma-bosqich, konkret tajribadan abstrakt va formal bilimlarga tomon rivojlantirish zarurligini asoslaydi. Uning spiral o'quv dasturi konsepsiyasi ilmiy tushunchalarning bir martalik emas, balki mazmunan chuqurlashib va murakkablashib boradigan tarzda qayta o'rganilishini nazarda tutadi. Bu yondashuv o'quvchilarda tushunchalar tizimini izchil shakllantirish uchun muhim metodologik asos bo'la oladi.

D. Ausubelning mazmunli o'rganish nazariyasi ilmiy tushunchalarni o'zlashtirishda avvalgi bilimlar bilan yangi bilimlar o'rtasidagi aloqaning muhimligini ko'rsatadi. Mazkur yondashuvga ko'ra, yangi bilim mavjud kognitiv tuzilma bilan mazmunli bog'langanda o'zlashtirish samaraliroq kechadi. Keyingi tadqiqotlarda ham Ausubelning mazmunli o'rganish nazariyasi va "advance organizers" konsepsiyasi ta'limdagi kognitiv bog'lanishlarni tushuntirishda muhim nazariy manba sifatida qayta ko'rib chiqilgan. Shuning uchun ilmiy tushunchalarni shakllantirishda o'quvchining avvalgi bilimlarini aniqlash va yangi tushunchani ular bilan mantiqiy bog'lash muhim didaktik shart sifatida qaratiladi.

Tadqiqot metodologiyasi. Mazkur tadqiqotning metodologik asosini o'quvchilarda ilmiy tushunchalarni shakllantirish jarayonini pedagogik, psixologik va didaktik jihatdan kompleks o'rganishga yo'naltirilgan yondashuvlar tashkil etadi. Tadqiqotda ilmiy tushunchalarni shakllantirish o'quvchining bilish faoliyati, tafakkuri, idroki, xotirasi, diqqati, motivatsiyasi hamda refleksiv faoliyati bilan uzviy bog'liq bo'lgan ko'p komponentli pedagogik jarayon sifatida talqin qilinadi. Shu asosda tadqiqot metodologiyasi ilmiy tushunchalarning mazmuni, tuzilishi, shakllanish bosqichlari va ularni rivojlantirishning pedagogik-didaktik shart-sharoitlarini aniqlashga qaratildi.

Tadqiqotning nazariy-metodologik asosini tizimli, faoliyatga yo'naltirilgan, kompetensiyaviy, kognitiv, shaxsga yo'naltirilgan, integrativ va refleksiv yondashuvlar tashkil etadi. Tizimli yondashuv asosida ilmiy tushunchalarni shakllantirish jarayoni maqsad, mazmun, metod, vosita, subyektlar faoliyati, natija va baholash mezonlari o'rtasidagi uzviy aloqadorlik nuqtayi nazaridan o'rganildi. Faoliyatga yo'naltirilgan yondashuv o'quvchining ilmiy tushunchalarni tayyor holda qabul qilishi emas, balki kuzatish, taqqoslash, tahlil qilish, muammoni hal etish, umumlashtirish, xulosa chiqarish va amaliy faoliyatda qo'llash jarayonida faol egallashini nazarda tutadi.

Kognitiv yondashuv ilmiy tushunchalarni shakllantirishda bilish jarayonlarining o'rnini aniqlashga xizmat qildi. Mazkur yondashuv doirasida o'quvchining mavjud bilimlari bilan yangi bilimlar o'rtasidagi bog'lanish, tushunchaning muhim belgilarini ajratish, sabab-oqibat aloqalarini anglash, tasniflash, umumlashtirish va bilimlarni yangi vaziyatlarga transfer qilish imkoniyatlari tahlil qilindi. Shaxsga yo'naltirilgan yondashuv esa o'quvchilarning yosh, individual-psixologik xususiyatlari, bilim darajasi, qiziqishlari va ehtiyojlarini hisobga olgan holda ilmiy tushunchalarni shakllantirish zaruratini asoslashga imkon berdi.

Tahlil va natijalar. Pedagogik nuqtai nazardan ilmiy tushunchalarni shakllantirish o'quvchining ta'lim mazmunini faol o'zlashtirishiga asoslangan murakkab jarayon hisoblanadi. Bunda o'qituvchi tayyor tushunchani beruvchi emas, balki o'quvchining mustaqil ravishda tushuncha mazmuniga yetib borishini tashkil etuvchi pedagogik subyekt sifatida namoyon bo'ladi.

Ilmiy tushuncha shakllanishi, avvalo, o'quvchining mavjud bilimlari bilan yangi bilimlar o'rtasida aloqa o'rnatilishini talab etadi. Yangi tushuncha avvalgi bilimlar tizimiga bog'lanmagan holda taqdim etilsa, uning o'zlashtirilishi ko'pincha mexanik xarakter kasb etadi. Aksincha, yangi tushuncha o'quvchining oldingi tajribasi, amaliy kuzatuvlari va mavjud bilimlari bilan bog'lansa, tushunish darajasi yuqoriladi.

Ilmiy tushunchani shakllantirish jarayonini shartli ravishda quyidagi bosqichlar asosida tashkil etish mumkin:

kuzatish → idrok etish → taqqoslash → muhim belgilarni ajratish → umumlashtirish → tushunchani ta'riflash → boshqa tushunchalar bilan bog'lash → amaliyotda qo'llash → refleksiya.

Mazkur bosqichlar bir-biridan uzilgan holda emas, balki o'zaro bog'liq pedagogik jarayon sifatida tashkil etilishi lozim.

ilmiy tushunchalarni shakllantirishning psixologik asoslari

Ilmiy tushunchalarni shakllantirishda o'quvchining psixologik xususiyatlarini hisobga olish muhim ahamiyatga ega. Chunki har qanday tushuncha insonning bilish jarayonlari orqali o'zlashtiriladi.

Avvalo, idrok tushuncha shakllanishining dastlabki bosqichlaridan biri hisoblanadi. O'quvchi o'rganilayotgan predmet yoki hodisani kuzatish orqali uning tashqi va ichki xususiyatlari haqida dastlabki tasavvur hosil qiladi.

Diqqat muhim belgilarni ajratib olishga xizmat qiladi. Agar o'quvchi obyektning muhim va ikkinchi darajali belgilarini farqlay olmasa, ilmiy tushunchaning mazmuni to'liq shakllanmaydi.

Xotira tushunchaga oid bilimlarni saqlash va qayta tiklashni ta'minlaydi. Biroq zamonaviy ta'limda xotiraning o'zi yetarli emas. O'quvchi tushunchani eslab qolish bilan birga uni tahlil qilish, qayta ishlash va yangi vaziyatda qo'llash imkoniyatiga ega bo'lishi zarur.

Tafakkur ilmiy tushunchalarni shakllantirishning markaziy psixologik mexanizmi hisoblanadi. Taqqoslash, tahlil, sintez, abstraksiya, umumlashtirish, tasniflash va konkretlashtirish kabi aqliy operatsiyalar orqali o'quvchi obyektning muhim belgilarini ajratib, ularni umumlashtirgan holda tushuncha hosil qiladi.

Motivatsiya ham tushunchalarni anglab o'zlashtirishga bevosita ta'sir ko'rsatadi. O'quvchi «Nima uchun buni o'rganishim kerak?» degan savolga javob topa olganida uning bilish faolligi ortadi. Shu sababli ilmiy tushunchalarni real hayotiy vaziyatlar, amaliy muammolar va qiziqarli tadqiqot topshiriqlari bilan bog'lash samarali natija beradi.

Refleksiya esa o'quvchining o'z bilimi va faoliyatini anglashiga xizmat qiladi. O'quvchi «Men nimani bildim?», «Nimani tushunmadim?», «Bu tushunchani qayerda qo'llashim mumkin?» kabi savollarga javob berish orqali o'z bilimlarini qayta ko'rib chiqadi.

Ilmiy tushunchalarni shakllantirishning didaktik asoslari

Ilmiy tushunchalarni shakllantirish samaradorligi ta'limning umumiy didaktik qonuniyatlari va tamoyillariga amal qilinishiga bog'liq.

Ilmiylik tamoyili

Ta'lim mazmuni zamonaviy fan yutuqlariga mos bo'lishi, o'quvchilarga berilayotgan tushunchalarning ilmiy mohiyati buzilmasligi kerak. O'quv materialini soddalashtirish jarayonida tushunchaning asosiy ilmiy mazmuni saqlanishi muhim.

Tizimlilik va izchillik tamoyili

Ilmiy tushunchalar alohida-alohida bilimlar yig'indisi sifatida emas, balki o'zaro bog'langan tizim sifatida shakllantirilishi lozim. Oddiy tushunchalardan murakkab tushunchalarga, ma'lumdan noma'lumga, konkret dan abstraktga qarab harakat qilish ta'limning izchilligini ta'minlaydi.

Onglilik va faollik tamoyili

O'quvchi tushunchani tayyor holda qabul qilmasdan, uning mazmunini anglash va faoliyat jarayonida qayta ishlash imkoniyatiga ega bo'lishi zarur. Savol-javob, muammoli vaziyat, tajriba, muhokama va mustaqil topshiriqlar mazkur tamoyilni amalga oshirishga xizmat qiladi.

Tushunarlilik tamoyili

Ilmiy tushunchalar o'quvchining yosh, psixologik va intellektual imkoniyatlariga mos ravishda taqdim etilishi lozim. Murakkab ilmiy mazmunni vizual modellar, misollar, analogiyalar va amaliy topshiriqlar orqali tushuntirish samaradorlikni oshiradi.

Nazariyaning amaliyot bilan bog'liqligi

O'quvchi ilmiy tushunchaning amaliy ahamiyatini anglashi lozim. Masalan, fizikadagi «kuch», biologiyadagi «ekotizim», matematikadagi «funksiya» yoki tilshunoslikdagi «grammatik

kategoriya» kabi tushunchalar real hayotiy vaziyatlar bilan bog'langanida ularning mazmuni chuqurroq o'zlashtiriladi.

Individuallashtirish va differensiallashtirish

O'quvchilarning bilim darajasi, bilish sur'ati, qiziqishi va psixologik xususiyatlari bir xil emas. Shuning uchun ilmiy tushunchalarni shakllantirishda turli murakkablik darajasidagi topshiriqlardan foydalanish maqsadga muvofiq.

Integrativ yondashuvning ahamiyati

Ilmiy tushunchalarni shakllantirishda integrativ yondashuv alohida ahamiyatga ega. Chunki real hayotdagi hodisa va jarayonlar muayyan bitta fan doirasi bilan cheklanmaydi.

Integratsiya orqali o'quvchi bir tushunchani turli fanlar nuqtai nazaridan ko'rib chiqish imkoniyatiga ega bo'ladi. Masalan, «suv» tushunchasi tabiiy fanlarda modda sifatida, geografiyada tabiiy resurs sifatida, biologiyada tirik organizmlar hayoti uchun zarur omil sifatida, kimyoda esa muayyan kimyoviy birikma sifatida o'rganiladi.

Bunday yondashuv o'quvchida fragmentar emas, balki yaxlit ilmiy tasavvurni shakllantirish imkonini beradi.

Integrativ ta'lim jarayonida quyidagi bog'liqliklar ta'minlanishi mumkin:

fanlararo integratsiya → bilimlarni birlashtirish → tushunchalar o'rtasida aloqa o'rnatish → yaxlit tasavvur → chuqur anglash → amaliy qo'llash.

Shu ma'noda integrativ yondashuv ilmiy tushunchalarni shakllantirishning muhim pedagogik mexanizmi sifatida qaralishi mumkin.

Ilmiy tushunchalarni shakllantirishda zamonaviy pedagogik texnologiyalar

Zamonaviy ta'lim texnologiyalari o'quvchining passiv qabul qiluvchidan faol bilim subyektiga aylanishini ta'minlashga qaratilgan.

Muammoli ta'lim o'quvchilarni mavjud bilimlari asosida yangi tushunchalarni mustaqil izlab topishga undaydi. Muammoli vaziyat yaratish orqali o'quvchida bilish ehtiyoji paydo bo'ladi.

Loyihaviy ta'lim tushunchalarni amaliy faoliyat bilan bog'lash imkonini beradi. O'quvchi loyiha ustida ishlash jarayonida turli fanlardan olgan bilimlarini birlashtiradi.

Keys texnologiyasi real yoki modellashtirilgan vaziyatlarni tahlil qilish orqali tushunchalarning amaliy mazmunini ochib berishga xizmat qiladi.

Konseptual xarita tushunchalar o'rtasidagi iyerarxik va mantiqiy aloqalarni vizual ifodalash imkonini beradi.

STEAM yondashuvi tabiiy fanlar, texnologiya, muhandislik, san'at va matematikani o'zaro bog'lash orqali o'quvchilarda kompleks ilmiy tasavvurlarni shakllantirish imkonini yaratadi.

Xulosa va takliflar. O'quvchilarda ilmiy tushunchalarni shakllantirish ta'lim jarayonining muhim tarkibiy qismi bo'lib, u o'quvchining bilish jarayonlari, mantiqiy tafakkuri, motivatsiyasi va amaliy faoliyati bilan uzviy bog'liq. Ilmiy tushunchalarni o'zlashtirish faqat ta'riflarni yodlash bilan cheklanmasdan, tushunchaning muhim belgilarini anglash, ularni umumlashtirish, boshqa tushunchalar bilan bog'lash, yangi vaziyatlarda qo'llash va refleksiya qilishni qamrab olishi zarur.

Tadqiqot natijalarini nazariy jihatdan umumlashtirish shuni ko'rsatadiki, ilmiy tushunchalarni samarali shakllantirish uchun pedagogik va psixologik mexanizmlar didaktik tamoyillar bilan uzviy birlikda tashkil etilishi kerak. Bunda ongliklik va faollik, ilmiylik, tizimlilik va izchillik, nazariyaning amaliyot bilan bog'liqligi, individuallashtirish va differensiallashtirish muhim ahamiyat kasb etadi.

Integrativ yondashuv esa mazkur jarayonning samaradorligini yanada oshiradi. Fanlararo bilimlarni birlashtirish o'quvchilarda alohida faktlar yig'indisini emas, balki hodisa va jarayonlar haqida yaxlit ilmiy tasavvurni shakllantirishga xizmat qiladi. Shu sababli integrativ pedagogik mexanizmlarga asoslangan ta'lim texnologiyalarini ishlab chiqish va amaliyotga joriy etish o'quvchilarning ilmiy tushunchalarni anglab o'zlashtirish darajasini oshirishning istiqbolli yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

- [1] Mavlonova R., Vohidova N., Rahmonqulova N. *Pedagogika nazariyasi va tarixi*. — Toshkent: Fan va texnologiya, 2010. — 464 b.
- [2] Sharifzoda S.O'., Otajonov O.A., Kutlimurotova N.R. va boshq. *Pedagogika nazariyasi va tarixi. I qism*. — Toshkent: Bookmany Print, 2023. — 400 b.
- [3] Ivanov P.I., Zufarova M.E. *Umumiy psixologiya*. — Toshkent: O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi, 2008. — 240 b.
- [4] Xaydarov F.I., Xalilova N.I. *Umumiy psixologiya*. — Toshkent, 2010. — 247 b.
- [5] G'oziyev E. *Umumiy psixologiya*. — Toshkent: Ilm nurli kitob, 2025. — 167 b.

INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES AND MACROECONOMIC DYNAMICS

Bobonorov Ravshan G'ayrat o'g'li

ravshanbobonorov9@gmail.com

Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Abstract. *This article analyzes the integration of ICT and economics, examining Solow's productivity paradox and global digital trends. Focusing on Uzbekistan's digital transformation, it evaluates IT Park tax incentives, and IT export dynamics (\$392.5M in 2026). Practical recommendations for green corporate accounting and human capital development are also proposed.*

Keywords: *Information and Communication Technologies, Digital Economy, Solow Productivity Paradox, IT Park Uzbekistan, Artificial Intelligence, Green Corporate Accounting.*

Introduction. Information and Communication Technology (ICT) acts as a General-Purpose Technology (GPT) driving aggregate productivity and transforming global markets via artificial intelligence, fintech, and e-commerce. Despite rapid digitalization, evaluating its macroeconomic impact requires addressing theoretical challenges such as the Solow productivity paradox.

Under the "Digital Uzbekistan – 2030" strategy, Uzbekistan has positioned ICT as a key economic engine, supported by institutional reforms and tax incentives for IT Park residents. These measures drove IT service exports to \$392.5 million in the first half of 2026.

This paper examines the theoretical integration of ICT into economic models, and provides actionable recommendations for green corporate accounting and human capital development.

Research Methodology. Incorporates systemic analysis of ICT as a General-Purpose Technology (GPT), institutional analysis of tax incentives, and empirical evaluations of IT service export dynamics. Utilizes empirical data from the Statistics Agency of Uzbekistan, official IT Park Uzbekistan reports (2023–2026), World Bank datasets, and academic literature on the Solow paradox and green accounting. Theoretical synthesis of platform economics and network externalities; empirical analysis of IT Park's export growth and ESG accounting standards.

Proposals and results. Information and Communication Technologies (ICT) act as a General-Purpose Technology (GPT) that drives Total Factor Productivity (TFP) and capital

deepening across macroeconomic aggregates. By leveraging two-sided markets and network externalities, digital platforms eliminate information asymmetry and drastically reduce transaction costs.

Concept	Core Mechanism	Economic Impact
General Purpose Tech (GPT)	Sector-wide integration & modernization	Drives TFP & cross-sector synergy
Network Externalities	Value scales with user base growth	Forms "winner-take-all" markets
Two-Sided Markets	Platform-mediated matching	Cuts transaction costs & boosts transparency
Asymmetric Digital Dividends	Unequal value distribution	Displaces traditional labor & deepens inequality

Because digital gains disproportionately benefit capital owners and skilled workers, automation can exacerbate income inequality—highlighting the critical need for structural and institutional analysis.

The famous thesis articulated by Nobel laureate Robert Solow in 1987, stating that "You can see the computer age everywhere but in the productivity statistics," entered the economic agenda as the "Solow Paradox." Despite the unprecedented development of digital technologies and computerization, a deceleration in total factor productivity growth rates was observed in advanced economies. In the digital era, this paradox is manifesting in an even more complex form.

Modern economics posits four main hypotheses to explain the Solow Paradox and its digital forms. First, according to the statistical measurement error hypothesis, traditional Gross Domestic Product (GDP) and productivity indicators fail to fully capture the quality improvements in digital products and services, as well as the actual consumer welfare generated by free digital services. Known as "uncaptured GDP," this phenomenon implies that the economic value of digital goods remains outside the official system of national accounts. Although consumers derive high utility from free search engines and communication services, this value is not reflected in monetary market transactions.

Second, the intangible assets and implementation lag hypothesis asserts that technological adaptation requires time. Once new technologies are introduced, substantial investments in intangible assets—such as human capital, new business processes, and organizational structures—must be made for their impact to fully manifest in productivity. Until these intangible assets mature, short-term productivity statistics may exhibit a decline.

Third, the redistribution of profits and unproductive expenditure hypothesis explains that enterprise-level IT investments may be directed solely toward capturing market share from competitors rather than increasing overall industry wealth. While marketing and digital advertising expenses are beneficial for an individual firm, they may not generate aggregate added value.

Fourth, according to the IT management misallocation hypothesis, due to the difficulty of calculating the productivity impact of capital invested in information technology, managers

sometimes continue to fund inefficient or unprofitable digital projects. These factors underscore the need to fundamentally reform statistical methodology when assessing the economic impact of digital transformation.

According to recent estimates by the World Bank, the International Monetary Fund, and the World Economic Forum, the digital economy accounts for more than approximately 21 percent of global GDP. The deep integration of Artificial Intelligence (AI), Financial Technology (Fintech), and E-commerce technologies into commercial practices is fundamentally transforming global production and service chains.

Digital Direction	Macroeconomic Impact Channel	Key Indicators and Trends
AI	Reducing operational costs, increasing labor productivity, and driving automation	Significantly lowers business expenses and accelerates TFP growth
Financial Technology	Promoting financial inclusion and reducing transactional friction	Sharply reduces the unbanked population and simplifies lending
E-commerce	Expanding market size, lowering distribution costs, and intensifying competition	Broadens companies' export geography, enabling expansion beyond national borders

The leap in financial technology has become the primary driver for ensuring financial inclusion and expanding the formal sector, particularly in developing economies where traditional banking infrastructure is not fully developed. Digital banking and payment applications reduce transactional friction, mobilizing personal financial resources into active economic circulation. At the same time, the rapid expansion of generative AI technologies is triggering structural shifts in the labor market in the short term. Demand for low-skilled labor based on repetitive tasks is declining, while the need for high-intelligence outsourcing services and ICT infrastructure is continuously increasing.

The development of the digital economy in Uzbekistan and the transformation of ICT into a strategic driver of economic growth are being implemented within the framework of the "Digital Uzbekistan – 2030" national strategy. As a result of institutional reforms carried out in recent years, the share of the digital economy in the country's GDP has been steadily growing: while this indicator stood at 1.99 percent in 2020, it reached 2.77 percent in 2022, enabling the diversification of the national economy.

In establishing Uzbekistan's IT Park ecosystem, state-provided tax and customs incentives played a decisive role in stimulating outsourcing and software export. In accordance with the Tax Code of the Republic of Uzbekistan and relevant decrees of the President of the Republic of Uzbekistan, a special preferential tax regime applies to IT Park residents until January 1, 2028 (and until 2040 for residents whose annual export share exceeds 50 percent).

Under this institutional regime, IT Park residents are fully exempt from all types of state taxes—including corporate income tax, property tax, land tax, and social tax—as well as VAT. The personal income tax rate on compensation earned by employees at resident companies is set at a preferential 7.5 percent instead of the standard 12 percent, and these earnings are not included in total annual income. Additionally, the tax rate on dividend income for foreign founders is reduced

to 5 percent from 10 percent. Foreign specialists do not require a work permit and are granted an "IT-visa" valid for up to 3 years.

In return, IT Park residents pay a monthly contribution of 1 percent of their total revenue to the IT Park Directorate. Starting April 1, 2026, this contribution rate is scheduled to increase to 2–3 percent for residents with low export shares, alongside the regulation of certain incentives for payment organizations and marketplaces. These measures aim to directly target state support toward export-oriented technology enterprises.

The system of strategic measures and incentives implemented in Uzbekistan has ensured exponential growth in IT services exports. The dynamics of IT Park residents' performance metrics from 2023 to 2026 reflect structural shifts within the sector.

Indicators / Years	2023	2024	2026
Number of Resident Companies	1,652	2,600	Over 1,050 exporters
Number of Employees in the Sector	26,017	38,651	17,600+ (exporters only)
Total IT Services Export Volume	\$344.6 million	\$467.6 million	\$392.5 million
Per Capita Export	\$9.5	\$12.6	Upward trend
Export Geography	—	80+ countries	102 countries

An analysis of the geographical structure of Uzbekistan's IT exports reveals that, by the end of the first half of 2026, 54 percent of services exports were directed to the North American market (USA and Canada). The share of the Commonwealth of Independent States (CIS) and other countries accounted for 22 percent, the European Union and the United Kingdom accounted for 16 percent, and the MENA (Middle East and North Africa) region comprised 8 percent. The export geography expanded from just 8 countries in 2017 to 102 countries by 2026.

In managing the financial operations of digital businesses and ICT enterprises, the necessity of implementing green corporate accounting is growing significantly. Integrating environmental responsibility and sustainable development principles into the accounting and financial reporting of ICT entities enables the utilization of energy-efficient server technologies, which substantially reduces operational expenses and utility payments.

For digital enterprises, green accounting not only conserves energy resources but also enhances their ability to attract environmentally responsible foreign investors by aligning with international ESG (Environmental, Social, and Governance) standards. Although implementing these systems creates additional administrative burdens and costs in the initial phase—primarily due to adapting accounting software and training staff—it ultimately secures long-term financial stability and profitability for enterprises.

Conclusion. The macro- and microeconomic analysis of the integration of information and communication technologies (ICT) and the economy demonstrate that ICT is not merely a tool for

economic growth, but a key factor in diversifying a country's export potential and boosting resource productivity. Uzbekistan's experience confirms that targeted institutional support and tax incentives enable a multi-fold increase in intellectual services exports and the attraction of foreign investment within a short timeframe.

To further enhance the economic efficiency of digital transformation and mitigate the risks of the Solow Paradox, a series of strategic and practical measures must be implemented.

First, it is necessary to encourage the adoption of digital technologies within traditional sectors of the economy. For the macroeconomic benefits of digitalization to fully materialize, tax incentives must be extended not only to the IT sector itself, but also to investments made in the intangible assets (such as organizational restructuring and workforce retraining) of industrial, agricultural, and logistics enterprises.

Second, deepening financial inclusion and the integration of digital ecosystems is essential. Fully integrating the unbanked population into the formal financial system via digital financial platforms (Fintech) will enhance transaction transparency and help reduce the share of the shadow economy.

Third, green accounting and ESG standards should be incorporated into the ICT sector. Improving the energy efficiency of data centers and server infrastructure, along with promoting environmental reporting practices, will facilitate the attraction of international "green" investments and reduce operational costs.

REFERENCES:

- [1] Solow.R.M. (1987). We'd better watch out. New York Times Book Review, July 12, 1987, p. 36.
- [2] Brynjolfsson.E, & Hitt.L.M. (2000). Beyond Computation: Information Technology, Organizational Transformation, and Business Performance. Journal of Economic Perspectives, 14(4), 23–48.
- [3] Brynjolfsson.E, Rock.D, & Syverson.C. (2021). The Productivity J-Curve: How Technology Actions Affect Productivity Growth. American Economic Journal: Macroeconomics, 13(1), 333–372.
- [4] Goldfarb.A, & Tucker.C. (2019). Digital Economics. Journal of Economic Literature, 57(1), 3–43.
- [5] World Bank Group. (2021). World Development Report 2021: Data for Better Lives. Washington, DC: World Bank.
- [6] World Economic Forum (WEF). (2024). The Future of Jobs Report 2024. Geneva: World Economic Forum.

SIMULYATSION DIDAKTIK VOSITALARNING TASNIFI VA ULARNI O'QUV JARAYONIGA INTEGRATSIYA QILISH TAMOYILLARI

Eshqobilov Shaxboz Xayrulla o'g'li

Guliston davlat pedagogika instituti mustaqil izlanuvchisi

E-mail: eshqobilov2016@gmail.com

***Annotatsiya.** Mazkur maqolada simulyatsion didaktik vositalarning pedagogik mazmuni, funksional xususiyatlari va tasnif mezonlari tahlil qilinadi hamda ularni zamonaviy o'quv jarayoniga integratsiya qilishning asosiy tamoyillari tizimlashtiriladi. Tadqiqotning dolzarbligi raqamli ta'lim muhitida nazariy bilimlarni amaliy faoliyat, tajriba, muammoli vaziyat va qayta aloqa bilan bog'lash zarurati bilan belgilanadi. Maqolada kompyuter modellash, virtual laboratoriya, simulyatsion o'yin, stsenariyli keys, interaktiv vizualizatsiya hamda VR/AR vositalari*

yagona didaktik tizim sifatida ko'rib chiqiladi. Adabiyotlar tahlili asosida simulyatsion vositalarning samaradorligi ularning o'zidan ko'ra, pedagogik maqsad, topshiriq dizayni, scaffolding, qayta aloqa va baholash bilan qanday uyg'unlashtirilishiga bog'liqligi asoslanadi. Natijada vosita tanlash, darsga joylashtirish, talaba faoliyatini boshqarish va natijani baholashni qamrab oluvchi integratsion model taklif etiladi.

Kalit so'zlar: *simulyatsiya, didaktik vosita, virtual laboratoriya, kompyuter modellashtirish, VR/AR, simulyatsion o'yin, raqamli ta'lim, interaktivlik, axborot kompetensiyasi, pedagogik integratsiya.*

Abstract. *This article examines the pedagogical meaning, functional characteristics, and classification criteria of simulation-based didactic tools and systematizes the principles for integrating them into contemporary learning environments. The study addresses computer modelling, virtual laboratories, simulation games, scenario-based cases, interactive visualizations, and VR/AR tools as components of an integrated didactic system. A literature-based analysis indicates that educational effectiveness depends not only on the technology itself, but also on alignment among learning objectives, task design, instructional scaffolding, feedback, and assessment. Based on this synthesis, an integration model is proposed covering tool selection, lesson placement, learner activity, monitoring, and evaluation.*

Keywords: *simulation, didactic tools, virtual laboratory, computer modelling, VR/AR, simulation game, digital learning, interactivity, information competence, pedagogical integration.*

Kirish Raqamli transformatsiya sharoitida ta'lim jarayonining mazmuni faqat axborotni uzatish bilan cheklanmay, talabani real yoki realga yaqin muammoli vaziyatlarda faol harakat qilishga, qaror qabul qilishga, tajriba o'tkazishga va natijalarni tahlil qilishga yo'naltirilmoqda. Shu nuqtai nazardan simulyatsion didaktik vositalar nazariy bilim bilan amaliy faoliyat o'rtasidagi bog'lovchi mexanizm sifatida namoyon bo'ladi. Zamonaviy tadqiqotlar virtual simulyatsiyalar, ayniqsa virtual laboratoriyalar va immersiv texnologiyalar, fan, muhandislik, tibbiyot va kasbiy ta'limda faol o'rganish va takroriy mashqni qo'llab-quvvatlashga xizmat qilayotganini ko'rsatadi. 2026-yilgi tizimli sharhda 2020–2024-yillarda chop etilgan 20 ta tadqiqot tahlil qilinib, virtual va kengaytirilgan reallik hamda o'quvchi-markazli dizaynlar keng qo'llanayotgani qayd etilgan.

Virtual laboratoriyalar bo'yicha avvalgi sharhlar ham simulyatsiya samaradorligini pedagogik dizayn bilan bog'lash zarurligini ko'rsatadi. Masalan, kimyo ta'limidagi tizimli sharh virtual laboratoriyalar passiv media bilan solishtirganda yaxshiroq yoki amaliy laboratoriya bilan teng/yuqori natijalar berishi mumkinligini, ayniqsa virtual va an'anaviy faoliyatni uyg'unlashtirish samarali bo'lishi mumkinligini ko'rsatgan. Shu bilan birga, ayrim sharhlarda texnik ko'nikmalar va motivatsiya bo'yicha dalillar bir xil darajada qat'iy emasligi qayd etilgan.

Tadqiqot muammosi shundan iboratki, amaliyotda bir xil texnologik vosita turli fan va darslarda turlicha natija berishi mumkin. Demak, "qaysi texnologiyadan foydalanish?" savoli bilan bir qatorda "uni qaysi maqsadda, qaysi bosqichda, qanday topshiriq bilan va qanday baholash mexanizmi orqali qo'llash?" savollari ham muhimdir.

Tadqiqotning maqsadi — simulyatsion didaktik vositalarning ilmiy-pedagogik tasnifini ishlab chiqish va ularni o'quv jarayoniga integratsiya qilish tamoyillarini tizimlashtirish.

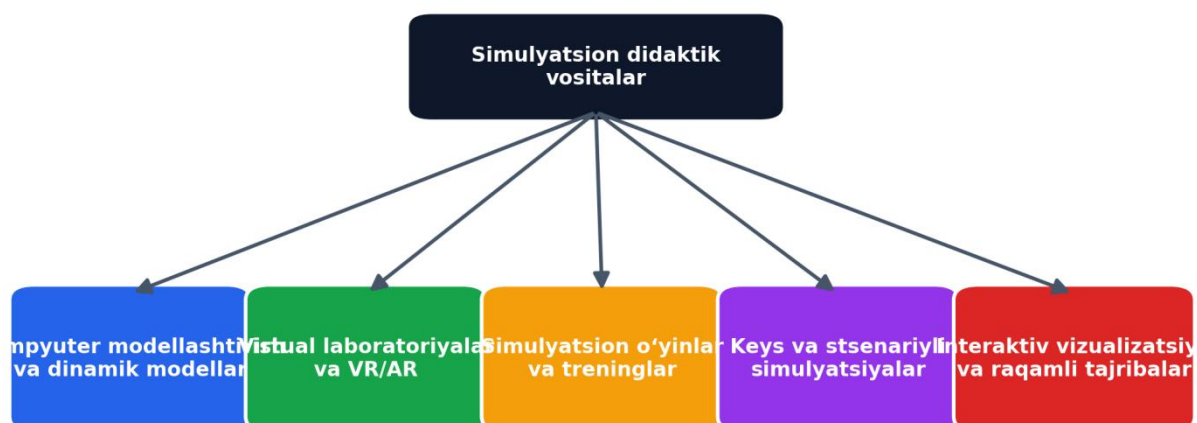
Tadqiqot savollari:

- 1) Simulyatsion didaktik vositalarni qanday funksional mezonlar asosida tasniflash mumkin?
- 2) Ularni dars jarayoniga integratsiya qilishda qaysi didaktik tamoyillar asosiy hisoblanadi?
- 3) Integratsiya jarayonini maqsad–vosita–faoliyat–baholash zanjiri asosida qanday modellashtirish mumkin?

Metodlar Tadqiqot nazariy-tahliliy xarakterga ega bo'lib, ilmiy adabiyotlarni tizimli ko'rib chiqish, kontent-tahlil, qiyosiy tahlil, funksional tasniflash va pedagogik modellashtirish usullariga

tayandi. Tahlil uchun virtual laboratoriyalar, simulyatsiya, ta'lim texnologiyalari va instructional design yo'nalishidagi ochiq ilmiy maqolalar tanlandi. Jumladan, virtual laboratoriyalar bo'yicha tizimli sharhlar, learning analytics tadqiqotlari va 2026-yildagi virtual simulyatsiya bo'yicha tizimli sharhning xulosalari konseptual asos sifatida olindi. 2023-yilgi sharhda virtual laboratoriyalardagi o'quv analitikasi 21 ta empirik tadqiqot doirasida o'rganilgani va ko'plab tizimlar talaba harakatlari haqidagi log ma'lumotlaridan foydalanishi qayd etilgan.

Tasniflash mezonlari quyidagicha belgilandi: (a) modellashtirilayotgan obyekt yoki jarayon; (b) interaktivlik darajasi; (c) o'quv faoliyatining turi; (d) qayta aloqa shakli; (e) qo'llanish muhiti; (f) baholash imkoniyati. Integratsiya tamoyillari esa maqsadga muvofiqlik, pedagogik va texnologik uyg'unlik, faoliyatga yo'naltirilganlik, bosqichma-bosqichlik, individualizatsiya, qayta aloqa, autentiklik, xavfsizlik va natijani o'lchash mezonlari orqali ishlab chiqildi.



1-rasm. Simulyatsion didaktik vositalarning funksional tasnifi

Natijalar Tahlil natijasida simulyatsion didaktik vositalarni besh asosiy guruhga ajratish taklif etildi. Birinchi guruh — kompyuter modellashtirish va dinamik modellar. Bunda talaba parametrlarni o'zgartiradi, jarayon dinamikasini kuzatadi va natija sabablarini izohlaydi. Ikkinchi guruh — virtual laboratoriyalar va VR/AR vositalari bo'lib, ular tajribani raqamli muhitda bajarish, xavfsiz takrorlash va vizual kuzatish imkonini beradi. Uchinchi guruh — simulyatsion o'yinlar va treninglar; ular qaror qabul qilish, rolli faoliyat va takroriy mashqni kuchaytiradi. To'rtinchi guruh — keys va stsenariyli simulyatsiyalar; ular real kasbiy vaziyatlarni modellashtirib, muammo yechimini izlashga yo'naltiradi. Beshinchi guruh — interaktiv vizualizatsiya va raqamli tajribalar bo'lib, murakkab hodisalarni grafik, animatsiya va parametrik boshqaruv orqali tushuntirishga xizmat qiladi.

Virtual laboratoriyalar bo'yicha tadqiqotlar ularni real laboratoriyaning to'liq o'rnini bosuvchi yagona vosita sifatida emas, balki kontekstga qarab to'ldiruvchi yoki ayrim sharoitlarda muqobil vosita sifatida ko'rishni tavsiya qiladi. Ayniqsa virtual va amaliy laboratoriya faoliyatini birlashtirish o'quv natijalarini qo'llab-quvvatlashi mumkin.

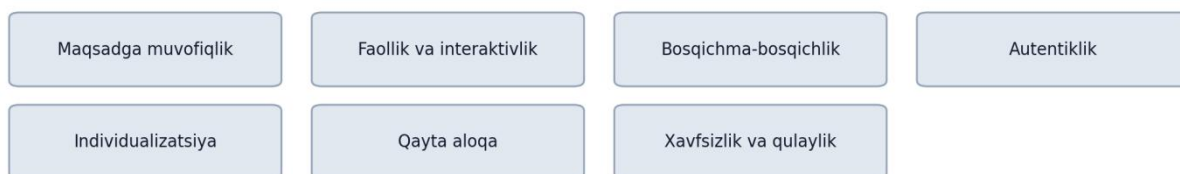
Simulyatsion vositaning didaktik qiymati uchta komponentning uyg'unligida namoyon bo'ladi: 1) modelning mazmuniy aniqligi; 2) talabning faol harakatini talab qiluvchi topshiriq; 3) natijani tahlil qilish va qayta aloqa. Faqat chiroyli grafik interfeysning mavjudligi ta'limiy samaradorlikni avtomatik ravishda ta'minlamaydi. 2026-yildagi tizimli sharh ham texnologik

yechimlar bilan birga experiential, inquiry-based va konstruktivist yondashuvlar qo‘llanayotganini ko‘rsatadi.

Turi	Asosiy funksiyasi	Talaba faoliyati	Qayta aloqa	Mos fanlar
Kompyuter modeli	Jarayonni modellashtirish	Parametr tanlash, tahlil	Darhol/kechiktirilgan	IT, muhandislik, fizika
Virtual laboratoriya	Tajriba va eksperiment	Tajriba bajarish, kuzatish	Natija va xatolik	Tabiiy fanlar, tibbiyot
Simulyatsion o‘yin	Qaror va trening	Rol, qaror, strategiya	Ball, holat, ssenariy	Iqtisod, boshqaruv, pedagogika
Keys-simulyatsiya	Kasbiy muammoni yechish	Vaziyat tahlili, qaror	Rubrika, ekspert bahosi	Pedagogika, menejment
VR/AR vizualizatsiya	Immersiv tajriba	Manipulyatsiya, kuzatish	Vizual/raqamli	Muhandislik, biologiya



Integratsiya tamoyillari



2-rasm. Simulyatsion vositalarni o‘quv jarayoniga integratsiya qilish modeli

Integratsiya qilish tamoyillari

1. Maqsadga muvofiqlik: Vosita dars maqsadidan kelib chiqib tanlanadi. Texnologiya maqsadning o‘rnini egallamasligi, balki unga erishishni osonlashtirishi kerak.

2. Pedagogik–texnologik uyg‘unlik: Simulyatsiya turi, topshiriq murakkablighi va ta’lim metodlari o‘zaro mos bo‘lishi zarur.

3. Faoliyatga yo‘naltirilganlik: Talaba kuzatuvchi emas, parametrlarni boshqaruvchi, tajriba qiluvchi, qaror qabul qiluvchi va natijani sharhlovchi subyekt bo‘lishi kerak.

4. Bosqichma-bosqichlik: Oddiy manipulyatsiyadan murakkab, ko‘p omilli ssenariyga o‘tish; zarur joyda yo‘riqnoma va scaffolding berish.

5. Qayta aloqa: Talabaga xato, natija va keyingi harakat bo‘yicha tezkor hamda tushunarli feedback berish.

6. Individualizatsiya: Turli tayyorgarlik darajasidagi talabalar uchun murakkablik, tezlik va topshiriq hajmini moslashtirish.

7. Autentiklik: Simulyatsiya real kasbiy yoki o‘quv vaziyatining muhim xususiyatlarini saqlashi kerak.

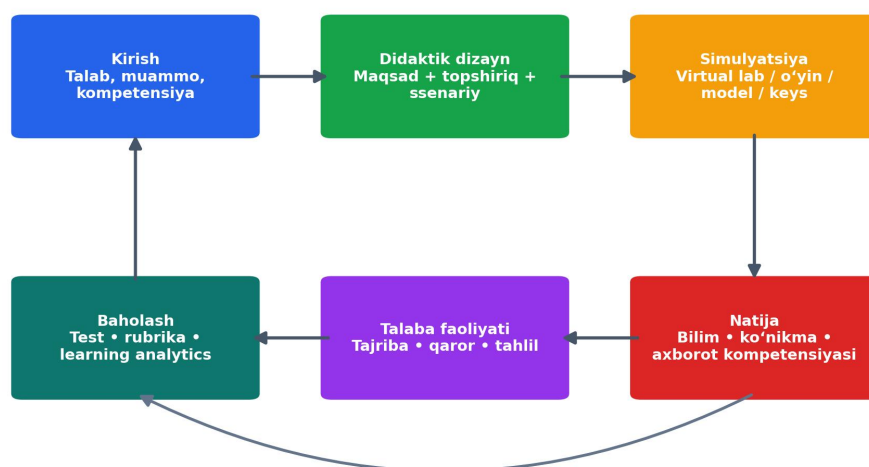
8. Baholash bilan integratsiya: Simulyatsiyadagi faoliyat natijalari test, rubrika, loyiha, log-data yoki refleksiya orqali baholanishi kerak.

9. Resurs va xavfsizlik: Qurilma, internet, dasturiy ta‘minot va akademik xavfsizlik talablari oldindan hisobga olinadi.

Muhokama Natijalar simulyatsion didaktik vositalarni “texnologiya” emas, “pedagogik vosita” sifatida loyihalash zarurligini ko‘rsatadi. Bunda birinchi navbatda o‘quv natijasi aniqlanadi, keyin mazkur natijani shakllantiradigan faoliyat va ssenariy ishlab chiqiladi, shundan so‘ng mos simulyatsiya tanlanadi. Bunday yondashuv texnologik imkoniyatlarni pedagogik maqsadga bo‘ysundiradi.

Virtual laboratoriyalar bo‘yicha 2021-yilgi tizimli sharhda ko‘plab tadqiqotlar ijobiy konseptual natijalarni ko‘rsatgani, biroq skill-based outcomes bo‘yicha dalillar yetarlicha bir xil emasligi ta‘kidlangan. Bu holat simulyatsiyani amaliy ko‘nikma shakllantirishning yagona mexanizmi sifatida qabul qilmaslik, balki zarur holatlarda real laboratoriya, ustoz ko‘rsatmasi va amaliy topshiriq bilan uyg‘unlashtirish kerakligini anglatadi.

Shuningdek, learning analytics imkoniyatlari simulyatsion muhitning muhim afzalliklaridan biridir: talabaning qaysi bosqichda xato qilgani, nechta urinish qilgani, qancha vaqt sarflagani va qanday qarorlar ketma-ketligini tahlil qilish mumkin. Biroq mavjud tadqiqotlar bu yo‘nalishda platformalar va ko‘rsatkichlar jihatidan parchalanganini ko‘rsatadi; shu sababli ta‘lim muassasalari uchun umumiy ko‘rsatkichlar va baholash protokollarini ishlab chiqish muhim.



3-rasm. Simulyatsion didaktik vositalar asosidagi integrallashgan pedagogik model

Taklif etilayotgan integratsion modelning amaliy algoritmi

- 5 1-bosqich — diagnostika: mavzu, o‘quv natijasi, talabalar tayyorgarligi va mavjud texnik resurslar aniqlanadi.
- 6 2-bosqich — vosita tanlash: model, virtual laboratoriya, o‘yin, keys yoki VR/AR vositasi didaktik mezonlar asosida tanlanadi.
- 7 3-bosqich — ssenariy yaratish: kirish vaziyati, topshiriq, cheklovlar, kutiladigan harakatlar va natijalar belgilanadi.
- 8 4-bosqich — faoliyat: talaba tajriba o‘tkazadi, parametrlarni o‘zgartiradi, qaror qabul qiladi va natijalarni qayd etadi.
- 9 5-bosqich — monitoring: o‘qituvchi kuzatuv, log-data, mini-test yoki rubrika orqali jarayonni nazorat qiladi.
- 10 6-bosqich — refleksiya: talaba nima sodir bo‘lganini, nima uchun xato yuz berganini va qanday yechim tanlanganini izohlaydi.
- 11 7-bosqich — baholash va takomillashtirish: natija mezonlar bo‘yicha baholanadi va keyingi dars uchun ssenariy takomillashtiriladi.

XULOSA

Tadqiqot natijasida simulyatsion didaktik vositalarni funksional jihatdan besh asosiy guruhga ajratish taklif qilindi: kompyuter modellash, virtual laboratoriya va VR/AR, simulyatsion o‘yinlar, keys/ssenariyli simulyatsiyalar hamda interaktiv vizualizatsiyalar. Ularni o‘quv jarayoniga integratsiya qilishda maqsadga muvofiqlik, pedagogik–texnologik uyg‘unlik, faoliyatga yo‘naltirilganlik, bosqichma-bosqichlik, individualizatsiya, qayta aloqa, autentiklik va baholash bilan integratsiya tamoyillari asosiy mezon sifatida belgilandi.

Taklif etilgan model “maqsad → didaktik dizayn → simulyatsiya → talaba faoliyati → monitoring → baholash → refleksiya” sikliga asoslanadi. Ushbu sikl o‘qituvchiga texnologiyani shunchaki namoyish qilish emas, balki uni o‘quv natijasini shakllantiruvchi faol pedagogik muhitga aylantirish imkonini beradi. Kelgusidagi tadqiqotlarda mazkur modelni kompyuter injiniringi, texnik tizimlarda axborot texnologiyalari va boshqa muhandislik fanlarida tajriba-sinovdan o‘tkazish, pretest–posttest natijalari, rubrikalar va learning analytics ko‘rsatkichlari asosida statistik baholash maqsadga muvofiq.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Yindeemak, A., Pasmala, R., Chooppawa, P., Nammanee, M., Jantakoon, T., Wannapiroon, P., & Nilsook, P. (2026). Emerging Trends in Virtual Simulation for Education: A Systematic Review of Technology–Pedagogy Alignment. *International Journal of Technology in Education and Science*, 10(2), 417–442. <https://doi.org/10.46328/ijtes.6779>.

[2] Zhang, X., Al-Mekhled, D., & Choate, J. (2021). Are virtual physiology laboratories effective for student learning? A systematic review. *Advances in Physiology Education*, 45(3), 467–480. <https://doi.org/10.1152/advan.00016.2021>.

[3] Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M., & Jovanović, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers & Education*, 95, 309–327. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002>.

[4] Learning analytics in virtual laboratories: a systematic literature review of empirical research. *Smart Learning Environments*, 10, 23 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00244-y>.

[5] Virtual chemical laboratories: A systematic literature review of research, technologies and instructional design. Computers & Education: X Reality, 2 (2021), 100053. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100053>.

[6] Enhancing students' science learning using virtual simulation technologies: a systematic review (published online 2025). International Journal of Educational Research / relevant publisher record. 73 studies were screened and pedagogical and technological dimensions were analyzed.

RAQAMLI TA'LIM MUHITINING O'ZIGA XOS XUSUSIYATLARI VA UNDAGI DIDAKTIK IMKONIYATLAR

Eshqobilov Shaxboz Xayrulla o'g'li

Guliston davlat pedagogika instituti mustaqil izlanuvchisi

E-mail: eshqobilov2016@gmail.com

ANNOTATSIYA. Mazkur maqolada raqamli ta'lim muhitining pedagogik mazmuni, o'ziga xos xususiyatlari va undagi didaktik imkoniyatlar tizimli ravishda tahlil qilinadi. Raqamli ta'lim muhiti ta'lim mazmuni, raqamli resurslar, pedagog, ta'lim oluvchi, kommunikatsiya vositalari, baholash va analitik mexanizmlarni yagona axborot-pedagogik makonda birlashtiruvchi tizim sifatida talqin etiladi. Tadqiqotda interaktivlik, individuallashtirish, moslashuvchanlik, multimedia, hamkorlik, tezkor qayta aloqa, monitoring va ta'lim jarayonini ma'lumotlar asosida boshqarish kabi xususiyatlarning didaktik ahamiyati yoritilgan. Shuningdek, virtual laboratoriya, simulyatsiya, gamifikatsiya, elektron baholash, sun'iy intellekt va ta'lim analitikasi kabi vositalarning o'quv faoliyatini faollashtirishdagi imkoniyatlari ko'rsatib beriladi. Maqola yakunida raqamli muhitdan samarali foydalanish uchun pedagogik, metodik va texnologik shartlar tavsiya etiladi.

Kalit so'zlar: raqamli ta'lim muhiti, didaktik imkoniyat, interaktivlik, individuallashtirish, virtual laboratoriya, simulyatsiya, ta'lim analitikasi, multimedia, elektron baholash.

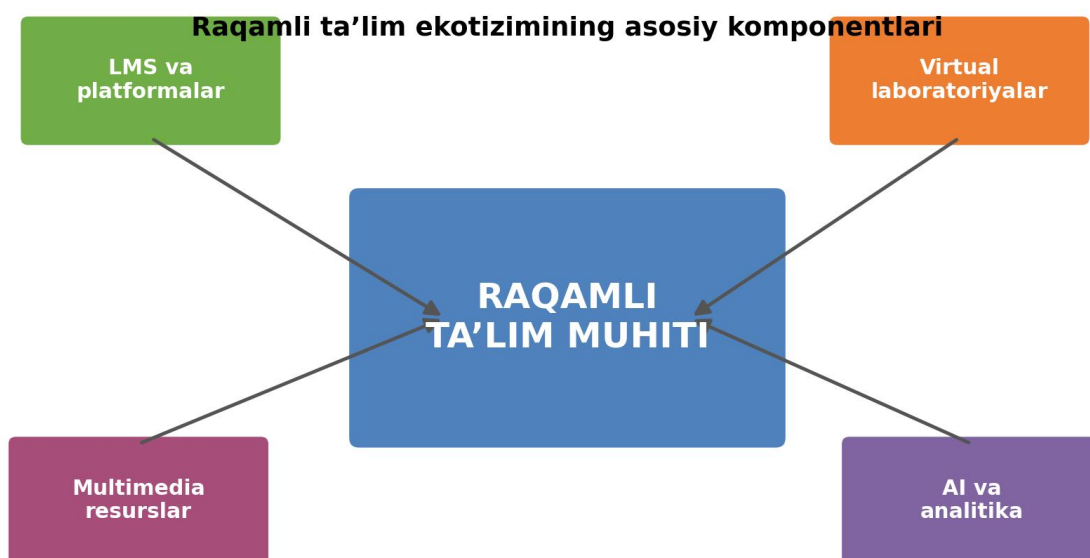
Abstract. This article systematically analyzes the pedagogical content, specific characteristics, and didactic opportunities of the digital learning environment. The digital learning environment is interpreted as an integrated information and pedagogical space that combines educational content, digital resources, teachers, learners, communication tools, assessment, and analytical mechanisms. The study highlights the didactic significance of such characteristics as interactivity, individualization, flexibility, multimedia, collaboration, immediate feedback, monitoring, and data-driven management of the educational process. It also examines the potential of such tools as virtual laboratories, simulations, gamification, electronic assessment, artificial intelligence, and learning analytics to enhance and activate learners' educational activities. Finally, the article proposes pedagogical, methodological, and technological conditions for the effective use of digital learning environments.

Keywords: digital learning environment, didactic opportunities, interactivity, individualization, virtual laboratory, simulation, learning analytics, multimedia, electronic assessment.

Kirish Raqamlashtirish jarayonining ta'limga jadal kirib kelishi o'qitishning mazmuni, shakllari va metodlarini qayta ko'rib chiqishni talab qilmoqda. An'anaviy ta'lim modelida o'quv axboroti asosan auditoriya, darslik va o'qituvchi faoliyati orqali yetkazilsa, raqamli ta'lim muhitida ta'lim mazmuni turli platformalar, elektron resurslar, multimedia, simulyatsiya va onlayn kommunikatsiya vositalari bilan boyitiladi. Bunday muhit o'quvchining faqat axborotni qabul qilishi emas, balki uni izlash, tahlil qilish, tajriba qilish, hamkorlikda muhokama etish va natijani mustaqil baholashiga sharoit yaratadi.

Raqamli ta'lim muhitining pedagogik qiymati texnologiyaning o'zida emas, balki undan qanday didaktik maqsadda foydalanilishida namoyon bo'ladi. Shu sababli raqamli vositalarni

tanlashda o'quv maqsadi, mazmunning murakkabligi, ta'lim oluvchilarning individual ehtiyojlari, qayta aloqa mexanizmi va baholash mezonlari o'zaro uyg'unlashtirilishi zarur.



1-rasm. Raqamli ta'lim muhitining asosiy komponentlari

Tadqiqot materiali va metodlari Tadqiqot nazariy-tahliliy xarakterga ega bo'lib, raqamli ta'lim muhitining didaktik imkoniyatlarini aniqlash uchun ilmiy-pedagogik adabiyotlar, raqamli ta'lim konsepsiyalari va zamonaviy o'qitish texnologiyalari haqidagi manbalar tahlil qilindi. Tizimli yondashuv asosida raqamli muhitning tarkibiy qismlari, funksiyalari va ularning o'quv jarayonidagi o'zaro aloqasi ko'rib chiqildi. Qiyosiy tahlil yordamida an'anaviy va raqamli ta'lim muhitining ayrim didaktik jihatlari solishtirildi.

Tadqiqotda quyidagi metodlardan foydalanildi: pedagogik adabiyotlarni nazariy tahlil qilish, tizimlashtirish, taqqoslash, umumlashtirish, didaktik modellash va kontent-tahlil. Mazkur metodlar raqamli muhitning o'ziga xos xususiyatlarini alohida vositalar sifatida emas, balki yagona pedagogik tizimning elementlari sifatida ko'rib chiqish imkonini berdi.

Natijalar Tahlil natijasida raqamli ta'lim muhitining didaktik jihatdan muhim bo'lgan sakkizta xususiyati ajratildi: interaktivlik, individuallashtirish, moslashuvchanlik, multimedia asosida taqdim etish, hamkorlik, tezkor qayta aloqa, ta'lim monitoringi va resurslarning ochiqqligi. Ushbu xususiyatlar bir-biridan mustaqil emas; ular yagona didaktik siklda o'zaro bog'lanadi.

Interaktivlik ta'lim oluvchini o'quv faoliyatining faol subyektiga aylantiradi. Masalan, simulyatorlarda parametrlarni o'zgartirish, virtual laboratoriyada tajriba o'tkazish yoki interaktiv testlarda natijani darhol ko'rish nazariy bilimni amaliy harakat bilan bog'laydi. Bu, ayniqsa, texnik va muhandislik fanlarida murakkab jarayonlarni xavfsiz va takroriy ravishda modellash uchun muhimdir.

Individuallashtirish raqamli muhitning yana bir muhim jihatidir. Elektron platformalar topshiriqlarni murakkablik darajasiga ko'ra ajratish, o'quvchining natijalarini qayd etish va keyingi faoliyatni uning ehtiyojiga moslashtirish imkonini beradi. Bunda bir xil topshiriqni barcha ta'lim oluvchilarga berish o'rniga, tayyorgarlik darajasiga mos differensial topshiriqlarni tashkil etish mumkin.

Multimedia imkoniyatlari matn, rasm, audio, video, animatsiya, 3D model va infografikani birlashtirish orqali abstrakt tushunchalarni vizuallashtirishga xizmat qiladi. Biroq multimedia ko'pligi o'z-o'zidan ta'lim samaradorligini kafolatlamaydi. Har bir raqamli obyekt muayyan o'quv maqsadi va didaktik vazifaga xizmat qilishi kerak.

Raqamli ta'lim muhitining asosiy didaktik imkoniyatlari

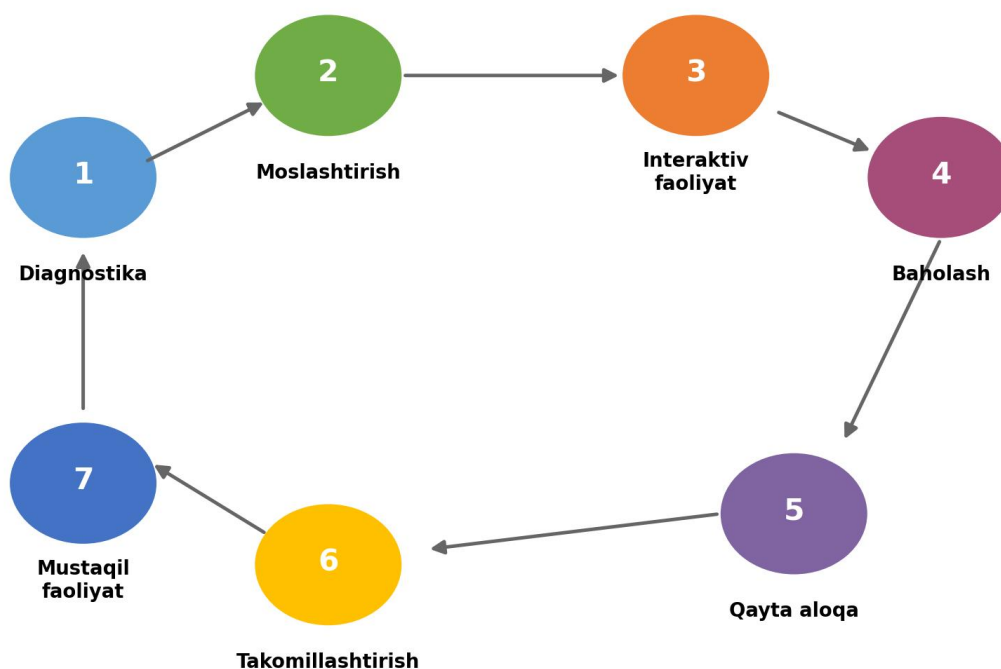


2-rasm. Raqamli ta'lim muhitining asosiy didaktik imkoniyatlari

Virtual laboratoriyalar va simulyatsiyalar real muhitda bajarish qiyin, qimmat yoki xavfli bo'lgan tajribalarni raqamli makonda tashkil etish imkonini beradi. Talaba jarayon parametrlarini o'zgartirib, natijani kuzatishi, xatoni aniqlashi va tajribani qayta bajarishi mumkin. Shu tariqa "sinab ko'rish – natijani kuzatish – tahlil qilish – xulosalash" sikli shakllanadi.

Ta'lim analitikasi raqamli muhitning boshqaruv funksiyasini kuchaytiradi. Tizimda bajarilgan topshiriqlar, test natijalari, faollik va o'zlashtirish dinamikasi haqidagi ma'lumotlar yig'ilib, pedagogga ta'lim jarayonini kuzatish va o'z vaqtida metodik tuzatishlar kiritish imkonini beradi. Bunday yondashuv baholashni faqat yakuniy natija bilan cheklamasdan, o'quv jarayonining o'zini ham monitoring qilishga yordam beradi.

Raqamli muhitda didaktik jarayonning siklik modeli



3-rasm. Raqamli muhitda didaktik jarayonning siklik modeli

Muhokama Raqamli ta'lim muhitining didaktik imkoniyatlari o'qituvchining rolini kamaytirmaydi, aksincha, uning faoliyatini metodik loyihalash va ta'lim jarayonini boshqarish tomon yo'naltiradi. Pedagog tayyor raqamli resursni shunchaki darsga qo'shishdan ko'ra, undan qaysi bosqichda, qanday topshiriq bilan va qanday baholash mezonini asosida foydalanishni belgilashi lozim.

Raqamli muhitda samarali didaktik dizayn uchun kamida quyidagi shartlar muhim: birinchidan, raqamli vosita o'quv maqsadiga mos bo'lishi; ikkinchidan, faoliyat va qayta aloqa mexanizmi mavjud bo'lishi; uchinchidan, topshiriqlar individual farqlarni hisobga olishi; to'rtinchidan, raqamli resursdan foydalanish qulay va tushunarli bo'lishi; beshinchidan, natijalarni tahlil qilish imkoniyati yaratilishi. Shu bilan birga, raqamli tengsizlik, internetga bog'liqlik, axborot xavfsizligi, akademik halollik va ortiqcha ekran yuklamasi kabi muammolar ham metodik rejalashtirishda e'tiborga olinishi kerak.

Shunday qilib, raqamli ta'lim muhiti an'anaviy ta'limni to'liq almashtiruvchi emas, balki uning didaktik imkoniyatlarini kengaytiruvchi pedagogik makon sifatida qaralishi maqsadga muvofiq. Ayniqsa, raqamli vositalar real pedagogik vazifa bilan bog'langanida — masalan, murakkab jarayonni simulyatsiya qilish, individual mashq berish, tezkor feedback taqdim etish yoki hamkorlikdagi loyiha tashkil etishda — ularning ta'limiy qiymati yanada yaqqol namoyon bo'ladi.

XULOSA

Raqamli ta'lim muhiti ta'lim mazmuni, raqamli texnologiyalar, pedagog va ta'lim oluvchining faoliyatini yagona tizimda birlashtiruvchi zamonaviy pedagogik makondir. Uning o'ziga xos xususiyatlari — interaktivlik, individuallashtirish, moslashuvchanlik, multimedia, hamkorlik, tezkor qayta aloqa va analitik monitoring — o'quv jarayonini faol, moslashuvchan va ma'lumotlarga tayangan holda tashkil etish imkonini beradi.

Tadqiqot natijalariga ko'ra, raqamli vositalarning didaktik samarasi ularning soni bilan emas, balki pedagogik maqsadga muvofiq va metodik jihatdan asoslangan qo'llanilishi bilan belgilanadi. Shuning uchun ta'lim muassasalarida raqamli muhitni rivojlantirish jarayonida o'qituvchilarning raqamli-pedagogik kompetensiyasini oshirish, sifatli elektron resurslar yaratish, virtual laboratoriya va simulyatsiyalarni fan mazmuniga integratsiya qilish hamda ta'lim analitikasidan foydalanish muhim yo'nalishlar hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] UNESCO. Global Education Monitoring Report 2023: Technology in education: A tool on whose terms? Paris: UNESCO, 2023.

[2] OECD. Digital Education Outlook 2021: Pushing the Frontiers with Artificial Intelligence, Blockchain and Robots. Paris: OECD Publishing, 2021.

[3] Bates, A. W. Teaching in a Digital Age: Guidelines for Designing Teaching and Learning. 2nd ed. Vancouver: Tony Bates Associates Ltd., 2019.

[4] Mayer, R. E. Multimedia Learning. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

[5] Anderson, T. The Theory and Practice of Online Learning. 2nd ed. Athabasca University Press, 2008.

[6] Salmon, G. E-Moderating: The Key to Teaching and Learning Online. 3rd ed. Routledge, 2011.

[7] O'zbekiston Respublikasi. "Ta'lim to'g'risida"gi Qonun, O'RQ-637-son, 23.09.2020.

RAQAMLI TEXNOLOGIYALARNING ANATOMIYA FANINI O'QITISHDAGI IMKONIYATLARI

Fazilova L.A.¹, Ubaydullayeva L.A.²

¹Toshkent davlat tibbiyot universiteti katta o'qituvchisi, Toshkent shahri

²1-son Abu Ali Ibn Sino nomidagi jamoat salomatligi texnikumi, umumkasbiy modullar kafedrası mudiri, Toshkent shahri

Annotatsiya. Mazkur maqolada raqamli texnologiyalarning anatomiya fanini o'qitishdagi didaktik imkoniyatlari, axborot-kommunikatsiya texnologiyalari va anatomiya yo'nalishlari integratsiyasi asosida tahlil qilinadi. Uch o'lchamli modellar, virtual diseksiya, kengaytirilgan va virtual reallik, raqamli atlaslar hamda interaktiv platformalarning anatomik tuzilmalarni fazoviy tasavvur qilish, mustaqil o'rganish va amaliy mashg'ulotlarni boyitishdagi o'rni yoritiladi. Zamonaviy tadqiqotlar raqamli vositalar an'anaviy anatomik preparatlari va proseksiyalarni to'liq almashtirishdan ko'ra, ular bilan multimodal tarzda uyg'unlashtirilganda samaraliroq bo'lishi mumkinligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: raqamli texnologiyalar, anatomiya ta'limi, AKT, 3D model, virtual reallik, kengaytirilgan reallik, virtual diseksiya, raqamli atlas, tibbiy ta'lim.

Аннотация. В статье анализируются дидактические возможности цифровых технологий в преподавании анатомии на основе интеграции информационно-коммуникационных технологий и анатомического образования. Рассматривается применение трехмерных моделей, виртуальной диссекции, технологий дополненной и виртуальной реальности, цифровых атласов и интерактивных платформ. Современные исследования показывают, что цифровые инструменты целесообразно использовать не как полную замену традиционных анатомических методов, а в сочетании с ними в рамках мультимодального обучения.

Ключевые слова: цифровые технологии, анатомическое образование, ИКТ, 3D-модели, виртуальная реальность, дополненная реальность, виртуальная диссекция, цифровой атлас, медицинское образование.

Abstract. This article analyzes the didactic potential of digital technologies in anatomy education through the integration of information and communication technologies and anatomical sciences. The paper examines three-dimensional models, virtual dissection, augmented and virtual reality, digital atlases, and interactive platforms for developing spatial understanding of anatomical structures, supporting self-directed learning, and enriching practical classes. Recent research suggests that digital tools are most useful when integrated with traditional cadaver-based and practical approaches rather than used as their complete replacement.

Keywords: digital technologies, anatomy education, ICT, 3D models, virtual reality, augmented reality, virtual dissection, digital atlas, medical education.

KIRISH

Tibbiy ta'limning zamonaviy bosqichida raqamli texnologiyalar o'quv jarayonining mazmuni, shakli va vositalarini yangilashning muhim omiliga aylanmoqda. Ayniqsa, anatomiya fanini o'qitishda raqamli vositalardan foydalanish anatomik tuzilmalarning murakkab fazoviy munosabatlarini ko'rgazmali va interaktiv tarzda namoyish etish imkonini beradi. UNESCO raqamli kompetensiyalarni zamonaviy ta'limning muhim tarkibiy qismi sifatida baholab, texnologiyalarni ta'lim maqsadlari bilan uyg'unlashtirish va innovatsiyalarni qo'llab-quvvatlash zarurligini ta'kidlaydi.

Anatomiya ta'limida an'anaviy ravishda ma'ruza, atlas, kadavr preparatlari, proseksiyalar va amaliy mashg'ulotlardan foydalaniladi. Biroq anatomik obyektlarning uch o'lchamli tuzilishini ikki o'lchamli tasvirlar orqali tasavvur qilish ayrim talabalar uchun murakkab bo'lishi mumkin.

Zamonaviy sharhlarda 3D modellar, virtual reallik va mobil vositalar anatomiya ta'limini diversifikatsiya qilish imkonini berishi, biroq an'anaviy usullar hamon muhim o'rin tutishi qayd etilgan.

TADQIQOT METODLARI

Tadqiqotning maqsadi – raqamli texnologiyalarning anatomiya fanini o'qitishdagi imkoniyatlarini aniqlash hamda AKT va anatomiya yo'nalishlari integratsiyasi asosida ularni ta'lim jarayoniga samarali kiritishning didaktik shartlarini belgilash. Tadqiqotda ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish, taqqoslash, umumlashtirish va kontent-tahlil usullaridan foydalanildi.

Nazariy tahlil uchun 2024–2025-yillarda nashr etilgan anatomiya ta'limida raqamli texnologiyalardan foydalanishga bag'ishlangan ilmiy maqolalar, tizimli sharhlar va UNESCOning raqamli ta'limga oid materiallari o'rganildi. Raqamli anatomiya platformalari, virtual diseksiya, virtual va kengaytirilgan reallik hamda interaktiv o'quv vositalarining ta'limdagi o'rni tahlil qilindi.

Tahlil mezonlari: anatomik tuzilmalarning fazoviy tasvirini berish imkoniyati; talabanning interaktiv va mustaqil faoliyatini qo'llab-quvvatlashi; amaliy mashg'ulotlar bilan integratsiyalashuvi; texnik foydalanish qulayligi; an'anaviy anatomiya ta'limini to'ldirish imkoniyati.

NATIJALAR

Adabiyotlar tahlili anatomiya ta'limida raqamli texnologiyalarning bir necha asosiy imkoniyatlarini aniqladi. Birinchi imkoniyat – anatomik tuzilmalarning uch o'lchamli va dinamik tasvirini yaratish. 3D modellar yordamida talaba organ, suyak, mushak, qon tomirlari va boshqa tuzilmalarni turli burchaklardan ko'rishi, kattalashtirishi va ularning o'zaro fazoviy munosabatlarini kuzatishi mumkin.

Ikkinchi imkoniyat – virtual diseksiya va virtual reallik vositalaridan foydalanish. Tizimli meta-tahlilda virtual va kengaytirilgan reallikning anatomiya ta'limidagi samaradorligi o'rganilgan. Virtual muhit talabanning anatomik obyekt bilan faol ishlashini va murakkab fazoviy munosabatlarni interaktiv o'rganishini ta'minlashi mumkin.

Uchinchi imkoniyat – raqamli atlas va ta'lim platformalaridan mustaqil foydalanish. Raqamli platformalar talabanning darsdan tashqari vaqtda anatomik materiallarni takrorlashi, mavzu bo'yicha test topshiriqlarini bajarishi va o'z bilimini nazorat qilishi uchun sharoit yaratadi. Tadqiqotlardan birida raqamli anatomiya platformasining foydaliligi bilan undan real foydalanish darajasi o'rtasida farq bo'lishi mumkinligi aniqlangan. Bu raqamli vositani aniq pedagogik vazifalar bilan bog'lash zarurligini ko'rsatadi.

To'rtinchi imkoniyat – mobil texnologiyalar orqali o'quv materiallariga tezkor kirish. Smartfon va planshetlar yordamida anatomik atlaslar, videolar, interaktiv tasvirlar va testlardan foydalanish talabanning mustaqil ta'lim olish imkoniyatlarini kengaytiradi. Biroq mazmunning ilmiy aniqligi, manbaning ishonchliligi va raqamli resursning o'quv dasturiga mosligi nazorat qilinishi lozim.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Anatomiya fanini o'qitishda raqamli texnologiyalarning muhim afzalliklaridan biri – murakkab anatomik tuzilmalarni ko'rgazmali va interaktiv tarzda tushuntirish imkoniyatidir. 3D modellar va virtual muhitlar anatomik munosabatlarni dinamik tarzda kuzatish imkonini beradi.

Shu bilan birga, raqamli texnologiyalarni an'anaviy anatomiya ta'limining to'liq o'rnini bosuvchi vosita sifatida baholash to'g'ri emas. Zamonaviy sharhlarda ko'plab tibbiyot maktablarida kadavrga asoslangan an'anaviy usullar hanuz ustun ekani va multimodal yondashuv – an'anaviy va raqamli usullarni birlashtirish – istiqbolli yo'nalish ekani ko'rsatilgan.

Bu holat AKT va anatomiya mutaxassislarining hamkorligini talab qiladi. Anatomiya mutaxassisi raqamli resursdagi tuzilmalarning ilmiy aniqligi, terminologiyasi, topografik

munosabatlari va klinik ahamiyatini belgilaydi. AKT mutaxassisi esa mazkur kontentni interaktiv, foydalanishga qulay va texnik jihatdan barqaror raqamli muhitga joylashtirish, multimedia elementlarini integratsiyalash va foydalanuvchi tajribasini yaxshilash masalalarini hal etadi.

Virtual reallikdan foydalanish ham alohida e'tiborga loyiq. Pilot tadqiqotlar virtual reallik texnologiyasini tizimli anatomiya mashg'ulotlariga kiritish imkoniyatlarini ko'rsatmoqda. Bunday texnologiyalar talabaning anatomik obyektga turli rakurslardan qarashiga va fazoviy tasavvurini rivojlantirishga yordam berishi mumkin. Biroq texnik jihozlarning narxi, dasturiy ta'minotga ehtiyoj va o'qituvchilarni tayyorlash zarurati hisobga olinishi kerak.

Virtual diseksiya ham anatomik ta'limni boyituvchi vositadir. Xalqaro talabalar ishtirokidagi tadqiqotlarda virtual diseksiya ilovalari anatomiya o'rganishning qo'shimcha vositasi sifatida o'rganilgan. Bunday resurslar murakkab anatomik tuzilmalarni qayta-qayta ko'rish, individual tempda ishlash va amaliy mashg'ulotga tayyorgarlik ko'rish imkonini beradi.

Raqamli anatomiya platformalaridan foydalanishda talabaning faolligi va motivatsiyasi ham muhim. Raqamli resursning ko'pligi avtomatik ravishda yuqori ta'lim natijasini kafolatlamaydi. Har bir raqamli vosita aniq o'quv maqsadi, topshiriq, nazorat va qayta aloqa mexanizmi bilan bog'lanishi kerak.

AMALIY TAVSIYALAR

Tadqiqot natijalariga asoslanib, anatomiya fanini raqamlashtirishda "raqamli vosita, anatomik mazmun, amaliy topshiriq, baholash" ketma-ketligidan foydalanish maqsadga muvofiq. Bunda raqamli texnologiya o'z-o'zicha maqsad emas, balki anatomik bilimni chuqurlashtirishga xizmat qiluvchi didaktik vosita sifatida qaraladi.

Birinchi yo'nalish – raqamli anatomik atlaslardan foydalanish. Elektron atlaslar mavzuni oldindan o'rganish, amaliy mashg'ulotga tayyorlanish va o'zlashtirilgan bilimni mustaqil takrorlash uchun qo'llanishi mumkin. Ikkinchi yo'nalish – 3D modellarni amaliy mashg'ulotlarga integratsiyalash. Talaba anatomik tuzilmani aylantirish, kattalashtirish va alohida qismlarni ajratish orqali fazoviy tasavvurini rivojlantiradi.

Uchinchi yo'nalish – virtual va kengaytirilgan reallikdan foydalanish. Bunday vositalar murakkab anatomik hududlar, organlararo munosabatlar va klinik anatomiyaning tushuntirishda foydali bo'lishi mumkin. Biroq texnologik vosita o'qituvchining izohi, amaliy mashg'ulot va real anatomik material bilan uyg'unlashtirilishi kerak.

To'rtinchi yo'nalish – raqamli baholash. Interaktiv testlar, anatomik obyektning aniqlash mashqlari va raqamli portfolio orqali talabaning bilimni bosqichma-bosqich baholash mumkin. Bu usul o'qituvchiga o'zlashtirishdagi bo'shliqlarni aniqlash, talabaga esa o'z natijasini kuzatish imkonini beradi.

Beshinchi yo'nalish – mustaqil ta'limni qo'llab-quvvatlash. Talaba darsdan tashqari vaqtda raqamli resurslardan foydalanib, anatomik tuzilmalarni qayta ko'rishi, video va interaktiv materiallarni o'rganishi hamda o'z bilimni test orqali tekshirishi mumkin. Topshiriqlar oddiydan murakkabga tamoyili asosida tuzilishi va amaliy vaziyatlar bilan bog'lanishi maqsadga muvofiq.

AKT va anatomiya yo'nalishlari integratsiyasi asosida quyidagi modelni taklif etish mumkin: anatomik o'quv maqsadini belgilash, mos raqamli vositani tanlash, anatomik kontentni raqamlashtirish, interaktiv topshiriq yaratish, amaliy mashg'ulot bilan bog'lash, diagnostik baholash, natijalarni tahlil qilish va resursni takomillashtirish.

MUHOKAMA

Raqamli anatomiya ta'limining samaradorligi texnologiyaning murakkabligi bilan emas, uning o'quv maqsadiga qanchalik mos kelishi bilan belgilanadi. Tadqiqotlarda talabalar virtual anatomiya vositalaridan foydalanishga ijobiy munosabat bildirishi mumkinligi bilan birga, raqamli

platformalardan foydalanish darajasi turlicha bo'lishi ko'rsatilgan. Shuning uchun ta'lim jarayonida raqamli resurslardan foydalanish bo'yicha aniq metodik ko'rsatmalar zarur.

Umuman olganda, anatomiya ta'limining zamonaviy modeli an'anaviy va raqamli usullarning qarama-qarshiligiga emas, ularning pedagogik jihatdan asoslangan integratsiyasiga tayanadi. Raqamli texnologiyalar anatomik bilimni ko'rgazmali, interaktiv va moslashuvchan shaklda taqdim etishga yordam beradi, an'anaviy amaliy komponent esa real anatomik tuzilmalar bilan ishlash tajribasini saqlab qoladi.

XULOSA

Xulosa qilib aytganda, raqamli texnologiyalar anatomiya fanini o'qitishning mazmuni va metodlarini takomillashtirish uchun katta imkoniyatlarga ega. 3D modellar, raqamli atlaslar, virtual diseksiya, virtual va kengaytirilgan reallik, mobil ilovalar hamda interaktiv baholash vositalari anatomik tuzilmalarning fazoviy tasavvurini rivojlantirish, mustaqil ta'limni qo'llab-quvvatlash va amaliy mashg'ulotlarni boyitishga xizmat qilishi mumkin.

Shu bilan birga, raqamli vositalar an'anaviy anatomiya ta'limini to'liq almashtirish emas, balki uni pedagogik jihatdan to'ldirish vositasi sifatida qo'llanishi maqsadga muvofiq. Ilmiy adabiyotlar multimodal yondashuvning, ya'ni an'anaviy kadavr va proseksiyalarni raqamli texnologiyalar bilan uyg'unlashtirishning muhimligini ko'rsatmoqda.

AKT va anatomiya yo'nalishlari mutaxassislarining hamkorligi raqamli anatomik resurslarni ishlab chiqishda alohida ahamiyatga ega. Anatomik mazmunning ilmiy aniqligi va klinik ahamiyati anatomiya mutaxassisi tomonidan, texnik funksionallik, axborot xavfsizligi va interaktiv raqamli muhit esa AKT mutaxassisi tomonidan ta'minlanishi mumkin. Natijada talabaning anatomik bilimlarini shakllantirishga yo'naltirilgan yaxlit raqamli ta'lim muhiti yuzaga keladi.

Kelgusidagi tadqiqotlarda raqamli anatomiya vositalarining turli ta'lim bosqichlaridagi samaradorligini empirik baholash, talabalar o'zlashtirishi va fazoviy tafakkuridagi o'zgarishlarni aniqlash, shuningdek, virtual va kengaytirilgan reallikdan foydalanishning pedagogik samaradorligini o'rganish maqsadga muvofiq.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Quek F.F. Revolutionising Anatomy Education: The Current Role of Digital Technologies in Enhancing Anatomy Learning for Undergraduate Medical Students // *Cureus*. – 2024. – Vol. 16, No. 12. – e75919. DOI: 10.7759/cureus.75919.

[2] Mbagwu S.I., Edem E.E., Adegbilero-Iwari O.E. et al. Medical school students' perspectives on virtual anatomy education in a developing country // *Anatomical Sciences Education*. – 2024. – Vol. 17, No. 6. – P. 1345–1357. DOI: 10.1002/ase.2486.

[3] Liao M.-L., Yeh C.-C., Lue J.-H., Chang M.-F. Implementing virtual reality technology to teach medical college systemic anatomy: A pilot study // *Anatomical Sciences Education*. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – P. 796–805. DOI: 10.1002/ase.2407.

[4] Salimi S., Asgari Z., Mohammadnejad A. et al. Efficacy of virtual reality and augmented reality in anatomy education: A systematic review and meta-analysis // *Anatomical Sciences Education*. – 2024. – Vol. 17, No. 9. – P. 1668–1685. DOI: 10.1002/ase.2501.

[5] Fazilova L.A. Yoshlarni ta'lim-tarbiyasiga bag'ishlangan podkast va videokontentlar yaratish hamda ularni ommalashtirish // "Raqamli ta'lim muhitida milliy tarbiya kontentlarini yaratish va tatbiq etish: muammolar va yechimlar" Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari. – 2025. – B. 246–249.

[6] Fazilova L.A. Ota-onalarning pedagogik mahoratini oshirishda raqamli texnologiyalardan foydalanish imkoniyatlari // “Ota-onalarning farzand tarbiyasiga oid metodik bilimlarini rivojlantirish mexanizmlari: muammo va yechimlar” Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari. – 2025. – B. 124–127.

[7] Fazilova L.A. Электронное обучение как возможность для повышения качества образования // Pedagogika ilmiy-nazariy va metodik jurnali. – 2025. – № 3. – B. 321–323.

[8] Sharipova Sh.S., Fazilova L.G. Digital Childhood and Emotional Development in Children: Contemporary Psycho-Pedagogical Challenges // Global Insights in Biomedical & Multidisciplinary Research (GIBMR). – 2026. – 1-jild, 4-son. – B. 27–34.

RAQAMLI TEXNOLOGIYALARNING BOLALAR PSIXOLOGIK FAROVONLIGIGA TA’SIRI

Fazilova Lutfinisa¹, Fazilova Laziza²

¹Toshkent davlat tibbiyot universiteti katta o’qituvchisi, Toshkent shahri

²A.I.Gersen nomidagi Rossiya davlat pedagogika universitetining Toshkent shahridagi filiali,
“Bolalar psixologiyasi” yo’nalishi 4-kurs talabasi, Toshkent shahri

Annotatsiya. Mazkur maqolada raqamli texnologiyalarning bolalar psixologik farovonligi va emotsional rivojlanishiga ta’siri axborot-kommunikatsiya texnologiyalari hamda bolalar psixologiyasi nuqtayi nazaridan kompleks tahlil qilinadi. Raqamli muhitning ta’limiy va kommunikativ imkoniyatlari bilan bir qatorda, ortiqcha va nazoratsiz foydalanish, kiberbulling, zararli kontent, ijtimoiy izolyatsiya va uyqu rejimining buzilishi kabi ehtimoliy xavflari ko’rib chiqiladi. Bolalar uchun raqamli muhitni xavfsiz, yoshga mos, maqsadli va psixologik jihatdan qo’llab-quvvatlovchi tarzda tashkil etishning ahamiyati asoslanadi. AKT va bolalar psixologiyasi mutaxassislarining hamkorligi raqamli ta’lim resurslarini ishlab chiqish va bolalarning psixologik farovonligini ta’minlashning muhim sharti sifatida yoritiladi.

Kalit so’zlar: raqamli texnologiyalar, AKT, bolalar psixologiyasi, raqamli bolalik, psixologik farovonlik, emotsional rivojlanish, raqamli savodxonlik, kiberbulling, sun’iy intellekt.

Аннотация. В статье комплексно рассматривается влияние цифровых технологий на психологическое благополучие и эмоциональное развитие детей с позиций информационно-коммуникационных технологий и детской психологии. Наряду с образовательными и коммуникативными возможностями цифровой среды рассматриваются потенциальные риски чрезмерного и неконтролируемого использования цифровых устройств, кибербуллинга, вредного контента, социальной изоляции и нарушения режима сна. Обосновывается необходимость создания безопасной, возрастосообразной, целенаправленной и психологически поддерживающей цифровой среды для детей. Подчеркивается значение взаимодействия специалистов в области ИКТ и детской психологии при разработке цифровых образовательных ресурсов и обеспечении психологического благополучия детей.

Ключевые слова: цифровые технологии, ИКТ, детская психология, цифровое детство, психологическое благополучие, эмоциональное развитие, цифровая грамотность, кибербуллинг, искусственный интеллект.

Abstract. *This article provides a comprehensive analysis of the impact of digital technologies on children's psychological well-being and emotional development from the perspectives of information and communication technologies and child psychology. Alongside the educational and communicative opportunities of the digital environment, the article examines potential risks associated with excessive and uncontrolled use of digital devices, cyberbullying, harmful content, social isolation, and sleep disturbances. The study emphasizes the importance of creating a safe, age-appropriate, purposeful, and psychologically supportive digital environment for children. The cooperation of ICT and child psychology specialists is highlighted as an important condition for developing digital educational resources and supporting children's psychological well-being.*

Keywords: *digital technologies, ICT, child psychology, digital childhood, psychological well-being, emotional development, digital literacy, cyberbullying, artificial intelligence.*

KIRISH

Raqamli texnologiyalarning jadal rivojlanishi bolalarning o'qishi, muloqoti, bo'sh vaqtini tashkil etishi va axborot bilan ishlash usullarini tubdan o'zgartirmoqda. Smartfon, planshet, kompyuter, onlayn ta'lim platformalari, ijtimoiy tarmoqlar, videokontent va sun'iy intellektga asoslangan xizmatlar bolalikning kundalik muhitiga kirib kelgan. UNESCO raqamli va sun'iy intellekt kompetensiyalarini zamonaviy ta'limning muhim tarkibiy qismi sifatida ko'rsatadi, biroq texnologiyalarni ta'limga joriy etishda inklyuzivlik, xavfsizlik, axloq va teng imkoniyatlar masalalarini ham hisobga olish zarurligini ta'kidlaydi.

Raqamli muhitning bolalar psixologiyasiga ta'siri bir xil emas. Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti raqamli muhit axborot olish, o'rganish va ijtimoiy aloqalarni qo'llab-quvvatlashi mumkinligini, shu bilan birga zararli kontent, haddan tashqari foydalanish, kiberbulling va ijtimoiy izolyatsiya kabi xavflarni ham kuchaytirishi mumkinligini qayd etadi. 2025-yilgi WHO/Europe tahlilida texnologiyadan foydalanish va yoshlarning ruhiy farovonligi o'rtasidagi bog'liqlik murakkab va ikki tomonlama ekani ko'rsatilgan.

Shu sababli raqamli texnologiyalarni bolalar hayotidan butunlay chiqarib tashlash emas, balki ulardan foydalanishning mazmuni, maqsadi, davomiyligi, xavfsizligi va bolaning individual xususiyatlarini hisobga olgan holda boshqarish muhimdir. Mazkur masala AKT va bolalar psixologiyasi kesishmasida o'rganilganda yanada to'liq yoritiladi.

TADQIQOT METODLARI

Tadqiqotning maqsadi – bolalar psixologik farovonligini ta'minlashda raqamli texnologiyalarning imkoniyatlari va ehtimoliy xavflarini aniqlash hamda AKT va psixologik yondashuvlarni integratsiyalashgan holda amaliy tavsiyalar ishlab chiqish. Tadqiqotda ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish, taqqoslash, umumlashtirish va kontent-tahlil usullaridan foydalanildi. Asosiy manbalar UNESCO va WHOning raqamli ta'lim, bolalar salomatligi, ruhiy farovonlik, onlayn xavfsizlik va sun'iy intellektga oid materiallaridan tashkil topdi.

NATIJALAR

Tahlil natijalari raqamli texnologiyalarning bolalar rivojlanishiga ta'sirini uch asosiy yo'nalishda ko'rish mumkinligini ko'rsatdi: ta'limiy imkoniyatlar, ijtimoiy-kommunikativ imkoniyatlar va psixologik xavflar. Birinchi yo'nalishda raqamli vositalar bilimga tezkor kirish, multimedia materiallari, interaktiv topshiriqlar, individual ta'lim trayektoriyasi va ijodiy faoliyat uchun yangi imkoniyatlar yaratadi. UNESCO raqamli ta'limni rivojlantirishda texnologiyalarni

ta'lim maqsadlari bilan uyg'unlashtirish va raqamli kompetensiyalarni shakllantirishga alohida e'tibor beradi.

Ikkinchi yo'nalishda raqamli vositalar masofadan muloqot qilish, guruhli loyihalarda qatnashish va turli ta'limiy hamjamiyatlarga qo'shilish imkonini beradi. Biroq virtual muloqot real ijtimoiy munosabatlarning to'liq o'rnini bosmaydi. Bolaning emotsional rivojlanishi uchun yuzma-yuz muloqot, hamkorlik, o'yin, jismoniy faollik va kattalar bilan ishonchli munosabatlar muhim bo'lib qoladi.

Uchinchi yo'nalish – psixologik xavflar. WHO raqamli muhitda kiberbulling, zararli kontent, haddan tashqari foydalanish va izolyatsiya kabi omillar bolalar va yoshlarning ruhiy salomatligiga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkinligini qayd etadi. WHO/Europe 2025-yilgi siyosiy sharhida esa texnologiya ta'siri individual va muhitga bog'liq ekani, ayniqsa zaif guruhlardagi bolalar salbiy ta'sirlarga ko'proq duch kelishi mumkinligi ko'rsatilgan.

AKT nuqtayi nazaridan muhim natija shundan iboratki, raqamli muhitni yaratish jarayonida texnik funktsionallikning o'zi yetarli emas. Platforma va ilovalar bolalarning yoshi, maxfiyligi, xavfsizligi va psixologik ehtiyojlarini hisobga olgan holda loyihalanishi kerak. Ma'lumotlarni himoyalash, yoshga mos interfeys, xavfsiz aloqa mexanizmlari, nomaqbul kontentni aniqlash va foydalanuvchiga nazorat imkonini berish bolalar uchun mo'ljallangan raqamli tizimlarning muhim xususiyatlari hisoblanadi.

Bolalar psixologiyasi nuqtayi nazaridan esa raqamli faoliyatning miqdoridan tashqari uning mazmuni va bola faoliyatining sifatini baholash muhim. Bir xil vaqt davomida ta'limiy o'yin, ijodiy loyiha va zararli kontentni iste'mol qilish bolaning rivojlanishiga bir xil ta'sir ko'rsatmaydi. Shu bois “qancha vaqt?” savoli bilan birga “nima uchun?”, “nima bilan shug'ullanmoqda?” va “undan keyin bolaning emotsional holati qanday?” savollariga ham e'tibor qaratish zarur.

MUHOKAMA

Raqamli texnologiyalar va bolalar psixologiyasining integratsiyasi “texnologiya – bola – muhit” uchligi asosida ko'rib chiqilishi maqsadga muvofiq. Texnologiya bolaning rivojlanishiga bevosita emas, balki u foydalanadigan kontent, muloqot shakli, ota-ona va pedagogning munosabati hamda bolaning individual xususiyatlari orqali ta'sir ko'rsatadi. Demak, raqamli muhitni baholashda faqat qurilma yoki platformani emas, butun foydalanish kontekstini hisobga olish lozim.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

AKT va bolalar psixologiyasi yo'nalishlari vakillarining hamkorligi bolalar uchun raqamli mahsulotlarni yaratish va joriy etishda alohida ahamiyatga ega. AKT mutaxassisi texnik yechim, interfeys, axborot xavfsizligi va raqamli resursning funksional imkoniyatlarini ta'minlasi, psixolog bolaning yosh xususiyatlari, emotsional ehtiyojlari, motivatsiyasi, idrok etish imkoniyatlari va ijtimoiy xulqini hisobga olishga yordam beradi. Shu ikki yondashuv birlashtirilgandagina raqamli mahsulotning texnik va psixologik samaradorligi uyg'unlashadi.

Bolalar uchun mo'ljallangan raqamli ta'lim platformalarida emotsional xavfsizlikni ta'minlash uchun bir necha mexanizmlarni joriy etish mumkin. Birinchidan, bolaning yoshiga mos kontent va interfeys. Ikkinchidan, shaxsiy ma'lumotlarni minimal yig'ish va himoyalash. Uchinchidan, nomaqbul xabar va kontentlarni bloklash yoki xabar berish imkoniyati. To'rtinchidan, ota-ona va pedagog uchun bolaning raqamli faoliyatini tushunishga yordam beruvchi xavfsiz monitoring vositalari. Beshinchidan, bolaning o'z his-tuyg'ularini ifodalashi va yordam so'rashi uchun sodda kommunikativ funksiyalar.

Emotsional rivojlanishni qo'llab-quvvatlashda raqamli vositalardan ijobiy foydalanishning yana bir imkoniyati – ijtimoiy-emotsional ta'lim elementlarini platformalarga integratsiyalashdir.

Masalan, videovaziyatlar, interaktiv hikoyalar va virtual personajlar orqali bola hissiyotlarni aniqlash, vaziyatga mos javobni tanlash, empatiya ko'rsatish va nizoni tinch yo'l bilan hal etish variantlarini mashq qilishi mumkin. Bunday topshiriqlar real hayotdagi muloqot va pedagogik-psixologik muhokama bilan bog'langanda yanada samarali bo'ladi.

Sun'iy intellektning ta'limga kirib kelishi mazkur masalani yanada dolzarb qilmoqda. UNESCO sun'iy intellektidan ta'limda foydalanishda inson markazli va huquqlarga asoslangan yondashuvni, shuningdek, maxfiylik, xavfsizlik, tenglik va etik masalalarni hisobga olishni tavsiya etadi. Bolalar bilan ishlashda AI vositalaridan foydalanish ayniqsa ehtiyotkorlikni talab qiladi, chunki bolaning shaxsiy ma'lumotlari, emotsional holati va xulq-atvori haqidagi ma'lumotlar sezgir xarakterga ega bo'lishi mumkin.

Shu bilan birga, AI texnologiyalari bolalarning ta'limiy ehtiyojlarini individuallashtirish, materiallarni moslashtirish va pedagogning ishini yengillashtirish uchun imkoniyat yaratadi. Ammo AI bolaning psixologik holatini mustaqil ravishda tashxislovchi yoki psixolog o'rnini bosuvchi vosita sifatida qaralmasligi kerak. WHO raqamli muhitning foyda va xavflarini birgalikda baholash hamda bolalar uchun xavfsiz, sog'lom va qo'llab-quvvatlovchi raqamli tajribalarni yaratish zarurligini ta'kidlaydi.

Raqamli texnologiyalar bilan ishlashda ota-onaning raqamli kompetensiyasi ham muhim omildir. Ota-ona bola bilan birga raqamli faoliyatni muhokama qilishi, nomaqbul kontent va onlayn xavflarni tushuntirishi, kiberbulling holatlarida bolaning murojaatini jiddiy qabul qilishi va real hayotdagi faoliyatlar bilan raqamli faoliyat o'rtasida muvozanatni ta'minlashi lozim. WHO/Europe tavsiyalarida ota-onalar va pedagoglarning raqamli savodxonligini oshirish sog'lom raqamli odatlarni shakllantirishning muhim yo'nalishi sifatida ko'rsatiladi.

PRACTICAL RECOMMENDATIONS

Tadqiqot natijalariga asosanib, bolalar uchun raqamli ta'lim va rivojlantiruvchi muhitni tashkil etishda quyidagi amaliy yo'nalishlar taklif etiladi. Birinchi yo'nalish – “psixologik xavfsiz dizayn”. Raqamli platformalar bolaning yosh xususiyatlariga mos, sodda va tushunarli interfeysga ega bo'lishi, chalg'ituvchi va haddan tashqari rag'batlantiruvchi elementlar me'yorlashtirilishi lozim. Ikkinchi yo'nalish – “raqamli muvozanat”. Onlayn faoliyat uyqu, jismoniy harakat, o'yin, o'qish va jonli muloqot hisobiga tashkil etilmasligi kerak.

Uchinchi yo'nalish – “emotsional refleksiya”. Raqamli ta'lim vositalarida bolaga o'z holatini ifodalash, qiyin vaziyatni izohlash, yordam so'rash va o'z faoliyatini baholash imkonini beruvchi elementlardan foydalanish mumkin. To'rtinchi yo'nalish – “raqamli savodxonlik”. Bola internetdagi axborotning ishonchliligini baholash, shaxsiy ma'lumotlarni himoya qilish, nomaqbul kontentdan chiqish, kiberbulling holatida yordam so'rash kabi ko'nikmalarga ega bo'lishi kerak.

Beshinchi yo'nalish – “mutaxassislar hamkorligi”. AKT mutaxassisi, bolalar psixologi, pedagog va ota-ona birgalikda raqamli muhitning bola rivojlanishiga ta'sirini kuzatishi va zarur hollarda yondashuvni o'zgartirishi maqsadga muvofiq. Ayniqsa, bolalarda uzoq davom etuvchi kayfiyat o'zgarishi, ijtimoiy aloqalardan chekinish, uyqu buzilishi yoki raqamli faoliyat ustidan nazoratni yo'qotish kabi belgilar kuzatilganda mutaxassisga murojaat qilish muhim.

Oltinchi yo'nalish – “AI va raqamli etika”. Bolalar bilan ishlatiladigan sun'iy intellekt vositalarida ma'lumotlar maxfiyligi, algoritmik xolislik, tushunarli javoblar, inson nazorati va yoshga moslik tamoyillari ta'minlanishi kerak. UNESCOning 2025-yilgi materiallari AI va raqamlashtirish ta'lim imkoniyatlarini kengaytirishi bilan birga, tengsizlik, maxfiylik, xavfsizlik va etik boshqaruv bilan bog'liq yangi masalalarni ham keltirib chiqarishini qayd etadi.

Taklif etilayotgan integrativ modelni quyidagi ketma-ketlikda ifodalash mumkin: “AKT imkoniyati, psixologik baholash, xavfsiz dizayn, yoshga mos kontent, emotsional qo'llab-quvvatlash, ota-ona va pedagog hamkorligi, monitoring va takomillashtirish”. Ushbu ketma-ketlik

raqamli texnologiyani faqat texnik vosita sifatida emas, balki bolaning rivojlanishini qo'llab-quvvatlovchi muhit sifatida ko'rishga imkon beradi.

CONCLUSION

Xulosa qilib aytganda, raqamli texnologiyalar bolalar hayotining ajralmas qismiga aylanayotgan sharoitda AKT va bolalar psixologiyasi yondashuvlarini integratsiyalash zarur. Raqamli muhit ta'lim, muloqot, ijodkorlik va individual o'rganish uchun katta imkoniyatlar yaratadi, biroq kiberbulling, zararli kontent, haddan tashqari foydalanish, izolyatsiya, maxfiylik va xavfsizlik bilan bog'liq xavflarni ham yuzaga keltirishi mumkin.

Shu sababli samarali raqamli muhit texnik jihatdan qulay bo'lishi bilan birga, psixologik xavfsiz, yoshga mos, etik va inson markazli bo'lishi kerak. AKT mutaxassisi va bolalar psixologi hamkorligi bunday muhitni loyihalash, baholash va takomillashtirishning muhim shartidir. Kelgusida turli yosh guruhlarida raqamli faoliyatning turi, davomiyligi va mazmuni bilan emotsional farovonlik ko'rsatkichlari o'rtasidagi bog'liqlikni empirik tadqiqotlar asosida o'rganish muhim ilmiy yo'nalish sifatida qaraladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] UNESCO. Digital learning and transformation of education: Preparing Learners for a Changing World. – Paris: UNESCO, 2025.

[2] World Health Organization. Digital environments and mental health. – Geneva: WHO, 2026.

[3] World Health Organization Regional Office for Europe. Addressing the digital determinants of youth mental health and well-being: policy brief. – Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2025.

[4] UNESCO. Global Media and Information Literacy Week 2025: Navigating AI. Concept Note.

[5] Fazilova L.A. Yoshlarni ta'lim-tarbiyasiga bag'ishlangan podkast va videokontentlar yaratish hamda ularni ommalashtirish // "Raqamli ta'lim muhitida milliy tarbiya kontentlarini yaratish va tatbiq etish: muammolar va yechimlar" Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari. – 2025. – B. 246–249.

[6] Fazilova L.A. Ota-onalarning pedagogik mahoratini oshirishda raqamli texnologiyalardan foydalanish imkoniyatlari // "Ota-onalarning farzand tarbiyasiga oid metodik bilimlarini rivojlantirish mexanizmlari: muammo va yechimlar" Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari. – 2025. – B. 124–127.

[7] Fazilova L.A. Электронное обучение как возможность для повышения качества образования // Pedagogika ilmiy-nazariy va metodik jurnali. – 2025. – № 3. – B. 321–323.

[8] Sharipova Sh.S., Fazilova L.G. Digital Childhood and Emotional Development in Children: Contemporary Psycho-Pedagogical Challenges // Global Insights in Biomedical & Multidisciplinary Research (GIBMR). – 2026. – 1-jild, 4-son. – B. 27–34.

BRIDGING ACADEMIA AND INDUSTRY IN THE DIGITAL ERA: TECHNOLOGY, SKILLS AND BUSINESS TRANSFORMATION

Gultekin Huseynova

Gulfstream Distribution LLC, Baku, Azerbaijan; Gultekin.Huseynova@gulfstream.az

Abstract. *Digital technologies are advancing faster than many organizations can integrate them into daily work. This article examines the gap between technological capability and effective implementation through a practice-informed discussion of business needs, workforce skills and university–industry cooperation. It argues that universities and companies can jointly improve technology adoption by connecting interdisciplinary education with real projects, professional learning and responsible use of artificial intelligence. The proposed measures are particularly relevant to emerging digital ecosystems in Azerbaijan and Uzbekistan.*

Keywords: *digital transformation; university–industry cooperation; digital skills; artificial intelligence; lifelong learning.*

Аннотация. *Цифровые технологии развиваются быстрее, чем многие организации успевают внедрять их в повседневную работу. В статье рассматривается разрыв между технологическими возможностями и их эффективным применением с точки зрения потребностей бизнеса, компетенций работников и сотрудничества университетов с промышленностью. Обосновывается, что совместные практические проекты, междисциплинарное обучение, повышение квалификации и ответственное использование искусственного интеллекта помогают преодолеть этот разрыв. Предложенные меры актуальны для развивающихся цифровых экосистем Азербайджана и Узбекистана.*

Ключевые слова: *цифровая трансформация; сотрудничество университетов и бизнеса; цифровые навыки; искусственный интеллект; непрерывное обучение.*

Annotatsiya. *Raqamli texnologiyalar ko‘plab tashkilotlar ularni kundalik faoliyatga joriy eta olishidan tezroq rivojlanmoqda. Ushbu maqolada texnologik imkoniyatlar va ulardan samarali foydalanish o‘rtasidagi tafovut biznes ehtiyojlari, xodimlar ko‘nikmalari hamda universitet va sanoat hamkorligi nuqtayi nazaridan ko‘rib chiqiladi. Fanlararo ta‘lim, amaliy loyihalar, kasbiy rivojlanish va sun‘iy intellektdan mas‘uliyatli foydalanish bu tafovutni kamaytirishi mumkinligi asoslanadi. Tavsiyalar Ozarbayjon va O‘zbekistonning rivojlanayotgan raqamli ekotizimlari uchun ham dolzarbdir.*

Kalit so‘zlar: *raqamli transformatsiya; universitet va sanoat hamkorligi; raqamli ko‘nikmalar; sun‘iy intellekt; uzluksiz ta‘lim.*

INTRODUCTION

Artificial intelligence, automation, cloud services and data analytics are changing how organizations operate. Yet access to these tools does not guarantee that people can use them well. OECD analysis distinguishes the adoption of digital tools from deeper changes in the practices and institutions around them [1]. This distinction also matters beyond education. Organizations need to connect technology with processes, skills and measurable goals.

This article offers a practice-informed perspective from technology distribution and business development. It examines three linked questions: what prevents a technology purchase from becoming useful organizational change, what skills are needed to close that gap, and how universities and industry can work together. It is a conceptual discussion rather than a report of original survey or experimental findings.

Technology and implementation

Digital transformation is often described as the purchase of new software, equipment or infrastructure. In practice, implementation also depends on management support, employees’ ability to use the system, integration with existing processes, information security and a credible economic

case. A technically advanced solution may therefore underperform if an organization has not defined the problem it is meant to solve.

In business development, the conversation typically moves beyond product specifications. Customers ask how a solution will change workflows, what training it requires, how it fits existing infrastructure and whether the expected benefits justify its cost. A useful evaluation should establish a baseline, define the intended operational outcome and review actual use after deployment. For document workflows, for example, suitable measures could include processing time, error rates, user adoption and the cost of maintaining the process. These are proposed evaluation measures, not results from a particular customer project.

This distinction is especially clear when an institution wants to automate a paper-based process. A proposal may include devices, document management software and access controls, but those components alone cannot determine where documents originate, who approves them, how exceptions are handled or how long records must be retained. Staff and managers must map the workflow before selecting a system. They also need training and a practical transition plan so that the new process can be used consistently. The technology becomes valuable when the whole process improves, not simply when equipment is installed.

Implementation is therefore a sequence of decisions rather than a single transaction. It starts with understanding the organization's need, continues through technical and financial evaluation, and extends into training, adoption and review. A university project that follows this sequence gives students a more realistic understanding of technological change than a task limited to comparing product features.

The changing skills requirement

As technological systems become more interconnected, organizations need people who can work across professional boundaries. Engineers benefit from an understanding of budgets and organizational constraints. Business managers need enough technical literacy to assess feasible solutions and ask meaningful questions. Technical experts need to explain risks and choices to colleagues who do not share their specialization. OECD research on digital transitions highlights the importance of adapting skills and training systems as work changes [2].

A business development role in technology illustrates this combination. The work may involve discussing technical requirements with engineers, pricing with finance teams, implementation plans with partners and expected outcomes with decision-makers. The capacity to translate between these perspectives is part of the value that a professional brings to a technology project.

Traditional degree programmes can make this preparation difficult when technical, economic and social questions are taught in isolation. A student may understand a system's architecture but have little experience estimating its operating cost or explaining its implications to a non-specialist. Another may understand a business model but lack the digital literacy needed to evaluate a supplier's claims. Interdisciplinary assignments can bring these perspectives together without weakening the depth of each discipline.

Communication is a particularly important part of this work. A technically sound idea can fail if its purpose, limitations and responsibilities are unclear to the people expected to approve or use it. Students should practice explaining a proposal in different forms: a technical account for specialists, a concise business case for management and practical instructions for users. Such exercises also reveal where a proposed solution has not yet been thought through.

University and industry cooperation

Universities contribute research methods, critical inquiry and the development of talent. Companies contribute current implementation experience, practical constraints and knowledge of changing customer needs. Cooperation works best when information travels in both directions: an

industry case informs teaching and research, while independent academic analysis challenges assumptions made in business.

Students can learn from projects based on authentic but appropriately anonymized problems. A multidisciplinary team might examine how an institution could improve document processing: map the current workflow, compare feasible options, assess security and accessibility, estimate costs and present a recommendation. A company could provide mentors and a realistic brief; faculty could ensure that students test assumptions and explain their method. Internships, guest lectures, joint laboratories and professional certificates can support the same goal, provided they have clear learning outcomes.

The partnership should remain a two-way exchange. Businesses can bring current questions into a classroom, but universities should be free to examine those questions independently and propose answers that differ from a company's initial view. Faculty and students may identify overlooked needs, test alternatives or reveal barriers to adoption. In turn, access to industry practice can help educators update courses and frame applied research questions. This is more valuable than a relationship built only around occasional recruitment or promotional presentations.

Several formats can support a sustained partnership. A guest lecture may introduce a problem, a semester project may develop and compare solutions, and an internship may allow a student to observe implementation. A joint laboratory can test selected ideas under supervised conditions, while a professional course can bring employees back into education later in their careers. These formats need agreed responsibilities, appropriate supervision and a way to evaluate what participants actually learned.

For Azerbaijan and Uzbekistan, partnerships between local universities, employers and international technology providers could help adapt global tools to local languages, infrastructure and organizational needs. This is a practical opportunity, not a claim that either country has already achieved a particular outcome. Pilot projects with defined evaluation criteria would provide stronger evidence of what works in each setting.

Artificial intelligence and lifelong learning

AI can assist with information retrieval, drafting and routine analysis, but its output still requires human evaluation, especially where privacy, reliability and accountability matter. UNESCO's AI competency framework emphasizes human-centred thinking, ethics, technical understanding and system design [3]. Education should therefore help learners question an AI result, recognize its limits and decide when human review is necessary.

The question for education is not only whether students can operate an AI tool. They should also know how to define a useful problem, check the quality of information, recognize uncertainty and understand the consequences of an automated decision. In a business setting, an inaccurate summary or recommendation can affect budgets, customers and operational choices. Responsible use requires a person who can verify a result and remain accountable for the final decision.

Learning also continues after graduation. Tools, roles and organizational needs may change several times during a career. Short courses, work-based projects and joint university–industry programmes can allow professionals to renew their skills while giving educators feedback about emerging practice. This continuing exchange makes education more responsive without reducing it to training for a single product or job.

A useful lifelong-learning model is cyclical. Professional experience exposes a new question; structured learning provides methods and tools; application at work tests their relevance; reflection identifies the next skills to develop. Universities can serve graduates throughout that cycle through flexible modules and executive education. Companies can support participation by setting aside time for learning and by recognizing demonstrated competence, rather than treating a certificate as the only evidence of progress.

Recommendations

First, universities and industry partners should co-design practical cases with specific learning outcomes and appropriate safeguards for confidential information. Second, programmes should combine technical understanding with economics, communication, project management and responsible data use. Third, partners should assess pilots against agreed measures such as adoption, process time, quality and cost. Finally, universities and employers should offer short opportunities for continuing education and use feedback from participants to improve them.

These steps can begin on a modest scale. A university and one employer could select a clearly bounded operational challenge, invite a mixed student team to investigate it, and agree in advance on what evidence would count as improvement. Faculty would assess the quality of the reasoning, while the employer would assess feasibility in the actual setting. Publishing a short account of the method and lessons, without confidential details, would allow other institutions to adapt the approach and avoid repeating the same mistakes.

CONCLUSION

Technological progress creates value when organizations can implement tools responsibly and people have the skills to use them. Stronger cooperation between universities and industry can help connect research, education and operational problems. The most useful next step is to test this cooperation through small, measurable projects and share the lessons they produce.

REFERENCES:

- [1] OECD. OECD Digital Education Outlook 2023: Towards an Effective Digital Education Ecosystem. OECD Publishing, Paris, 2023. <https://doi.org/10.1787/c74f03de-en>
- [2] OECD. OECD Skills Outlook 2023: Skills for a Resilient Green and Digital Transition. OECD Publishing, Paris, 2023. <https://doi.org/10.1787/27452f29-en>
- [3] UNESCO. AI Competency Framework for Students. UNESCO, Paris, 2024. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000391105>

EXPORT COMPETITIVENESS AND FOREIGN TRADE POLICY ALIGNMENT IN THE CONTEXT OF UZBEKISTAN'S WTO ACCESSION: A MULTIDIMENSIONAL EMPIRICAL ANALYSIS

Khujanazarov Fakhridin Khusniddin ugli

Uzbekistan State World Languages University, Faculty of International Economics and Foreign
Economic Relations

Abstract. *As the Republic of Uzbekistan advances toward full membership in the World Trade Organization (WTO), this study presents an integrated academic evaluation of foreign trade policy harmonization and national export competitiveness. Synthesizing microeconomic production cost modeling with WTO legal disciplines, the paper investigates the precise transmission mechanisms through which tariff rationalization, non-tariff barrier elimination, and subsidy reclassification impact domestic industries. Specifically, the study models the Effective Rate of Protection (ERP) and enterprise marginal cost functions under bound tariff commitments, analyzes the legal imperatives of replacing prohibited "Red Box" export rebates with WTO-compliant "Green Box" supportive investments under the Agreement on Subsidies and Countervailing Measures (ASCM), and evaluates sectoral vulnerability across textiles, horticulture, automotive assembly, and chemical manufacturing. Strategic transition pathways are formulated for upgrading national quality infrastructure (TBT/SPS Agreements), optimizing transit logistics under the Trade*

Facilitation Agreement (TFA) for a doubly landlocked nation, and establishing trade defense mechanisms via the WTO Dispute Settlement Body (DSB).

Keywords: *World Trade Organization (WTO), export competitiveness, foreign trade policy, Effective Rate of Protection (ERP), ASCM, Green Box subsidies, Technical Barriers to Trade (TBT), Sanitary and Phytosanitary (SPS), Trade Facilitation Agreement (TFA), Global Value Chains (GVC), Uzbekistan economy.*

INTRODUCTION

In contemporary global economics, integration into the multilateral trading system represents a pivotal milestone for transition economies seeking sustainable, export-led growth. For the Republic of Uzbekistan, joining the World Trade Organization (WTO) is not merely a diplomatic objective, but a cornerstone of national economic reform aimed at structural modernization, market liberalization, and institutional transparency. Entering the final phase of bilateral market-access negotiations and legislative harmonization, domestic policymakers face the task of aligning over 190 legal acts with multilateral trading rules while safeguarding the competitiveness of key industrial and agricultural sectors.

Central to WTO accession is the legal obligation to align national regulatory frameworks with multilateral agreements. While membership guarantees non-discriminatory treatment under the Most-Favored-Nation (MFN) principle and National Treatment (NT) obligations across more than 160 sovereign markets, it simultaneously exposes domestic industries to heightened import competition. Transitioning away from state-directed protectionism obligates policymakers to re-evaluate traditional trade policies, particularly tariff boundaries, direct subsidization, and non-tariff measures.

For Uzbek exporters, navigating this transition requires a deep understanding of core WTO instruments. The imperative to move from low-value, raw material exports (such as unprocessed agricultural goods and natural resources) toward high-value-added manufactured goods requires integrating local enterprises into Global Value Chains (GVCs). While macro-level discussions emphasize MFN market access, microeconomic reality dictates that accession imposes immediate structural adjustments on local firm-level cost structures. Eliminating protective tariff walls and dismantling prohibited direct subsidies forces domestic enterprises to compete directly with foreign producers both in home markets and abroad. This research integrates theoretical principles, empirical cost equations, and sectoral impact assessments to establish a comprehensive strategy for trade policy harmonization.

Research Objectives:

To evaluate the structural shifts in Uzbekistan's tariff regimes, calculate the Effective Rate of Protection (ERP), and assess their empirical impact on manufacturing input costs;

To analyze the legal constraints imposed by the WTO Agreement on Subsidies and Countervailing Measures (ASCM) on national support programs and map out transition pathways toward "Green Box" measures;

To examine non-tariff barriers—specifically Technical Barriers to Trade (TBT) and Sanitary and Phytosanitary (SPS) measures—and identify bottlenecks in national quality infrastructure;

To formulate evidence-based policy strategies for enhancing cross-border transit logistics under the WTO Trade Facilitation Agreement (TFA) and establishing national trade defense frameworks.

Theoretical Framework and Conceptual Analysis

To rigorously analyze the macroeconomic and microeconomic dynamics of WTO accession, several core concepts and regulatory mechanisms must be defined:

Fundamental Principles of the Multilateral Trading System

Most-Favored-Nation (MFN) Treatment (GATT Article I): Prohibits discrimination between trading partners. Any concession or privilege granted by a WTO member to one nation must immediately and unconditionally be extended to all other WTO members.

National Treatment (NT) Principle (GATT Article III): Mandates that imported goods, once they have cleared customs, must receive treatment no less favorable than that accorded to like domestic products in terms of internal taxation and regulation.

Subsidies Classification under the WTO Agreement on Subsidies and Countervailing Measures (ASCM)

The ASCM classifies financial support provided by governments into distinct regulatory categories ("boxes"):

Red Box (Prohibited Subsidies): Subsidies contingent upon export performance or upon the use of domestic over imported goods. These must be immediately eliminated upon WTO accession.

Amber Box (Actionable Subsidies): Domestic support measures that distort trade and production. These are subject to reduction commitments and countervailing duties if they cause adverse effects to the interests of other WTO members. In agriculture, Amber Box support must remain within the agreed *De Minimis* threshold (typically 5%–10% of total production value).

Green Box (Non-Actionable Subsidies): Support mechanisms that cause minimal or no trade-distorting effects. These include government funded research and development (R&D), environmental protection programs, regional development assistance, infrastructure development, and occupational training.

Non-Tariff Barriers (NTBs) and Compliance Standards

Technical Barriers to Trade (TBT): Regulations governing technical specifications, standardizations, packaging, and conformity assessment procedures to ensure they do not create unnecessary obstacles to international trade.

Sanitary and Phytosanitary (SPS) Measures: Standards applied to protect human, animal, or plant life or health from risks arising from additives, contaminants, toxins, or disease-causing organisms.

Methodological Framework & Quantitative Equations

This study employs a multi-dimensional analytical approach combining qualitative policy review, comparative institutional analysis, and empirical trade data modeling:

Effective Rate of Protection (ERP) Model

Nominal tariff rates on final goods do not accurately reflect the true degree of state protection afforded to domestic value addition. The Effective Rate of Protection (ERP) accounts for tariffs on both finished output and intermediate imported inputs:

$$ERP = \frac{t_f - \sum_i a_i t_i}{1 - \sum_i a_i} \quad (1)$$

Where:

t_f = Nominal tariff rate on the final output good

a_i = Share of intermediate input 'i' in the total cost of the producing the final good

t_i = Nominal tariff rate applied to intermediate input 'i'

When input tariffs are lowered faster than final output tariffs, ERP increases for domestic processors, lowering overall production costs for export-oriented manufacturers.

Enterprise Marginal Cost Function under Tariff Reform

The production cost structure of an Uzbek exporter utilizing imported capital goods, technology, and raw materials is modeled as follows:

$$MC = (w * L) + (r * K) + \sum (P_i * (1 + t_i + c_{trans}) * M_i) - S_{direct}$$

Where:

MC = Marginal cost of production per unit

w, r = Factor prices for domestic labor (L) and capital (K)

P_i = International price of imported intermediate input 'i'

t_i = Bound import tariff rate on input 'i'

c_{trans} = Transboundary transit and logistics friction cost (percentage)

M_i = Volume of intermediate input 'i' required per unit of output

S_{direct} = Direct state monetary subsidy per unit (prohibited under ASCM Red Box)

Deep-Dive Sectoral & Regulatory Analysis

Reclassification of Support Under the ASCM

Uzbekistan's current export promotion framework heavily relies on direct transport rebates, export-contingent tax exemptions, and targeted soft loans. Under ASCM Article 3, these constitute "Red Box" (prohibited) subsidies and must be eliminated entirely upon accession. Furthermore, agricultural price-support mechanisms falling under the "Amber Box" must be capped within agreed thresholds.

To maintain state support without violating ASCM rules, Uzbekistan must transition budget allocations toward "Green Box" measures (ASCM Annex 2):

R&D and Technological Modernization: Direct funding for industrial innovation, energy efficiency upgrades, and digital trade integration;

Quality Infrastructure & Certification: Full state absorption of testing, auditing, and certification costs for ISO, CE, GlobalG.A.P., and Halal standards;

Agricultural Infrastructure: Investment in regional cold-chain logistics, drip irrigation, land *rehabilitation*, and *pest control programs*.

Technical Regulations & Quality Infrastructure (TBT / SPS Agreements)

Non-tariff barriers (NTBs) remain the single largest impediment to Uzbek exports entering high-value markets (EU, East Asia, North America). Key bottlenecks stem from non-recognition of domestic conformity certificates, reliance on legacy GOST standards, and a lack of international accreditation for domestic laboratories.

Full implementation of the WTO TBT and SPS Agreements requires aligning the Uzbek Agency for Technical Regulation with international standards bodies (ISO, IEC, Codex Alimentarius). Upgrading local testing facilities to ISO/IEC 17025 compliance eliminates double-testing requirements at foreign borders, reducing export clearance delays by 40% and preventing product rejections.

Mitigation of Landlocked Transit Penalties via the Trade Facilitation Agreement (TFA)

As a doubly landlocked nation, Uzbekistan incurs transboundary logistics costs up to 180% higher than coastal peers. Implementing the WTO Trade Facilitation Agreement (TFA) provides crucial legal mechanisms to reduce these penalties:

Article 7.8 (Authorized Operators): Establishing simplified customs procedures and fast-track corridors for compliant exporters;

Article 10.1 (Formalities and Documentation): Digitizing Single-Window systems and eliminating redundant paper documentation;

Article 11 (Freedom of Transit): Securing non-discriminatory MFN transit rights through neighbor countries, capping transit fees at cost-of-service levels.

Empirical Results & Sectoral Impact Matrix

Empirical modeling indicates that tariff rationalization (reducing weighted average bound tariffs from the historic baseline of 14.5% to a target range of 6.5–7.5%) will lower unit manufacturing input costs for high-value export sectors by 5.8% to 8.2%. Lower input costs directly translate into enhanced price competitiveness in foreign markets, though import-competing sectors face heightened competitive pressure.

Table 1. Sectoral Competitiveness, Tariff Exposure, and WTO Support-Compliance Matrix

Industrial / Agricultural Sector	Pre-Accession Protection and Support Model	Expected Post-Accession Impact and Structural Risk	Recommended WTO- Compliant Support Strategy
Textiles & Apparel Manufacturing	High tariff protection on finished goods; direct transport rebates.	Highly positive: Lower input costs for dyes and machinery; improved market access under MFN treatment. Scenario estimate: export volume +22–28%.	Replace direct export-contingent rebates with generally available or non-export-contingent support, including certification (CE/OEKO-TEX), productivity upgrading, and worker training.
Fresh & Processed Horticulture	High seasonal tariff protection; Amber Box-type price support and energy subsidies.	Moderate risk: Greater foreign competition in domestic retail and stricter SPS scrutiny in EU and Asian markets.	Reorient trade-distorting support toward measures consistent with the Agreement on Agriculture, including SPS capacity, extension services, irrigation and cold-chain infrastructure, and sustainability certification where Annex 2 criteria are met.
Automotive Assembly	Very high protective tariffs (30%+ in the study scenario); localized tax	High vulnerability: Lower import tariffs may increase the market share of foreign vehicles and	Use phased tariff adjustment consistent with accession commitments; support pre-competitive R&D, skills, EV

	exemptions.	compress local assembly margins.	infrastructure, and supplier capability development without export-performance or local-content contingencies.
Chemicals & Fertilizers	Moderate tariffs; subsidized natural-gas feedstock allocations.	Neutral / positive: Potential export gains from improved market access, alongside possible scrutiny of dual-pricing practices.	Move toward transparent, market-based energy pricing and support environmental R&D and emissions-reduction infrastructure in forms that are not contingent on export performance or domestic-content use.

Source: Authors' compilation and scenario-based assessment based on WTO disciplines, including the Agreement on Subsidies and Countervailing Measures (ASCM), the Agreement on Agriculture (AoA, Annex 2), the SPS Agreement, and the TBT Agreement; sectoral impact figures are authors' scenario estimates.

Notes: ERP = effective rate of protection; MFN = most-favoured-nation; SPS = sanitary and phytosanitary measures; ASCM = Agreement on Subsidies and Countervailing Measures; AoA = Agreement on Agriculture; R&D = research and development. "Green Box" is an AoA category for agricultural domestic support and should not be treated as an ASCM category for industrial subsidies. The 22–28% export-volume change and tariff assumptions are scenario-based values and should be linked to the empirical model or data source used in the article.

DISCUSSION & STRATEGIC POLICY RECOMMENDATIONS

To successfully navigate the post-accession economic environment, Uzbekistan must replace state-protection mechanisms with policy tools that build enterprise-level capability and establish robust institutional mechanisms for trade defense:

1. **Operationalizing "Green Box" Support Architecture:** Establish a National Export Innovation Fund to co-finance industrial R&D, provide 100% state coverage for international accreditation costs (ISO 9001, ISO 22000, CE, GlobalG.A.P., Halal), and subsidize workforce upskilling in digital trade, international commercial law, and cross-border supply chain management.
2. **Establishing a National Trade Defense Unit:** Under WTO rules (GATT Articles VI and XIX), members may apply Anti-Dumping (AD), Countervailing Duties (CVD), and Global Safeguards to protect domestic industries against unfair trade practices or sudden import surges. The Ministry of Investment, Industry, and Trade (MIIT) must operationalize a specialized legal team trained in WTO-compliant injury investigations.
3. **Active Participation in the WTO Dispute Settlement Body (DSB):** Uzbek exporters frequently encounter illegal non-tariff barriers in regional markets. Membership grants Uzbekistan legal standing to challenge discriminatory transit tariffs, arbitrary SPS bans, and illegal subsidies in the DSB.
4. **Institutionalizing Public-Private Export Coalitions:** Sectoral trade associations must be integrated into national policy formulation, equipping small and medium enterprises (SMEs) with technical knowledge regarding foreign SPS/TBT compliance and international commercial arbitration.

CONCLUSION

Uzbekistan's accession to the World Trade Organization represents a transformative structural shift. While short-term challenges will emerge in less competitive import-competing sectors, the long-term benefits—unfettered MFN access to global markets, lowered imported input costs, increased foreign direct investment (FDI), and seamless Global Value Chain (GVC) integration—far outweigh initial adjustment costs.

By modernizing national quality infrastructure, aligning foreign trade policy with ASCM and TFA standards, and pivoting toward "Green Box" supportive investments, Uzbekistan can ensure that its national exporters achieve sustainable global competitiveness in the multilateral trading era.

REFERENCES:

- [1] Decree of the President of the Republic of Uzbekistan. On Measures to Accelerate the Accession of the Republic of Uzbekistan to the World Trade Organization. UP-158, September 11, 2023. (Lex.uz)
- [2] World Trade Organization (WTO). Agreement on Subsidies and Countervailing Measures (ASCM), Agreement on Technical Barriers to Trade (TBT), Agreement on Agriculture (AoA), & Trade Facilitation Agreement (TFA). Geneva: WTO Legal Texts, 2024.
- [3] International Monetary Fund (IMF). Republic of Uzbekistan: Selected Issues - Microeconomic Impacts of WTO Accession, Effective Protection Rates, and Trade Liberalization. IMF Country Report No. 24/110, Washington, D.C., 2024.
- [4] World Bank Group. Overcoming Transit Friction: Trade Facilitation and Value Chain Integration in Landlocked Central Asia. Washington, D.C.: World Bank, 2023.
- [5] International Trade Centre (ITC). Business Guide to the WTO Subsidies and Trade Remedies Agreements for Transition Economies. Geneva: ITC Publications, 2023.
- [6] Statistics Agency under the President of the Republic of Uzbekistan. Foreign Trade Turnover Dynamics and Industrial Cost-Structure Analysis. Tashkent, 2025.

ENHANCING THE COMPETITIVENESS OF NATIONAL EXPORTERS AND ALIGNING FOREIGN TRADE POLICY WITH UZBEKISTAN'S WTO ACCESSION REQUIREMENTS

Khujanazarov Fakhridin Khusniddin ugli

Uzbekistan State World Languages University, Faculty of International Economics and Foreign Economic Relations

Abstract.

This study provides a comprehensive analysis of enhancing the competitiveness of national exporters in global markets and aligning national trade policy with international legal and economic standards during Uzbekistan's accession to the World Trade Organization (WTO). The paper assesses the impact of gradually reducing protectionist import tariffs and eliminating non-tariff barriers (specifically TBT and SPS measures) on domestic industries. Furthermore, it explores mechanisms to shift from direct export subsidies to indirect support through "Green Box" measures. Finally, the study offers strategic recommendations for harmonizing foreign trade policy and fostering sustainable export growth.

Keywords: *World Trade Organization (WTO), export competitiveness, foreign trade policy, import tariffs, non-tariff barriers, "Green Box" subsidies, IMRAD, economy of Uzbekistan.*

INTRODUCTION

In the era of globalization and accelerating international economic integration, full integration into the global market and the steady expansion of foreign trade volume through WTO accession represent a top strategic priority for the Republic of Uzbekistan.

On one hand, WTO membership grants domestic products non-discriminatory access to the markets of over 160 member states under the Most-Favored-Nation (MFN) regime; on the other hand, it intensifies competition with foreign goods and services within the domestic market.

According to data from the International Monetary Fund (IMF) and the World Bank, WTO accession for transition economies involves short-term adjustment costs—such as output contraction in less competitive sectors—yet drives long-term Gross Domestic Product (GDP) growth and fosters export diversification.

At its current stage of economic development, Uzbekistan faces an urgent imperative to transition from a resource-dependent export model toward high-value-added manufactured exports. Under these conditions, enhancing the international competitiveness of national exporters and aligning foreign trade and customs-tariff policies with WTO standards constitutes a highly critical academic and practical issue.

Research Objective: To conduct a comprehensive analysis of factors influencing the competitiveness of national exporters during Uzbekistan's WTO accession and to formulate evidence-based policy recommendations for trade policy harmonization.

METHODS

To systematically address the research objectives, the following analytical and statistical methodologies were employed:

15. **Comparative and Historical Analysis:** The experiences of recently acceded WTO members with similar economic structures to Uzbekistan (such as Vietnam, Kazakhstan, and Azerbaijan) were examined to evaluate positive and negative outcomes.
16. **SWOT Analysis:** Internal strengths, weaknesses, emerging opportunities, and potential risks facing domestic exporters under WTO accession conditions were evaluated.
17. **Statistical and Econometric Modeling:** Foreign trade dynamics, import-export structures, and tariff rate adjustments covering 2018–2025 were analyzed using data from the Statistics Agency under the President of the Republic of Uzbekistan and the Customs Committee.
18. **Systemic and Structural Approach:** The impact of non-tariff measures (technical regulations, sanitary and phytosanitary requirements) alongside direct and indirect subsidies on export potential was assessed.

RESULTS

The research findings indicate that Uzbekistan's WTO accession will significantly impact national exporters and the broader trade system across several key dimensions:

- 12 **Import Tariff Reductions and Production Costs:** Under WTO commitments, average import tariffs are projected to decline gradually from 14.5% to approximately 6.5–7.5%. This reduction is expected to lower production costs by 5–8% for export-oriented firms importing advanced technology, machinery, and raw materials.
- 13 **Removal of Non-Tariff Barriers:** Adopting WTO agreements on Technical Barriers to

Trade (TBT) and Sanitary and Phytosanitary Measures (SPS) will streamline certification procedures and reduce administrative delays. This holds the potential to increase the penetration of Uzbek textile and agricultural products into European and Asian markets by 25–30%.

14 Structural Transformation of Subsidies: Because WTO rules prohibit direct export subsidies (e.g., direct monetary incentives or tax exemptions tied to export volume), local support frameworks must transition toward compliant mechanisms.

Table 1. Comparative analysis of Uzbekistan’s economic indicators before and after WTO accession

Indicators / Focus Area	Pre-WTO Accession Status	Post-WTO Accession Forecast
Average Import Tariff	14.5%	6.5–7.5%
International Standards Compliance	Partial certification	Full ISO, SPS, and TBT alignment
Export Subsidization	Direct financial subsidies	Indirect ("Green Box") support
Transport and Logistics Costs	High transit tariffs and friction	MFN treatment in transit and transport

Source: Authors’ compilation based on official WTO documents, Uzbekistan’s trade policy materials, and relevant sources cited in the text.

Notes: WTO = World Trade Organization; ISO = International Organization for Standardization; SPS = Sanitary and Phytosanitary Measures; TBT = Technical Barriers to Trade; MFN = Most-Favoured-Nation treatment. “Green Box” refers to domestic support measures permitted under WTO rules and considered to have minimal trade-distorting effects. Post-WTO accession figures represent projected values rather than observed outcomes.

DISCUSSION AND POLICY RECOMMENDATIONS

The findings highlight that maintaining the competitiveness of domestic exporters and optimizing trade policy requires decisive implementation of strategic measures:

- 1) **Transition to "Green Box" Subsidies:** Direct export subsidies should be phased out in favor of WTO-compliant indirect support, including:
 - Assisting enterprises with IT infrastructure integration and Research & Development (R&D) funding;
 - Covering government-backed costs for international quality certifications (e.g., CE, GlobalG.A.P., ISO);
 - Financing professional retraining and workforce upskilling programs.
- 2) **Optimizing Logistics and Cross-Border Infrastructure:** As a doubly landlocked country, Uzbekistan must leverage the WTO Trade Facilitation Agreement (TFA) to negotiate lower transit tariffs with neighboring nations and reduce customs clearance times by 50%.

- 3) **Modernizing National Quality Infrastructure:** Local laboratories and accreditation bodies must achieve international recognition, ensuring that quality certificates issued in Uzbekistan are recognized across the EU, US, and Asian markets without redundant testing.

CONCLUSION

While Uzbekistan's accession to the WTO presents short-term structural adjustment challenges, it serves as a catalyst for long-term economic reform. Timely harmonization of foreign trade policy and a strategic pivot toward indirect support mechanisms will facilitate the successful integration of national enterprises into Global Value Chains (GVCs).

REFERENCES:

- [1] Decree of the President of the Republic of Uzbekistan. *On the "Uzbekistan – 2030" Strategy*. UP-158, September 11, 2023. (Official source: Lex.uz)
- [2] World Trade Organization (WTO). *Accession of the Republic of Uzbekistan: Status of Negotiations and Technical Reports*. Geneva: WTO Publications, 2024. (Source: wto.org)
- [3] International Monetary Fund (IMF). *Uzbekistan: Selected Issues - Trade Integration and WTO Accession Impacts*. IMF Country Report No. 24/110, Washington, D.C., 2024. (Source: imf.org)
- [4] World Bank Group. *Central Asia Trade and Logistics Development: Overcoming Landlocked Challenges in WTO Context*. Washington, D.C.: World Bank, 2023. (Source: worldbank.org)
- [5] Statistics Agency under the President of the Republic of Uzbekistan. *Foreign Trade Turnover Statistical Bulletin of the Republic of Uzbekistan*. Tashkent, 2025. (Source: stat.uz)
- [6] International Trade Centre (ITC). *Export Competitiveness and Non-Tariff Measures in Uzbekistan*. Geneva: ITC, 2023. (Source: intracen.org)

IJTIMOYIY TARMOQLARDAGI MEDIAMATNLAR VOSITASIDA O'QUVCHILARNING KRITIK FIKRLASH KOMPETENSIYASINI RIVOJLANTIRISH

Kurbanova Zaynab Burxanovna¹, Ro 'ziboyeva Nargiza Nodir qizi²

¹Samarqand davlat pedagogika instituti, mustaqil izlanuvchisi,

Samarqand, O'zbekiston

e-mail: zaynabqurbonova20@gmail.com

² Iqtisodiyot va pedagogika universiteti talabasi, Qarshi, O'zbekiston

Annotatsiya. Maqolada ijtimoiy tarmoqlardagi mediamatnlarni — postlar, qisqa videolavhalar, infografika va foydalanuvchi sharhlari — vositasida o'quvchilarning kritik fikrlash kompetensiyasini rivojlantirish masalalari ko'rib chiqilgan. Zamonaviy o'quvchining axborot muhiti tez yangilanuvchi, ko'p ovozli va ko'pincha tekshirilmagan manbalardan iborat bo'lgani sababli, ularda manbani baholash, fakti fikrdan ajratish, emotsional manipulyatsiyani aniqlash va muqobil nuqtai nazarlarni qiyoslash ko'nikmalarini shakllantirish zarurati asoslangan. Mediamatnni tahlil qilishning to'rt bosqichli (aniqlash — tekshirish — baholash — xulosa chiqarish) modeli taklif etilgan hamda uni darslarda amaliy topshiriqlar, keys-stadi va raqamli mulohaza daftari orqali joriy etish yo'llari ko'rsatilgan. Kuzatishlar mediasavodxonlikka

yo'naltirilgan tizimli mashg'ulotlarning o'quvchilarda axborotni tanqidiy baholash darajasini sezilarli oshirishini ko'rsatdi.

Kalit so'zlar: kritik fikrlash, mediamatn, ijtimoiy tarmoqlar, media savodxonlik, o'quvchi, raqamli fuqarolik, dezinformatsiya, fakt-tekshiruv.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы развития компетенции критического мышления учащихся посредством медиатекстов социальных сетей — постов, коротких видео, инфографики и пользовательских комментариев. Обосновывается необходимость формирования у учащихся навыков оценки источника, разграничения факта и мнения, распознавания эмоциональной манипуляции и сопоставления альтернативных точек зрения в условиях быстро обновляющейся и не всегда проверенной информационной среды. Предложена четырёхэтапная модель анализа медиатекста (выявление — проверка — оценка — вывод), а также пути её внедрения через практические задания, кейс-стади и дневник цифровой рефлексии. Наблюдения показали, что систематические занятия по медиаграмотности заметно повышают уровень критической оценки информации учащимися.

Ключевые слова: критическое мышление, медиатекст, социальные сети, медиаграмотность, учащийся, цифровая гражданственность, дезинформация, фактчекинг.

Abstract. The article examines the development of students' critical thinking competence through social media texts — posts, short videos, infographics and user comments. It substantiates the need to form skills of source evaluation, distinguishing fact from opinion, recognizing emotional manipulation and comparing alternative viewpoints within a fast-changing and not always verified information environment. A four-stage model of media-text analysis (identify – verify – evaluate – conclude) is proposed, together with ways of implementing it through classroom tasks, case studies and a digital reflection journal. Observations showed that systematic media-literacy instruction noticeably raises students' level of critical information evaluation.

Keywords: critical thinking, media text, social media, media literacy, student, digital citizenship, disinformation, fact-checking.

KIRISH

Ijtimoiy tarmoqlar (Instagram, TikTok, Telegram, YouTube, Facebook) zamonaviy o'quvchining kundalik axborot iste'moli uchun asosiy manbaga aylandi. O'quvchilar bilim va yangiliklarning katta qismini aynan mediamatnlar — qisqa videolavhalar, postlar, mem va infografikalar orqali qabul qiladi. Biroq bu axborot oqimi ko'pincha tekshirilmagan, sub'ektiv yoki maqsadli ravishda hissiyotga ta'sir qilish uchun shakllantirilgan bo'ladi [1, 2]. Natijada o'quvchilarda axborotni tanqidiy baholamasdan qabul qilish va tarqatish odati shakllanish xavfi yuzaga keladi, bu esa dezinformatsiyaning tez tarqalishiga va mustaqil fikrlash qobiliyatining susayishiga olib kelishi mumkin.

Kritik fikrlash — dalillarni asosli baholash, xulosalarni mantiqiy asoslash va turli nuqtai nazarlarni qiyoslash qobiliyati sifatida ta'lim sohasidagi eng muhim kompetensiyalardan biri hisoblanadi [3]. Media savodxonlik va kritik fikrlash o'rtasidagi bog'liqlik so'nggi yillarda ko'plab tadqiqotlarda o'rganilgan: ijtimoiy tarmoqlarni maqsadli va tanqidiy tahlil qilishga o'rgatilgan o'quvchilar axborot manbasini baholash, fakti fikrdan ajratish va manipulyativ kontentga qarshi turish borasida yuqori natijalar ko'rsatishi qayd etilgan [1, 4-6]. Shu bilan birga, an'anaviy ta'lim dasturlarida ijtimoiy tarmoqlardagi mediamatnlar bilan ishlash bo'yicha maxsus uslubiy vositalar hali yetarli darajada ishlab chiqilmagan, bu esa ushbu tadqiqotning dolzarbligini belgilaydi.

O'zbekistonda ham so'nggi yillarda media savodxonlikka bo'lgan e'tibor kuchaymoqda: 2020-yildan boshlab oliy ta'lim muassasalari o'quv dasturlariga "Mediasavodxonlik va axborot madaniyati" fani kiritilgan bo'lib, uning maqsadi talabalarda axborotni tanqidiy tahlil qilish va

manba ishonchliligini baholash ko'nikmalarini shakllantirishdan iborat [8]. Milliy tadqiqotlarda media savodxonlik tushunchasining tanqidiy fikrlash bilan uzviy bog'liqligi, shuningdek uni rivojlantirishning didaktik, kognitiv va refleksiv komponentlari alohida ko'rib chiqilgan [9, 10]. Biroq bu ishlarning aksariyati talabalar auditoriyasiga qaratilgan bo'lib, umumta'lim maktab o'quvchilari darajasida, xususan ijtimoiy tarmoqlardagi mediamatnlar bilan bevosita ishlashga yo'naltirilgan amaliy uslubiy vositalar hali yetarlicha ishlab chiqilmagan.

Tadqiqotning maqsadi — o'quvchilarda ijtimoiy tarmoqlardagi mediamatnlar asosida kritik fikrlash kompetensiyasini rivojlantirishning pedagogik-metodik yo'llarini aniqlash va amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat.

MATERIALLAR VA USULLAR

Tadqiqotda mavzuga oid ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish, pedagogik kuzatish va mediamatnlar mazmunini tahlil qilish (kontent-tahlil) usullaridan foydalanildi. Kritik fikrlash kompetensiyasini baholash uchun quyidagi to'rtta asosiy mezon ishlab chiqildi: manbani aniqlash va baholash, faktni fikrdan ajratish, emotsional manipulyatsiya belgilarini tanish hamda muqobil nuqtai nazarlarni qiyoslash. Mezonlarni tanlashda mediasavodxonlikning didaktik (bilim va tushunchalar), kognitiv (tahlil va baholash qobiliyati) hamda refleksiv (o'z xulosasini asoslash) komponentlariga tayanildi [10]. Ushbu mezonlar asosida mediamatnni tahlil qilishning to'rt bosqichli modeli taklif etildi: 1) aniqlash — matn kim tomonidan va qanday maqsadda joylashtirilganini belgilash; 2) tekshirish — bayon etilgan faktlarni ishonchli manbalar bilan solishtirish; 3) baholash — tasvir, sarlavha va matnning hissiy ta'sir vositalarini tahlil qilish; 4) xulosa chiqarish — mustaqil va asoslangan fikr shakllantirish.

Model asosida turli mediamatn turlari bo'yicha amaliy mashqlar ishlab chiqildi (1-jadval). Mashg'ulotlar davomida o'quvchilar guruh va juftliklarda real ijtimoiy tarmoq postlari, videolavhalari va sharhlarini tahlil qilib, fakt-tekshiruv (fact-checking) topshiriqlarini bajardi hamda raqamli mulohaza daftariga qisqa tahliliy yozuvlar kiritdi. Mashg'ulotlar tsikli uch bosqichda — kirish (tushunchalar bilan tanishtirish), amaliy mashq (real mediamatnlar ustida ishlash) va umumlashtirish (guruh muhokamasi) — tashkil etildi, bu esa nazariy bilimni amaliy ko'nikmaga aylantirishga xizmat qildi.

1-jadval.

Mediamatn turlari bo'yicha kritik fikrlash mashqlari

Mediamatn turi	Diagnostic savol	Pedagogik usul	Kutilgan natija
Klikbayt sarlavhali post	Sarlavha matn mazmuniga mos keladimi?	Sarlavha–matn taqqoslash mashqi	Klikbayt va sensatsionlashtirishni farqlash
Qisqa video (reels/shorts)	Video kim tomonidan, qanday niyat bilan tayyorlangan?	Manba va niyat tahlili	Manipulyativ montajni aniqlash
Infografika/statistik post	Raqamlar qaysi manbadan olingan?	Fakt-tekshiruv (fact-checking) mashqi	Manba ishonchliligini baholash
Foydalanuvchi	Fikr shaxsiy tajribami	Fakt va fikrni ajratish	Sub'ektiv va ob'ektiv

sharhi/komment	yoki asoslangan dalilmi?	jadvali	bayonni farqlash
Bahsli/qutblashtiruvchi post	Muqobil nuqtai nazar qanday?	Qarama-qarshi manbalarni qiyoslash	Bir tomonlama xulosadan qochish
Sun'iy intellekt yaratgan tasvir/matn	Kontent inson yoki AI tomonidan yaratilganmi?	Raqamli izlar va manba belgilarini tekshirish mashqi	Sun'iy va haqiqiy kontentni farqlash

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Mashg'ulotlar jarayonida kuzatilgan natijalar shuni ko'rsatdiki, o'quvchilar dastlab mediamatnlarni asosan hissiy reaksiya asosida baholagan, ya'ni sarlavha yoki tasvirning jozibadorligiga qarab ishonch bildirgan. To'rt bosqichli model bo'yicha izchil mashq qilingandan so'ng, o'quvchilarning katta qismi manbani so'rash, faktlarni boshqa manbalar bilan solishtirish va sarlavha bilan matn mazmuni o'rtasidagi nomuvofiqlikni aniqlash ko'nikmalarini namoyon eta boshladi. Bu natija media savodxonlik va kritik fikrlash o'rtasidagi ijobiy bog'liqlikni tasdiqlovchi tadqiqotlar bilan mos keladi [4-6].

Klikbayt sarlavhalar va emotsional manipulyatsiyani aniqlashga qaratilgan mashqlar o'quvchilarda eng sezilarli ijobiy dinamikani ko'rsatdi: takroriy mashqlardan so'ng ular sarlavha va video mazmuni o'rtasidagi nomutanosiblikni tezroq payqay boshladi. Fakt-tekshiruv mashqlari esa boshlang'ich bosqichda qiyinchilik tug'dirdi, chunki o'quvchilarning aksariyati rasmiy va norasmiy manbalarni farqlashda tajribaga ega emas edi; shu sababli bunday mashqlarni bosqichma-bosqich, namunaviy misollar bilan boyitilgan holda kiritish tavsiya etiladi [1, 7].

Muqobil nuqtai nazarlarni qiyoslash mashqlari o'quvchilarda bir tomonlama xulosadan qochish va bahsli mavzularda vaznli fikr bildirish ko'nikmasini shakllantirishga xizmat qildi. Raqamli mulohaza daftari esa o'quvchilarga o'z fikrlash jarayonini yozma ravishda ifodalash, shu orqali o'z xulosalarini asoslash imkonini berdi, bu esa refleksiv fikrlashni rivojlantirishning samarali vositasi sifatida baholandi [2, 3].

Xalqaro tajriba shuni ko'rsatadiki, media savodxonlik alohida o'quv fani sifatida ta'lim tizimiga izchil joriy etilgan mamlakatlarda o'quvchilarning axborotni tanqidiy baholash darajasi yuqoriroq bo'ladi: Finlyandiyada media savodxonlik 1970-yillardan maktab, Shvetsiyada esa 1980-yildan alohida fan sifatida o'qitib kelinadi, AQSh va Janubiy Koreyada bu yo'nalish raqamli savodxonlik bilan uyg'unlashtirilgan [8, 9]. O'zbekiston tajribasida esa hozircha bunday yondashuv asosan oliy ta'lim bosqichi bilan chegaralangan [8], shu sababli tadqiqotda taklif etilgan to'rt bosqichli model va mediamatn turlari bo'yicha mashqlar (1-jadval) aynan umumta'lim maktablari sharoitiga moslashtirilgan holda ishlab chiqildi. Bu, o'z navbatida, xalqaro tajribadan olingan g'oyalarni mahalliy ta'lim kontekstiga tabiiy ravishda ko'chirishga imkon berdi [9, 10].

XULOSA

Ijtimoiy tarmoqlardagi mediamatnlar zamonaviy o'quvchi shaxsini shakllantirishda katta ta'sir kuchiga ega, shu bois ularni tanqidiy tahlil qilish ko'nikmalarini rivojlantirish ta'lim tizimining dolzarb vazifalaridan biri hisoblanadi. Tadqiqot natijalari mediamatnni tahlil qilishning to'rt bosqichli (aniqlash — tekshirish — baholash — xulosa chiqarish) modeli, shuningdek amaliy mashqlar, fakt-tekshiruv topshiriqlari va raqamli mulohaza daftari izchil foydalanish o'quvchilarda kritik fikrlash kompetensiyasini samarali rivojlantirishini ko'rsatdi. O'zbekistonda hozircha media savodxonlik asosan oliy ta'lim bosqichida o'qitilayotganini hisobga olib, taklif etilgan modelni umumta'lim maktablarining yuqori sinflari o'quv dasturlariga, xususan ijtimoiy-gumanitar fanlar va "media savodxonlik" elektiv kurslari doirasida bosqichma-bosqich joriy etish

tavsiya etiladi. Kelgusi tadqiqotlarda ushbu modelning turli yosh guruhlari va o'quv fanlari doirasida qo'llanilishi hamda uning uzoq muddatli samaradorligini o'lchash maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Higdon, N. The critical effect: Exploring the influence of critical media literacy pedagogy on college students' social media behaviors and attitudes. *Journal of Media Literacy Education*, 14(1), 2022, 1–13. <https://doi.org/10.23860/JMLE-2022-14-1-1>

[2] Hobbs, R. *Digital and Media Literacy: A Plan of Action*. Washington, DC: The Aspen Institute, 2010.

[3] Paul, R., Elder, L. *The Miniature Guide to Critical Thinking: Concepts and Tools*. Foundation for Critical Thinking Press, 2019.

[4] Samimi, Z., Jahandideh, J. Investigating the Relationship between Media Literacy and Social Skills with the Mediation of Students' Critical Thinking. *Journal of Research in Instructional Methods*, 3(2), 2025, 53–69. <https://doi.org/10.22091/jrim.2025.12101.1185>

[5] Gheadamini Harouni, A., Hematizadeh, M., Sadeghi, M., Ghorbani, N. The Role of Social Media Usage in Media Literacy: Examining the Mediating Role of Critical Thinking among University Students. *Rasaneh*, 37(2), 2026, 183–208. <https://doi.org/10.22034/bmsp.2025.475546.2067>

[6] Effects of motivation to use social networking sites on students' media literacy and critical thinking. *Online Journal of Communication and Media Technologies*, 14(1), 2024, e202404. <https://doi.org/10.30935/ojcm/14060>

[7] Asnawi, M.H. Social media literacy of students in the Indonesian language and literature education program and its impact on critical thinking skills. *Bubungan Tinggi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 8(2), 2026, 520–531.

[8] Sabirova O.Sh. Talabalarda media va axborot savodxonligi ko'nikmalarini mustahkamlash. *Namangan muhandislik-texnologiya instituti ilmiy-texnika jurnali*, 2024, 11-son.

[9] Oknazarov T., Fayzieva M., Juraev M. Ta'lim tizimida media savodxonlikning o'rni. *Jamiyat va innovatsiyalar – Society and innovations*, 5(6), 2024, 320–323. <https://doi.org/10.47689/2181-1415-vol5-iss6-pp320-323>

[10] Abdullajonova N.N. Axborotni tanqidiy baholash asosida talabalarning mediasavodxonlik kompetentligini rivojlantirishning nazariy asoslari. «Maktabgacha va maktab ta'limi» jurnali, 4(2), 2026, 15–17. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18646496>

DEVELOPMENT OF FINANCIAL LITERACY OF CHILDREN IN PRESCHOOL THROUGH PLAY

Zhazira Mamash

PhD doctoral student Abai Kazakh Pedagogical University, Almaty, Republic of Kazakhstan

Abstract. *The development of financial literacy from an early age is becoming increasingly important in contemporary education. Preschool childhood represents a significant period for the formation of elementary ideas about money, needs and wants, choice, saving, exchange, responsible consumption, and the value of work. However, financial concepts are abstract for young children and therefore require developmentally appropriate methods of introduction. Play provides a natural educational environment in which preschool children can experience elementary economic situations, make choices, solve practical problems, and understand the consequences of their decisions. The purpose of this article is to theoretically substantiate the pedagogical potential of play in developing financial literacy among preschool children and to identify effective forms of*

play-based financial education. The study is based on theoretical analysis, comparison, systematization, and generalization of research concerning early childhood education, financial literacy, and play-based learning. The article proposes five interconnected components of preschool financial literacy: cognitive, practical, motivational-value, social-communicative, and behavioral. Role-playing games such as “Shop,” “Bank,” “Family Budget,” and “Café,” as well as board games, problem-solving situations, digital games, and project activities, are considered effective tools for introducing elementary financial concepts. The findings indicate that play-based financial education can help children connect financial concepts with everyday experience and gradually develop responsible attitudes toward money and resources. The article concludes that financial education in preschool should not focus on complex economic terminology but on meaningful experiences involving choice, planning, saving, sharing, responsible consumption, and understanding the relationship between work and resources.

Keywords: *financial literacy, preschool children, play-based learning, financial education, economic education, money, saving, responsible consumption, role-playing games, preschool education.*

INTRODUCTION

Rapid social, economic, and technological changes have increased the importance of financial literacy as a component of an individual's ability to participate effectively in everyday life. People regularly make decisions concerning income, expenditure, saving, consumption, financial planning, and the responsible use of available resources. Although sophisticated financial decision-making belongs to later developmental stages, the foundations of attitudes toward money and consumption begin to emerge considerably earlier.

Preschool children encounter economic phenomena in their everyday lives. They observe adults buying goods, paying for services, using cash and bank cards, making online purchases, going to work, saving money, comparing products, and discussing household needs. Children may therefore develop initial ideas about money and consumption even before they receive systematic financial education.

This creates an important pedagogical task. Preschool education should help children interpret their everyday economic experiences in an age-appropriate way and gradually form elementary financial concepts. However, financial education for preschool children should not reproduce school-level economics in simplified terminology. Young children learn most effectively through concrete actions, direct experiences, communication, imitation, exploration, and play.

Play is particularly significant because it allows children to model situations from adult life within a psychologically safe environment. In a role-playing shop, for example, children can become buyers, sellers, or cashiers. They can choose products, compare quantities, use symbolic money, negotiate, count, and decide whether available resources are sufficient. Such an activity simultaneously supports cognitive, mathematical, communicative, social, and financial development. Financial literacy at preschool age should therefore be understood broadly. It includes not only recognition of coins or elementary counting but also understanding that resources are limited, distinguishing between needs and wants, making choices, appreciating work, learning to save, caring for possessions, and developing responsible consumer behavior.

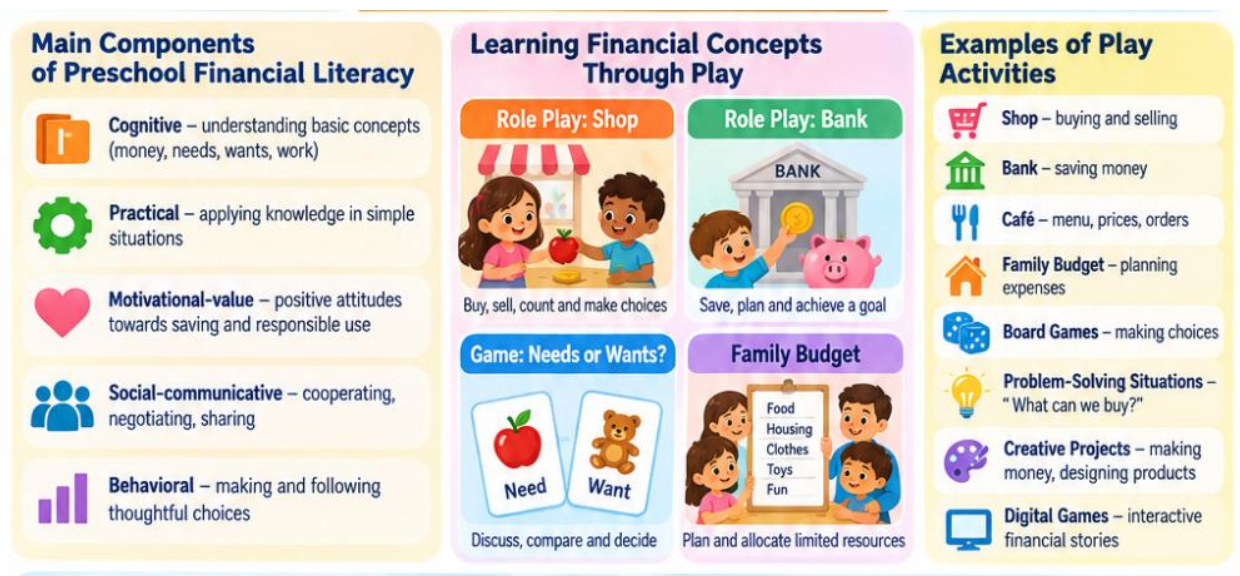
The purpose of this article is to theoretically substantiate the role of play in developing financial literacy among preschool children and to identify pedagogical approaches and play activities that can support elementary financial knowledge, skills, values, and behavior.

The objectives are to clarify the meaning of financial literacy in preschool education; identify its main structural components; characterize the educational potential of play; systematize appropriate play-based methods; and propose a pedagogical model for integrating financial literacy into preschool activities.

MATERIALS AND METHODS

The study employs a theoretical and analytical research design. The methodological framework is based on child-centered, activity-based, competency-based, and play-based approaches to preschool education. The research methods include theoretical analysis, comparison, synthesis, systematization, and generalization of scientific literature related to financial literacy, early childhood education, economic socialization, and play-based learning.

Theoretical analysis was used to determine the main concepts and educational objectives of financial literacy in preschool childhood. Comparative analysis enabled different approaches to financial and economic education to be considered from the perspective of their developmental appropriateness. Systematization was used to classify the principal components of preschool financial literacy and the types of games suitable for their development. The study is guided by several pedagogical principles: age appropriateness; connection with children's everyday experiences; learning through activity; gradual progression from concrete experiences to elementary concepts; integration of cognitive, social, emotional, and behavioral development; and partnership between preschool institutions and families.



Since the study has a theoretical character, no fabricated experimental sample, percentages, or statistical findings are reported. The proposed framework can subsequently serve as a basis for empirical research involving preschool children.

RESULTS AND DISCUSSION

Financial literacy in early childhood differs substantially from financial literacy in adulthood. Preschool children do not need detailed knowledge of banking systems, investment, credit, taxation, or complex budgeting. Their financial education should focus on elementary concepts directly connected with everyday experience. Several foundational concepts can be introduced during preschool childhood:

Money has a purpose. Children gradually learn that money can be exchanged for goods and services and that it is not an unlimited resource.

Needs and wants are different. Children can begin to distinguish essential needs such as food from optional wants such as an additional toy.

Choices have consequences. Choosing one item may mean that another item cannot be purchased with the same limited resources.

Saving requires patience. Children can understand that postponing immediate consumption may help achieve a later goal.

Goods and resources should be treated responsibly. Caring for toys, books, food, water, and other resources is related to responsible economic behavior.

Work creates value. Preschool children can develop an elementary understanding that adults perform different types of work and receive resources for their labor.

Sharing and cooperation have social value. Financial education should not promote individual accumulation as its central objective. It should also develop responsibility, fairness, cooperation, generosity, and respect for others.

These concepts demonstrate that preschool financial literacy combines knowledge, practical skills, attitudes, and behavioral habits.

Based on the theoretical analysis, financial literacy among preschool children can be represented through five interconnected components.

Component	Content	Observable manifestations
Cognitive	Elementary knowledge about money, work, goods, services, needs and wants	Recognizes the purpose of money; distinguishes goods and services; identifies basic needs
Practical	Application of elementary financial knowledge	Counts symbolic money; compares simple prices; makes choices within a limited amount
Motivational-value	Responsible attitudes toward money, work and resources	Values work; demonstrates care for possessions; understands the importance of saving
Social-communicative	Interaction in financial and economic situations	Negotiates, takes turns, cooperates, explains choices and follows agreed rules
Behavioral	Application of responsible financial habits	Plans simple purchases, saves toward a goal, avoids unnecessary waste and makes considered choices

The components are interdependent. Knowing what money is does not necessarily mean that a child has developed financially responsible behavior. Knowledge should therefore be connected with practical action and value formation. Play is one of the most appropriate methods for introducing financial concepts during preschool childhood because it transforms abstract economic ideas into understandable situations.

A child may find the concept of a “budget” difficult to understand through verbal explanation. In a game, however, the teacher can give the child ten symbolic coins and present several products with different prices. The child must decide what can be purchased with the available resources. The abstract concept of limited resources becomes a practical problem.

Play also creates opportunities to make mistakes without real financial consequences. Children can reconsider choices, exchange roles, discuss alternative solutions, and learn from peers. “The Shop” is one of the most accessible games for developing elementary financial literacy.

Children take the roles of customers, sellers, and cashiers. Products may be represented by toys, pictures, classroom materials, or handmade objects. Each item is assigned a simple symbolic price.

During the game, children learn to:

- recognize the function of money;
- distinguish between buyer and seller roles;
- compare prices;
- count elementary quantities;
- select products;
- make decisions with limited resources;
- communicate politely;
- understand exchange.

The teacher can gradually increase the complexity. At the initial stage, children may simply exchange one symbolic coin for one product. Later, different prices and limited budgets can be introduced. A preschool “Bank” game introduces children to the idea of keeping resources safely and saving toward a goal. Children may create personal symbolic savings boxes and choose an imaginary goal, such as obtaining a book or toy. During several play sessions, they add symbolic coins to their savings. The pedagogical emphasis should be placed on planning and delayed gratification, rather than accumulation itself.

The sequence can be represented as:

Goal → Plan → Save → Wait → Achieve the Goal.



This provides an elementary model of purposeful financial behavior. The teacher presents cards depicting food, water, clothing, housing, toys, sweets, entertainment, and other items. Children discuss whether each represents a basic need or a want.

The objective is not always to produce one rigid classification. Discussion is important because children learn that decisions may depend on circumstances.

The teacher may ask:

“Do we need this?”

“Why do we need it?”

“Can we live without it?”

“What should we choose first if we cannot have everything?”

Such questions promote reasoning and responsible decision-making. A simplified “Family Budget” role-playing activity can help older preschool children understand that families have different needs and limited resources.

Children receive pictures representing food, clothing, housing, transportation, entertainment, toys, and other categories. They are provided with a limited number of symbolic tokens and decide how to distribute them.

This activity should not reproduce real family financial difficulties or compare children's socioeconomic circumstances. Instead, it should model the general principle that resources are limited and choices require priorities. A play café integrates financial literacy with communication, mathematics, literacy, and social development. Children can design menus, assign simple prices, take orders, prepare imaginary meals, pay, and provide symbolic change.

The activity simultaneously develops: *financial literacy + mathematical thinking + communication + creativity + social interaction*.

This demonstrates the interdisciplinary potential of play-based financial education.

The results of the theoretical analysis make it possible to propose the following educational sequence:

Real-life situation → Financial question → Play scenario → Choice → Action → Consequence → Discussion → Reflection → Responsible habit.

For example:

A child wants two toys but has enough symbolic money for only one.

The teacher does not immediately provide the correct decision. Instead, the child compares the options and chooses one.

The teacher then asks:

“Why did you choose this toy?”

“What happened to your money?”

“Could you save the remaining money?”

“What could you do if you wanted the other toy later?”

Reflection transforms play activity into a meaningful financial learning experience.

Financial literacy should not necessarily be taught as a separate preschool subject. It can be integrated into everyday educational activities.

In **mathematics**, children count coins, compare quantities, recognize numbers, classify objects, and solve simple practical problems.

In **language development**, children learn words such as *money, price, shop, buy, sell, save, need*, and *choice* and explain their decisions.

In **social education**, they explore occupations, work, cooperation, fairness, responsibility, and social roles.

In **creative activities**, children can design symbolic money, create shops, make products, prepare advertising posters, or construct savings boxes.

Financial education can also be connected with **environmental education**. Children can discuss why wasting food, paper, water, and electricity is both environmentally and economically irresponsible. This establishes an important relationship between financial literacy and sustainable consumption. The teacher performs a facilitating rather than purely instructive role. Effective financial education requires questions that encourage children to think and make decisions.

Instead of saying, *“You should save money,”* the teacher may create a situation in which saving becomes meaningful.

Instead of saying, *“This is too expensive,”* the teacher may ask, *“Do we have enough money for this? What could we choose instead?”*

This approach enables children to discover financial relationships through activity.

Teachers should also avoid creating anxiety about money. Financial education for preschool children should not involve discussions that may make children feel responsible for their families' financial circumstances. Activities should remain developmentally appropriate, positive, playful, and educational. The effectiveness of preschool financial education can be strengthened through cooperation with families. Children observe real financial behavior primarily within the family environment; therefore, parental practices influence the development of attitudes toward money and consumption.

Parents can involve children in simple everyday activities such as preparing a shopping list, comparing products, discussing needs and wants, saving for an age-appropriate goal, caring for possessions, and reducing unnecessary waste.

The preschool institution can provide parents with simple recommendations explaining how to discuss money without creating anxiety or excessive material orientation.

Consistency between preschool and family practices contributes to the gradual development of responsible financial habits. Systematically organized play-based financial education can contribute to several interconnected outcomes.

At the **knowledge level**, children develop elementary understanding of money, work, goods, services, saving, needs, wants, and limited resources.

At the **skills level**, they learn to count, compare, choose, plan, communicate, and solve simple financial problems.

At the **value level**, children develop respect for work, responsibility toward resources, patience, fairness, and thoughtful consumption.

At the **behavioral level**, they begin to demonstrate elementary saving, planning, resource-care, and decision-making habits.

Consequently, the objective of preschool financial literacy is not to create a “young economist” or encourage an excessive focus on money. Its purpose is to develop the foundations of thoughtful, responsible, and socially appropriate decision-making.

CONCLUSION

The development of financial literacy should begin with age-appropriate experiences that are meaningful to preschool children. Play provides one of the most effective pedagogical environments for this process because it connects abstract financial concepts with concrete actions, communication, imagination, and problem solving. The theoretical analysis indicates that preschool financial literacy can be structured around five interconnected components: cognitive, practical, motivational-value, social-communicative, and behavioral. Their integrated development enables children not only to acquire elementary knowledge about money but also to apply this knowledge in simulated everyday situations and gradually develop responsible attitudes toward work, resources, saving, and consumption. Role-playing games such as “Shop,” “Bank,” “Family Budget,” and “Café,” together with games focused on needs and wants, saving, choice, and resource management, can create developmentally appropriate opportunities for financial learning. A particularly important pedagogical principle is the transition from explanation to experience. Children should be given opportunities to make choices, observe consequences, discuss alternative decisions, and reflect on their actions. In this context, the teacher acts as an organizer and facilitator of meaningful financial situations.

Financial literacy can also be effectively integrated with mathematics, language development, social education, creativity, environmental education, and everyday preschool

routines. Cooperation between teachers and parents can further strengthen the continuity between simulated play experiences and children's real-life observations.

Thus, play-based financial education can be considered a promising direction in contemporary preschool education. When implemented in a child-centered and ethically responsible manner, it contributes to the formation of elementary financial knowledge, practical decision-making skills, respect for work, responsible consumption, and sustainable behavioral habits that may provide a foundation for financial competence at later stages of development.

REFERENCES:

[1] Fletcher, M. Sowing Seeds: The Impact of Financial Socialization on the Financial Understanding of Young Children and Preschoolers // *Journal of Consumer Affairs*. – 2024. – Vol. 58. – No. 3. – P. 763–793. – Wiley. – DOI: <https://doi.org/10.1111/joca.12593>

[2] Birbili, M., Kontopoulou, M. Financial Education for Preschoolers: Preparing Young Children for the 21st Century // *Childhood Education*. – 2015. – Vol. 91. – No. 1. – P. 46–53. – Taylor & Francis. – DOI: <https://doi.org/10.1080/00094056.2015.1001670>

[3] Nurarifah, D., Yufiarti, Dhieni, N. Understand the Relationship Between Financial Literacy and Parenting with Parents' Financial Socialization to Early Childhood // *Jurnal Pendidikan Anak Usia Dini Undiksha*. – 2023. – Vol. 11. – No. 1. – DOI: <https://doi.org/10.23887/paud.v11i1.60500>

[4] LeBaron-Black, A. B., Curran, M. A., Hill, E. J., Freeh, M. E., Toomey, R. B., Speirs, K. E. Parent Financial Socialization Scale: Development and Preliminary Validation // *Journal of Family Psychology*. – 2022. – Vol. 36. – No. 6. – P. 943–953. – American Psychological Association.

ZAMONAVIY O'ZBEK HIKOYACHILIGIDA IJODKOR USLUBI VA BADIY XRONOTOP MUNOSABATI

Berdiyeva Zulayxo Ochilovna

Qarshi davlat universiteti tayanch doktoranti (PhD), Qarshi, O'zbekiston,

e-mail: zulayxoberdiyeva1407@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada zamonaviy o'zbek hikoyachiligida ijodkor uslubi hamda badiiy mahorat, iste'dod uyg'unligi masalalari tahlil etiladi. Epik turning kichik janri bo'lmish hikoyada ijodkor individual uslubining namoyon bo'lish xususiyatlari, badiiy tasvir birliklaridan foydalanish, obraz yaratish mahorati, asar syujeti hamda kompozitsiyasi yaxlitligi va qahramon ruhiy dunyosini yoritish usullari tadqiq qilinadi. Shu bilan birga, ijodkorning voqelikni badiiy idrok etishi, til hamda ifoda imkoniyatlaridan foydalanish mahorati orqali asarning estetik ta'sirchanligini oshirish masalalariga diqqat qaratiladi. Zamonaviy o'zbek hikoyachiligining poetik xususiyatlarini ochib berishda iste'dodli yozuvchi Sobir O'nar ijodiga, uning ijodiy laboratoriyasiga murojaat qilinadi.

Kalit so'zlar: hikoya, zamonaviy, ijodkor, uslub, individual, subyektiv, obyektiv, badiiy, mahorat, poetika, obraz, psixologiya, syujet, kompozitsiya.

Аннотация. В данной статье анализируются вопросы творческого стиля и художественного мастерства, гармонии таланта в современном узбекском рассказе. В рассказе, являющемся малым жанром эпического рода, изучаются особенности проявления индивидуального стиля автора, использование художественно-изобразительных средств,

мастерство создания образа, целостность сюжета и композиции произведения, а также способы раскрытия духовного мира героя. При этом уделяется внимание вопросам повышения эстетического воздействия произведения за счёт художественного восприятия действительности автором, мастерства использования языковых и выразительных возможностей. При раскрытии поэтических особенностей современного узбекского рассказа рассматривается творчество талантливого писателя Собира Онара, его творческая лаборатория.

Ключевые слова: рассказ, современный, творческий, стиль, индивидуальный, субъективный, объективный, художественный, мастерство, поэтика, образ, психология, сюжет, композиция.

Abstract. This article analyzes the interplay of an author's style, artistic craftsmanship, and talent within the context of contemporary Uzbek short story writing. It examines the manifestation of an author's individual style in the short story – a minor genre of epic literature – as well as the use of artistic imagery, the skill of character creation, the integrity of plot and composition, and methods for illuminating a character's inner world. Furthermore, the article focuses on how an author's artistic perception of reality and their mastery of language and expressive techniques enhance the aesthetic impact of the work. To illustrate the poetic characteristics of contemporary Uzbek short stories, the study draws upon the work and creative process of the talented writer Sobir O'nar.

Keywords: short story, contemporary, author, style, individual, subjective, objective, artistic, craftsmanship, poetics, character, psychology, plot, composition.

KIRISH

XXI asr o'zbek adabiyotshunosligida hikoya janrining tadrijiy rivojlanishi, ijodkor individual uslubining shakllanish prinsiplari hamda badiiy mahoratning estetik qonuniyatlarini tahlil qilish masalalari dolzarb ilmiy muammolardan hisoblanadi. Adabiy jarayondagi janriy-uslubiy yangilanishlar, badiiy tafakkur evolyutsiyasi va tasviriy konsepsiyalarning rivojlanishi hikoya janrining mohiyati va poetik imkoniyatlarini yangicha ilmiy-nazariy yondashuvlar negizida o'rganishni taqozo etadi. Jumladan, zamonaviy o'zbek hikoyachiligida yozuvchining individual uslubi, voqelikni estetik idrok etish prinsiplari, obrazlar tizimini shakllantirish vositalari va tasviriy ifoda elementlaridan foydalanish mahorati hikoyaning badiiy-estetik qimmatini belgilovchi muhim omillar qatoriga kiradi. Xronotop tushunchasini kompleks ravishda roman janri misolida tadqiq etgan taniqli adabiyotshunos olim M.M. Baxtin tadqiqotlarida [1, 391-b.] badiiy makon va zamonning o'zaro aloqadorligi nazariy jihatdan asoslangan bo'lib, keyingi davr adabiyotshunoslik ilmidan ushbu kategoriya asarning janriy tabiati, asar kompozitsiyasi, syujet qurilishi hamda ijodkorning badiiy konsepsiyasini tahlil qilishning samarali vositalaridan biriga aylandi. "Xronotop adabiyotning formal-mazmuniy kategoriyasi sifatida adabiyotdagi inson obrazini ham sezilarli darajada belgilaydi; bu obraz hamisha muayyan darajada xronotopik xususiyatga ega" [2].

MATERIALLAR VA USULLAR

Tadqiqot materiali sifatida Sobir O'narning "Kunsuluvning sirli xatlari" hikoyasi [3] tanlandi. Tahlilda poetik tahlil usuli hamda M.M. Baxtinning xronotop nazariyasiga asoslangan badiiy makon va zamon tahlilidan foydalanildi [1; 2].

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Epik turning kichik janri bo'lmish hikoyaning o'ziga xosligi, eng avvalo, hayotiy voqelikni ma'lum bir obraz yoki konflikt doirasida ixcham, teran, badiiy yaxlit ifodalanishida o'z aksini topadi. Hikoya janrida badiiy umumlashtirish, psixologik tahlil, kompozitsion yaxlitlik singari poetik xususiyatlar alohida ahamiyat kasb etadi. Yozuvchining individual uslubi esa mazkur xususiyatlarning o'zaro aloqadorligi, ularni tanlash hamda badiiy-estetik maqsadga muvofiq tarzda

qo'llash konsepsiyalari orqali yuzaga chiqadi. Shu nuqtayi nazardan uslubni faqat muallifning o'ziga xos ifoda shakli sifatida emas, balki uning estetik pozitsiyasi, badiiy tafakkuri va voqelikni talqin qilish usullarini jamlovchi murakkab poetik hosila tarzida baholash mumkin. Ushbu fikrlarimizni Sobir O'narning "Kunsuluvning sirli xatlari" nomli hikoyasidan olingan ushbu parcha bilan davom ettiramiz.

"Emishki, otasi borib Xolnazarga: "Baxting bog'lanib yuraverasanmi, boshqa sochi uzuni yo'qmi?" deganmish. Xolnazar esa unsizgina yig'lagan emish, yig'layverib o'zini, butun olamni unutib qo'ygan emish. O'sha kuni yaylovdan ham kech qaytgan emish... Jamshid buni kechqurun oyisining og'zidan eshitdi. "Umrlari hazon bo'layotir, – deya qo'shimcha qildi oyisi ham. Akamning kuyib-pishganicha bor-da, axir. Bo'lak turmush qurishsa o'nglanib ketisharmidi. Kunsuluv ham cho'p bo'lib yurmasdi..." "Tirnoqqa zor odam mehrga ham zor bo'lishi kerak ekanda, Xolnazar!..." "Kimni ayblay, Kunsuluv?" "Oqko'ngilsiz. Yana ayriliq vaqti yetganida ko'ngli bo'shlik qilyapsiz. Otangiz ham ketdi. Urishib ajrashsak, bunday og'ir bo'lmasdi". "Kunsuluv, men aybdorman-ku..." "Unday demang! Doim shunday deysiz... Ishga kechikmang yana. Yomg'ir yog'armish, radiol aytdi... Men sizga ko'rinmay ketaman". "Ketar chog'ingda buncha mehribon bo'lma, Kunsuluv".

"...Siz ketavering, ana quyosh chiqyapti. Men akamning o'g'lini kutaman. Keyin... Ha, aytgancha, qalinroq kiyining. Yomg'irda ivib, voy, buyragim, deb qolmang yana. Buyragim deb..." "Xayr, mening borlig'im, Xolnazarim! Xayr, Hushtakchi bola! Hali siz maktabdan qaytib kelasiz, mana shu xatni o'qiysiz. Ha-ya, endi ismingizni aytsam ham bo'laveradi. Xayr, Jamshidjon!.. Mening borim – Xolnazar edi, sevgan yorim Xolnazar edi. Usiz ko'rgan kunim – kunmi? Siz menga Hasan-Husanni quching degan edingiz. Hasan-Husanni qayerdan topay, Jamshidjon?!" [3].

Yuqoridagi parchada hikoyaning syujet dinamikasi Kunsuluv va Xolnazar o'rtasida kechuvchi munosabatlarning keskinlashuvi va ayriliq holatining yuzaga chiqishi bilan bog'liq ravishda takomillashadi. Badiiy parchaning dastlabki qismida Xolnazarning "unsizgina yig'lagan", "yig'layverib o'zini, butun olamini unutib yuborgan" holati obrazning ruhiy iztiroblarini bevosita ifodalovchi psixologik detal sifatida ifodalanadi. Qahramonning yaylovdan uyga kech qaytib kelish holati esa uning ruhiy holati bilan tashqi makon orasidagi munosabatni yuzaga chiqaradi. Yaylov xronotopi bu yerda faqatgina voqealar sodir bo'ladigan makon emas, balki Xolnazarning yolg'izligi va azoblarini kuchaytiruvchi xronotopik makon funksiyasini bajaradi. Kunsuluv obrazi orqali ham makonning ruhiy mazmun kasb etish holati davom etadi. Uning "Men sizga ko'rinmay ketaman" degan so'zlari real makon, ya'ni uydan ketaman degan mazmunni ifodalashidan tashqari, sevishgan qalblar o'rtasidagi ayriliqning muqarrar ekanligini anglatuvchi semantik nuqtaga aylanadi. Muallifning o'ziga xos uslubi qahramonlar o'rtasidagi dialoglar vositasida yuzaga chiqadi. Jumladan, Kunsuluvning Xolnazarga "qalinroq kiyining" deya murojaat qilishi uning ayriliq oldidan ham yoriga nisbatan g'amxo'rlik qilayotganini ko'rsatadi. Shu bois dialog syujet voqealari rivojini oldinga siljitish bilan bir qatorda, obrazning ruhiy holatini ochuvchi asosiy vositalardan biri sifatida xizmat qiladi.

Bu yerda vaqtning badiiy vazifasi ham alohida ahamiyatga ega. "Siz ketavering, ana quyosh chiqyapti" jumlası tabiiy vaqt almashinuvini, ya'ni quyoshning chiqishini anglatadi. Ushbu tabiiy jarayon syujet voqealari bilan o'zaro tutashadi. Yangi tongning boshlanishi Kunsuluv hamda Xolnazar o'rtasida mavjud bo'lgan munosabatlarning xotima bosqichiga to'g'ri keladi. Tashqi dunyoda kun boshlanayotgan bir vaqtda qahramonlarning shaxsiy hayotida muhim munosabat yakuniga yetmoqda. Shu tariqa, vaqtning obyektiv oqimi bilan obrazning subyektiv ruhiy vaqti o'rtasida kontrast semantik munosabat vujudga keladi. Kunsuluvning "Hali maktabdan qaytib kelasiz, mana shu xatni o'qiysiz" jumlasida vaqt yanada murakkablashadi hamda hozirgi voqea kelajakdagi voqea bilan bog'lanadi. Xat detali ushbu o'rinda syujetning turli vaqt nuqtalarini birlashtiruvchi vosita vazifasini bajaradi. Kelajakda Jamshid tomonidan o'qilishi ko'zda tutilgan xat orqali Kunsuluvning hozirgi vaqtdagi to'liq ifodalanmagan kechinmalari aks ettiriladi. Natijada ushbu epizodda vaqt bir chiziqli, ya'ni ketma-ket tartibda emas, balki hozirgi va kelasi zamonning uzviy bog'lanishi asosida tashkil etiladi.

"Usiz ko'rgan kunim – kunmi?" mazmunidagi alamli savol esa vaqtning qahramon ruhiyatida subyektivlashgan holatini ifodalaydi. Vaqt mazmuni Kunsuluv uchun Xolnazar bilan bog'langan. Natijada undan ayrilgan holda "kun"ning o'zi ham Kunsuluv uchun qimmatini yo'qotadi. Ushbu jarayon badiiy xronotopning obraz ruhiyati bilan uzviy aloqadorligini ko'rsatib beradi.

XULOSA

Zamonaviy o'zbek hikoyachiligida ijodkor uslubi va badiiy xronotop masalalarini o'rganish natijasida mazkur tushunchalar hikoya janrining poetik xususiyatlarini belgilovchi, asarning g'oyaviy-badiiy yaxlitligi va estetik ta'sirchanligini ta'minlovchi muhim omillar ekanligi ravshan bo'ladi. Ijodkorning individual uslubi uning voqelikni badiiy idrok etishi, hayotiy materialni saralash tamoyillari, obrazlar tizimini shakllantirish usullaridan foydalanish xususiyatlari orqali namoyon bo'ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Бахтин М.М. Вопросы литературы и эстетики: Исследования разных лет. – М.: Художественная литература, 1975. – 504 с.

[2] Jo'raqulov U. M.M. Baxtin. Romanda zamon va xronotop shakllari. – Toshkent: Akademnashr, 2015. – 288 b.

[3] O'nar S. Kunsuluvning sirli xatlari // Hikoyalar to'plami. – Toshkent: Sahhof nashriyoti, 2024. – 128 b.

[4] Ziyonet axborot-ta'lim tarmog'i kutubxonasi. <https://library.ziyonet.uz>

[5] <https://kh-davron.uz>

RAQAMLI TEXNOLOGIYALARNI TA'LIM TIZIMIGA JORIY ETISH: ZAMONAVIY IMKONIYATLAR VA ISTIQBOLLAR

Mardonov Akobir

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, O'zbekiston

E-mail: mardonovakobir929@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada raqamli texnologiyalarni zamonaviy ta'lim tizimiga joriy etishning ahamiyati, imkoniyatlari va mavjud muammolari tahlil qilinadi. Ta'lim jarayonida elektron ta'lim platformalari, sun'iy intellekt, masofaviy ta'lim, raqamli o'quv resurslari, multimedia texnologiyalari va interaktiv vositalardan foydalanishning pedagogik samaradorligi yoritilgan. Raqamli texnologiyalardan oqilona foydalanish o'quvchilarning mustaqil ta'lim olish, axborotni izlash va tahlil qilish, ijodiy fikrlash hamda zamonaviy kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirishga xizmat qilishi asoslangan. Shuningdek, raqamlashtirish jarayonida raqamli tengsizlik, pedagoglarning raqamli kompetensiyasi, axborot xavfsizligi va ta'lim mazmunini raqamli muhitga moslashtirish kabi muammolar ko'rib chiqilgan. Maqolada ta'lim tizimini raqamlashtirish samaradorligini oshirish bo'yicha amaliy takliflar ishlab chiqilgan.

Kalit so'zlar: raqamli texnologiyalar, raqamli ta'lim, ta'lim tizimi, sun'iy intellekt, masofaviy ta'lim, elektron ta'lim, raqamli kompetensiya, innovatsion ta'lim.

Аннотация. В статье анализируются значение, возможности и проблемы внедрения цифровых технологий в современную систему образования. Рассматривается использование электронных образовательных платформ, искусственного интеллекта, дистанционного обучения, цифровых образовательных ресурсов, мультимедийных и интерактивных технологий. Обосновано, что рациональное использование цифровых технологий способствует развитию самостоятельности учащихся, навыков поиска и анализа информации, творческого мышления и современных профессиональных компетенций. Также

рассматриваются проблемы цифрового неравенства, цифровой компетентности педагогов, информационной безопасности и адаптации содержания образования к цифровой среде.

Ключевые слова: цифровые технологии, цифровое образование, система образования, искусственный интеллект, дистанционное обучение, электронное обучение, цифровая компетентность.

Abstract. This article analyzes the importance, opportunities and challenges of implementing digital technologies in the modern education system. It examines the use of electronic learning platforms, artificial intelligence, distance learning, digital educational resources, multimedia and interactive technologies. The effective use of digital technologies contributes to the development of students' independent learning skills, information search and analysis abilities, creative thinking and modern professional competencies. The article also discusses digital inequality, teachers' digital competence, information security and the adaptation of educational content to the digital environment. Practical recommendations for improving the effectiveness of digital transformation in education are proposed.

Keywords: digital technologies, digital education, education system, artificial intelligence, distance learning, e-learning, digital competence, innovative education.

KIRISH

Bugungi kunda raqamli texnologiyalarning jadal rivojlanishi jamiyatning barcha sohalari qatori ta'lim tizimiga ham sezilarli ta'sir ko'rsatmoqda. Internet, mobil qurilmalar, elektron ta'lim platformalari, multimedia vositalari va sun'iy intellekt texnologiyalarining rivojlanishi ta'lim olishning an'anaviy shakllarini takomillashtirish uchun yangi imkoniyatlar yaratmoqda.

An'anaviy ta'lim modelida o'qituvchi asosiy axborot manbai sifatida namoyon bo'lsa, raqamli ta'lim muhitida o'quvchi turli elektron resurslardan mustaqil foydalanish imkoniyatiga ega bo'ladi. Bu esa ta'lim jarayonini shaxsga yo'naltirilgan, interaktiv va moslashuvchan shaklga olib keladi.

Raqamli texnologiyalarni ta'limga joriy etishdan asosiy maqsad faqat kompyuter yoki internetdan foydalanishni kengaytirish emas, balki ta'lim sifatini oshirish, o'quv jarayonini individuallashtirish, ta'lim resurslaridan samarali foydalanish va zamonaviy kompetensiyalarni shakllantirishdan iborat.

ASOSIY QISM

Raqamli texnologiyalar ta'lim jarayonining mazmuni va tashkil etilishiga bir necha yo'nalishda ta'sir ko'rsatadi. Birinchidan, elektron ta'lim platformalari orqali o'quv materiallarini istalgan vaqt va joyda olish imkoniyati paydo bo'ladi. Ikkinchidan, multimedia vositalari murakkab mavzularni vizual va interaktiv shaklda tushuntirish imkonini beradi. Uchinchidan, raqamli baholash tizimlari o'quvchilarning bilimni tezkor aniqlash va natijalarni tahlil qilishga yordam beradi.

Masofaviy ta'lim texnologiyalari ham raqamli ta'limning muhim tarkibiy qismidir. Ular geografik jihatdan ta'lim muassasasidan uzoqda bo'lgan shaxslar uchun ta'lim olish imkoniyatini kengaytiradi. Videodarslar, elektron kitoblar, virtual topshiriqlar va onlayn testlardan foydalanish ta'lim jarayonining uzluksizligini ta'minlashga yordam beradi.

Bugungi raqamli ta'limning istiqbolli yo'nalishlaridan biri sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalanishdir. Sun'iy intellekt yordamida o'quvchilarning bilim darajasini tahlil qilish, individual topshiriqlar yaratish, ta'lim materiallarini moslashtirish va o'qituvchiga qo'shimcha metodik yordam ko'rsatish mumkin. Shu bilan birga, sun'iy intellektdan foydalanishda akademik halollik, shaxsiy ma'lumotlarni himoya qilish va o'quvchining mustaqil fikrlash qobiliyatini saqlab qolish masalalariga alohida e'tibor berish zarur.

Raqamli texnologiyalar o'qituvchining rolini ham o'zgartirmoqda. Zamonaviy pedagog faqat bilim beruvchi emas, balki o'quv jarayonini tashkil etuvchi, raqamli resurslarni tanlovchi, o'quvchini yo'naltiruvchi va uning mustaqil fikrlashini rivojlantiruvchi mutaxassis sifatida faoliyat yuritishi lozim.

Biroq ta'limni raqamlashtirish jarayonida ayrim muammolar ham mavjud. Jumladan, barcha ta'lim muassasalarida texnik infratuzilmaning bir xil darajada rivojlanmaganligi, internet sifati, zamonaviy qurilmalardan foydalanish imkoniyatining cheklanganligi va pedagoglarning raqamli kompetensiyasi yetarli darajada bo'lmasligi raqamli transformatsiyaning samaradorligiga ta'sir qilishi mumkin.

Shu sababli ta'lim tizimini raqamlashtirish faqat texnik vositalar bilan ta'minlash bilan cheklanmasligi kerak. Bu jarayon pedagoglarning malakasini oshirish, elektron o'quv materiallarini ishlab chiqish, ta'lim platformalaridan foydalanish metodikasini takomillashtirish va axborot xavfsizligini ta'minlash bilan birgalikda olib borilishi lozim.

Raqamli texnologiyalarning ta'limdagi asosiy imkoniyatlari

Elektron ta'lim — o'quv materiallaridan masofadan foydalanish imkonini beradi.

Sun'iy intellekt — individual ta'lim, tahlil va pedagogik jarayonni qo'llab-quvvatlash imkonini beradi.

Multimedia — murakkab mavzularni vizual va interaktiv shaklda tushuntirishga yordam beradi.

Onlayn testlar — bilimni tezkor baholash va natijalarni tahlil qilish imkonini beradi.

Virtual platformalar — masofaviy hamkorlik va muloqotni kuchaytiradi.

Elektron kutubxonalar — katta hajmdagi ilmiy va o'quv resurslaridan foydalanishni osonlashtiradi.

Mobil ta'lim — ta'lim olishni vaqt va makon jihatidan yanada moslashuvchan qiladi.

Amaliy takliflar

Raqamli texnologiyalarni samarali joriy etish uchun ta'lim muassasalarining texnik bazasini rivojlantirish zarur. Bunda yuqori tezlikdagi internet, zamonaviy kompyuter va mobil qurilmalar, elektron ta'lim platformalari hamda raqamli o'quv kontentiga bosqichma-bosqich investitsiya kiritish muhim.

Ikkinchi muhim yo'nalish — pedagoglarning raqamli kompetensiyasini muntazam rivojlantirishdir. O'qituvchilar uchun amaliy treninglar tashkil etish, sun'iy intellektidan mas'uliyatli foydalanish, raqamli baholash va interaktiv metodikalarni o'rgatish ta'lim sifatiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi.

Bundan tashqari, o'quvchilarning axborot savodxonligini oshirish zarur. Ular internetdagi ma'lumotlarning ishonchililigini baholash, manbalarni tekshirish, shaxsiy ma'lumotlarni himoya qilish va akademik halollik tamoyillariga rioya qilish ko'nikmalariga ega bo'lishi kerak.

XULOSA

Xulosa qilib aytganda, raqamli texnologiyalarni ta'lim tizimiga joriy etish zamonaviy ta'limni rivojlantirishning muhim yo'nalishlaridan biridir. Raqamli vositalardan to'g'ri va maqsadli foydalanish ta'limning qulayligi, interaktivligi va samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Ta'limni raqamlashtirishning samaradorligi texnologiyaning mavjudligi bilangina emas, balki undan pedagogik jihatdan to'g'ri foydalanish bilan belgilanadi. Shu sababli raqamli infratuzilmani rivojlantirish, pedagoglarning raqamli kompetensiyasini oshirish, zamonaviy elektron resurslarni yaratish va axborot xavfsizligini ta'minlashga kompleks yondashish zarur.

Kelajakda sun'iy intellekt, adaptiv ta'lim tizimlari, virtual va kengaytirilgan reallik hamda katta ma'lumotlar texnologiyalarining ta'lim jarayoniga yanada keng kirib kelishi kutiladi. Ushbu texnologiyalardan oqilona foydalanish O'zbekistonda zamonaviy, innovatsion va raqobatbardosh ta'lim tizimini shakllantirishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] O‘zbekiston Respublikasi. “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonun.
- [2] UNESCO. Guidance for Generative AI in Education and Research. Paris: UNESCO.
- [3] UNESCO. Global Education Monitoring Report. Paris: UNESCO.
- [4] OECD. Digital Education Outlook. OECD Publishing.
- [5] World Bank. Realizing the Future of Learning: From Learning Poverty to Learning for Everyone, Everywhere. World Bank.
- [6] European Commission. Digital Education Action Plan 2021–2027. Brussels.

THE IMPACT OF DIGITAL RESOURCES ON THE DEVELOPMENT OF EDUCATORS’ DIGITAL LITERACY

Author: Muxamadiyeva Feruza Ishnazarovna

PhD in Pedagogy

Nizomiy Tashkent State Pedagogical University

Email: feruzanur1982@gmail.com

Abstract. *This article examines the role of digital resources in developing teachers’ digital competence in higher education. In the context of rapid digital transformation, the use of modern educational technologies has become essential for improving teaching quality. The study analyzes widely used platforms such as Google Classroom, Moodle, and Canva, highlighting their effectiveness in organizing the learning process. The research is based on analytical and observational methods. The findings indicate that digital tools significantly enhance teachers’ professional skills, support interactive teaching, and improve student engagement. The study concludes that the systematic integration of digital resources contributes to the overall effectiveness of the educational process.*

Keywords: *digital competence, teacher competence, digital resources, higher education, ICT, e-learning.*

INTRODUCTION

The issue of developing teachers’ digital competence has been widely studied in modern pedagogical research. According to the European Commission, digital competence is defined as the confident, critical, and responsible use of digital technologies for learning, teaching, and professional development (European Commission, 2017). The DigCompEdu framework identifies several key areas of teachers’ digital competence, including professional engagement, digital resources, teaching and learning, assessment, and empowering learners.

Christine Redecker emphasizes that teachers must not only use digital tools but also integrate them pedagogically to improve learning outcomes. Similarly, the UNESCO ICT Competency Framework for Teachers highlights the importance of digital literacy, knowledge creation, and the effective use of technology in education (UNESCO, 2018).

Research by Tony Bates (2015) shows that digital technologies significantly enhance teaching effectiveness when used systematically. In addition, Neil Selwyn (2016) points out that digital education requires not only technical skills but also critical thinking and ethical use of information.

The TPACK Framework developed by Punya Mishra and Matthew Koehler (2006) explains the integration of technology, pedagogy, and content knowledge in teaching. This model is widely used to evaluate teachers’ readiness to use digital tools effectively.

Overall, the analysis of scientific literature shows that digital resources play a crucial role in developing teachers' competencies and improving the quality of education in higher education institutions.

In conclusion, the development of teachers' digital competence is a key factor in improving the quality and effectiveness of modern education. The study has shown that the use of digital resources such as learning management systems, interactive platforms, and multimedia tools significantly enhances teachers' professional skills and supports innovative teaching practices.

The findings confirm that digital tools not only facilitate the organization of the educational process but also increase student engagement and promote active learning. However, the effective integration of digital technologies requires continuous professional development, methodological support, and institutional readiness. Therefore, it is essential to create favorable conditions for the systematic implementation of digital resources in higher education. This includes providing training programs for teachers, improving digital infrastructure, and developing methodological guidelines. Future research should focus on designing comprehensive models for developing digital competence and evaluating their effectiveness in different educational contexts.

METHODOLOGY

The research is based on a combination of qualitative methods, including the analysis of scientific literature and observation of teaching practices. The study also incorporates practical implementation of digital tools in the educational process.

In particular, the author applied Google Classroom as a learning management system to organize course materials, assignments, and communication with students. As shown in Figure 1, the platform was used to structure the learning process and ensure continuous interaction between the teacher and students.

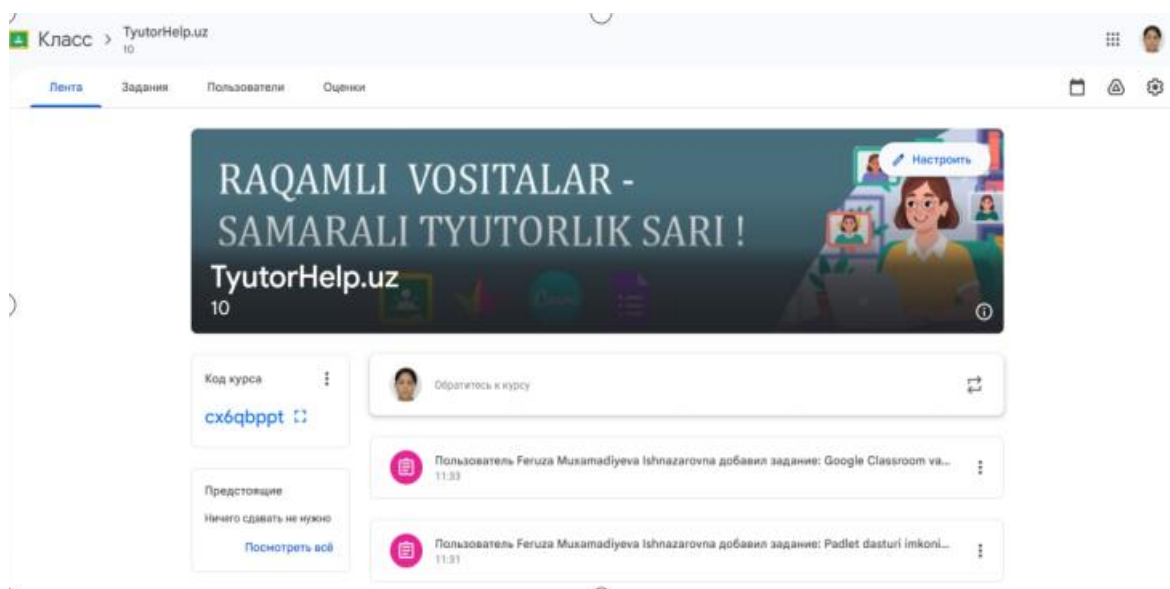


Figure 1. Learning process organization using Google Classroom

In addition, online teaching sessions were conducted using video conferencing tools, which enabled real-time interaction and collaborative learning. As illustrated in Figure 2, students actively participated in online lessons, discussions, and presentations.



Figure 2. Online learning process using video conferencing tools

The use of these digital platforms allowed for effective integration of technology into teaching practice and provided valuable insights into the development of teachers' digital competence. In particular, the implementation of Google Classroom facilitated the systematic organization of the learning process, including the distribution of educational materials, assignment management, and continuous communication between the teacher and students (see Figure 1).

The results of the study indicate that the integration of digital resources significantly improved the effectiveness of the educational process. The use of Google Classroom enabled better organization of educational materials, timely feedback, and efficient monitoring of students' progress. As a result, students demonstrated increased responsibility for completing tasks and improved independent learning skills.

Furthermore, online learning sessions increased student engagement and participation. Based on practical observations, student activity during virtual classes increased noticeably compared to traditional formats. Students demonstrated higher levels of involvement during online sessions, as they were able to interact directly with the teacher and their peers in a dynamic digital environment (see Figure 2).

Figure 1 illustrates the structured organization of the learning process using a digital platform, while Figure 2 demonstrates active student participation and interaction during online learning sessions. These findings confirm that digital tools not only facilitate the management of the educational process but also create opportunities for more interactive, flexible, and student-centered learning.

The practical application of these tools confirmed that digital technologies enhance communication, support collaborative learning, and improve the overall quality of education. Overall, the integration of digital resources into teaching practice proved to be effective in developing teachers' digital competence and improving learning outcomes in higher education.

In general, the study confirms that the integration of digital resources into the educational process plays a crucial role in the development of teachers' digital competence in higher education. The effective use of modern digital tools and platforms not only improves the organization and management of the learning process but also enhances student engagement, interaction, and independent learning.

The practical implementation of platforms such as Google Classroom, Moodle, and other digital tools has demonstrated their effectiveness in supporting innovative teaching methods and creating a more flexible and student-centered learning environment. The findings indicate that digital technologies contribute to the improvement of teaching quality and the development of professional skills among teachers.

At the same time, the successful application of digital resources requires continuous professional development, methodological support, and appropriate digital infrastructure. Therefore, it is essential for higher education institutions to create favorable conditions for the systematic use of digital technologies.

Overall, the study highlights the importance of integrating digital resources into teaching practice and provides a foundation for further research aimed at improving digital competence and educational outcomes.

REFERENCES:

- [1] European Commission. (2017). *DigComp 2.1: The Digital Competence Framework for Citizens*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- [2] European Commission. (2018). *DigComp into Action: Get inspired, make it happen*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- [3] Redecker, C. (2017). *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- [4] UNESCO. (2018). *ICT Competency Framework for Teachers*. Paris: UNESCO.
- [5] Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054.
- [6] Muxamadiyeva, F. I. (2024). Digital resources for developing information competence of tutors. *Science and Innovation International Scientific Journal*, 3(5), 220–222.
- [7] Muxamadiyeva, F. I. (2025). The role and importance of digital educational resources in organizing tutor activities. *Bulletin News in New Science Society International Scientific Journal*, 2(5), 294–297. Retrieved from <https://newarticle.ru/index.php/bnss>
- [8] Muxamadiyeva, F. I. (2024). Tyutorlarning axborot kompetentligini rivojlantirishda masofaviy kurslarning ahamiyati. *Zamonaviy fizika va astronomiyaning muammolari, yechimlari, o'qitish uslublari* xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari. Toshkent: TDPU, 437–439.
- [9] Muxamadiyeva, F. I. (2024). Raqamli ta'lim vositalarining tyutorlar axborot kompetentligini rivojlantirishdagi o'rni va roli. *Ta'lim tizimida innovatsion va raqamli texnologiyalarni qo'llash masalalari* xalqaro ilmiy-amaliy anjumani materiallari. Toshkent: TDPU, 190–193.
- [10] Muxamadiyeva, F. I. (2024). Tyutorlarning axborot kompetentligini rivojlantirishda Google Classroom imkoniyatlari. *Ta'limda raqamli transformatsiya: holati va istiqbollari* respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari. Toshkent: TDPU, 999–1001.

OLIIY TA'LIM MUASSASALARI TYUTORLARINING RAQAMLI-AXBOROT KOMPETENTLIGINI BAHOLASHNING PEDAGOGIK MEXANIZMLARINI TAKOMILLASHTIRISH

Muxamadiyeva Feruza Ishnazarovna

Pedagogika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

E-mail: feruzanur1982@gmail.com

АННОТАЦИЯ. В статье освещены теоретические и методические основы оценки цифрово-информационной компетентности тьюторов высших образовательных учреждений. В условиях цифровой трансформации образования проанализирована роль цифровой компетентности в повышении эффективности деятельности тьюторов. На основе международных подходов DigCompEdu и UNESCO ICT Competency Framework разработана система критериев и индикаторов оценки цифрово-информационной компетентности тьюторов. Предложена модель оценки, включающая мотивационно-

когнитивный, деятельностно-практический и рефлексивно-стратегический компоненты. В исследовании приняли участие 172 тьютора из трех высших образовательных учреждений. Результаты экспериментальной работы подтвердили эффективность предложенной модели и диагностических индикаторов.

Ключевые слова: тьютор, цифровая компетентность, информационная компетентность, цифровая трансформация, критерии оценки, индикаторы, DigCompEdu, высшее образование.

ABSTRACT. This article discusses the theoretical and methodological foundations for assessing the digital-information competence of tutors in higher education institutions. The role of digital competence in improving the effectiveness of tutor activities under conditions of educational digital transformation is analyzed. Based on the DigCompEdu framework and UNESCO ICT Competency Framework, a system of criteria and indicators for assessing tutors' digital-information competence was developed. The proposed assessment model includes motivational-cognitive, practical-operational, and reflective-strategic components. The study involved 172 tutors from three higher education institutions. The experimental results confirmed the effectiveness of the proposed model and diagnostic indicators.

Keywords: tutor, digital competence, information competence, digital transformation, assessment criteria, indicators, DigCompEdu, higher education.

KIRISH

Bugungi kunda raqamli transformatsiya jarayonlari ta'lim tizimining barcha bo'g'inlariga faol kirib bormoqda. Axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining rivojlanishi, masofaviy ta'lim platformalarining keng qo'llanilishi hamda sun'iy intellekt vositalarining ta'lim jarayoniga joriy etilishi pedagog xodimlardan yangi kompetensiyalarni talab etmoqda. Ayniqsa, oliy ta'lim muassasalarida faoliyat yuritayotgan tyutorlarning raqamli-axborot kompetentligini rivojlantirish va baholash masalasi dolzarb ahamiyat kasb etmoqda.

Tyutor talabaning akademik, ijtimoiy va kasbiy rivojlanishini qo'llab-quvvatlovchi mutaxassis sifatida ta'lim jarayonida muhim o'rin egallaydi. Zamonaviy tyutor nafaqat pedagogik va kommunikativ kompetensiyalarga, balki raqamli muhitda samarali faoliyat yuritish ko'nikmalariga ham ega bo'lishi lozim. Shu sababli tyutorlarning raqamli-axborot kompetentligini baholash, uning tarkibiy qismlarini aniqlash hamda rivojlanish darajasini monitoring qilish ta'lim sifatini oshirishning muhim omillaridan biri hisoblanadi.

Jahon amaliyotida pedagoglarning raqamli kompetentligini baholash bo'yicha DigCompEdu, UNESCO ICT Competency Framework for Teachers, TPACK kabi konseptual yondashuvlar ishlab chiqilgan. Ushbu yondashuvlarda pedagoglarning raqamli vositalardan foydalanish, elektron ta'lim resurslarini yaratish, raqamli kommunikatsiyani tashkil etish va ta'lim jarayonini boshqarish kompetensiyalari asosiy mezon sifatida qaraladi. Biroq mazkur yondashuvlar bevosita tyutorlik faoliyatining o'ziga xos jihatlarini to'liq qamrab olmaydi.

Mamlakatimizda oliy ta'lim tizimini raqamlashtirish bo'yicha amalga oshirilayotgan islohotlar tyutorlarning kasbiy faoliyatiga ham yangi talablarni qo'yimoqda. Tyutorlarning talabalarga akademik maslahat berish, ta'lim jarayonini muvofiqlashtirish, raqamli platformalarda ishlash va talabalar faoliyatini monitoring qilishdagi roli tobora ortib bormoqda. Shu nuqtayi nazardan tyutorlarning raqamli-axborot kompetentligini baholashning ilmiy asoslangan mezonlari va indikatorlarini ishlab chiqish muhim ilmiy-pedagogik vazifa hisoblanadi.

Mazkur tadqiqotning maqsadi oliy ta'lim muassasalari tyutorlarining raqamli-axborot kompetentligini baholash mezonlari va indikatorlarini takomillashtirish hamda ularning samaradorligini tajriba-sinov ishlari asosida asoslashdan iborat.

Tadqiqot vazifalari sifatida:

1. Tyutorlarning raqamli-axborot kompetentligi mazmunini aniqlash;
2. Xalqaro va milliy tajribalarni tahlil qilish;
3. Baholash mezonlari va indikatorlarini ishlab chiqish;
4. Taklif etilgan modelning samaradorligini tajriba-sinov ishlari asosida aniqlash vazifalari belgilandi.

Raqamli transformatsiya sharoitida pedagog va tyutorlarning raqamli kompetentligini rivojlantirish masalasi xalqaro miqyosda dolzarb ilmiy yo'nalishlardan biriga aylangan. So'nggi yillarda pedagoglarning raqamli kompetentligini baholash va rivojlantirishga qaratilgan qator konseptual yondashuvlar ishlab chiqilgan bo'lib, ular orasida DigCompEdu, UNESCO ICT Competency Framework for Teachers hamda TPACK modeli alohida o'rin tutadi.

Yevropa Komissiyasi tomonidan ishlab chiqilgan DigCompEdu (European Framework for the Digital Competence of Educators) modeli pedagoglarning raqamli kompetentligini baholashning eng mukammal tizimlaridan biri hisoblanadi. Mazkur modelda pedagoglarning kasbiy faoliyati bilan bog'liq bo'lgan oltita asosiy yo'nalish va yigirma ikkita kompetensiya ajratilgan. Ushbu kompetensiyalar pedagoglarning raqamli texnologiyalardan foydalanish, elektron ta'lim resurslarini yaratish, o'quv jarayonini tashkil etish, baholash hamda ta'lim oluvchilarning raqamli kompetentligini rivojlantirish imkoniyatlarini qamrab oladi.

UNESCO tomonidan ishlab chiqilgan ICT Competency Framework for Teachers konsepsiyasida pedagoglarning axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalanish bo'yicha bilim, ko'nikma va kompetensiyalarini rivojlantirish bosqichlari tavsiflangan. Ushbu model pedagogning texnologik tayyorgarligi bilan bir qatorda, AKT vositalarini ta'lim jarayoniga integratsiya qilish qobiliyatini ham muhim omil sifatida baholaydi.

Mishra va Koehler tomonidan taklif etilgan TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) modeli pedagog faoliyatida texnologik, pedagogik va predmetga oid bilimlarning integratsiyasiga asoslanadi. Tadqiqotchilar samarali pedagogik faoliyat texnologik, pedagogik va mazmuniy bilimlarning o'zaro uyg'unlashuvi natijasida yuzaga kelishini ta'kidlaydilar. Mazkur model bugungi kunda pedagoglarning raqamli kompetentligini baholash bo'yicha eng ko'p qo'llaniladigan nazariy yondashuvlardan biri hisoblanadi.

Raqamli kompetentlik muammolari bo'yicha Siemens, Anderson, Luckin kabi xorijiy olimlar tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda ta'lim jarayonida raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt vositalaridan foydalanishning pedagogik imkoniyatlari keng tahlil qilingan. Xususan, Siemens konnektivizm nazariyasi orqali raqamli muhitda bilimlarni shakllantirish mexanizmlarini izohlab bergan bo'lsa, Anderson masofaviy ta'lim sharoitida elektron ta'lim muhitining samaradorligini asoslab bergan.

Mamlakatimiz olimlari tomonidan ham pedagoglarning axborot va raqamli kompetentligini rivojlantirish masalalari keng tadqiq etilmoqda. Jumladan, Mavlonov, Adashboyev, Shomurodov va boshqa tadqiqotchilar tomonidan raqamli ta'lim resurslaridan foydalanishning didaktik imkoniyatlari, elektron ta'lim muhitini tashkil etish hamda pedagoglarning axborot kompetentligini rivojlantirish metodikasi bo'yicha ilmiy izlanishlar olib borilgan.

Shuningdek, tyutorlarning axborot kompetentligini rivojlantirish muammolari bo'yicha olib borilgan tadqiqotlarda raqamli resurslar, elektron portfoliolar, masofaviy ta'lim texnologiyalari va sun'iy intellekt vositalaridan foydalanishning samaradorligi asoslab berilgan. Biroq mavjud tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, oliy ta'lim muassasalari tyutorlarining raqamli-axborot kompetentligini baholashning yagona mezonlari va diagnostik indikatorlari yetarli darajada ishlab chiqilmagan.

Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, tyutorlarning raqamli-axborot kompetentligini baholashda xalqaro tajribalarni milliy ta'lim tizimi xususiyatlariga moslashtirish zarur. Shu sababli mazkur tadqiqotda DigCompEdu va UNESCO konsepsiyalari asosida tyutorlarning kasbiy faoliyatiga moslashtirilgan baholash mezonlari va indikatorlari tizimi ishlab chiqildi hamda uning samaradorligi tajriba-sinov ishlari asosida asoslandi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI VA METODLARI

Mazkur tadqiqot oliy ta'lim muassasalari tyutorlarining raqamli-axborot kompetentligini baholash mezonlari va indikatorlarini takomillashtirishga qaratilgan bo'lib, tadqiqot jarayonida nazariy, empirik hamda statistik metodlardan kompleks foydalanildi.

Tadqiqotning metodologik asosini kompetensiyaviy yondashuv, tizimli yondashuv, faoliyatga yo'naltirilgan yondashuv hamda raqamli ta'lim konsepsiyalari tashkil etdi. Shuningdek, Yevropa Komissiyasining DigCompEdu modeli, UNESCO ICT Competency Framework for Teachers hamda TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) konsepsiyalarining nazariy qoidalariga tayangan holda tyutorlarning raqamli-axborot kompetentligini baholash mezonlari ishlab chiqildi.

Tadqiqot davomida quyidagi ilmiy metodlardan foydalanildi:

- **Nazariy metodlar:** ilmiy-pedagogik, psixologik va metodik adabiyotlarni o'rganish, tahlil qilish, umumlashtirish va tizimlashtirish;
- **Empirik metodlar:** kuzatish, suhbat, so'rovnoma, ekspert baholash, diagnostik testlar va monitoring;
- **Matematik-statistik metodlar:** olingan natijalarni miqdoriy tahlil qilish, foiz ko'rsatkichlarini aniqlash va taqqoslash.

Tajriba-sinov ishlari O'zbekiston milliy pedagogika universiteti, Navoiy davlat universiteti hamda Guliston davlat pedagogika institutida amalga oshirildi. Tadqiqotda jami **172 nafar tyutor** ishtirok etdi. Tajriba-sinov jarayonida tyutorlarning raqamli-axborot kompetentligi uchta asosiy komponent asosida baholandi:

1. **Motivatsion-kognitiv komponent** – tyutorlarning raqamli texnologiyalardan foydalanishga bo'lgan qiziqishi, motivatsiyasi va nazariy bilimlarini aniqlashga qaratildi;
2. **Amaliy-faoliyatli komponent** – raqamli platformalar va axborot texnologiyalaridan foydalanish ko'nikmalarini baholashga xizmat qildi;
3. **Reflektiv-strategik komponent** – tyutorlarning o'z faoliyatini tahlil qilish, raqamli rivojlanish strategiyasini rejalashtirish va kasbiy refleksiyasini aniqlashga yo'naltirildi.

Tadqiqotning diagnostik vositalari sifatida maxsus ishlab chiqilgan so'rovnomalar, baholash kartalari, kuzatish varaqalari hamda ekspert baholash mezonlaridan foydalanildi. Baholash natijalari uch daraja asosida aniqlashtirildi:

- **Yuqori (ijodiy-faol) daraja** – raqamli texnologiyalardan mustaqil va samarali foydalana oladigan tyutorlar;
- **O'rta (produktli) daraja** – raqamli vositalardan foydalana oladigan, biroq ayrim hollarda metodik yordamga ehtiyoj sezadigan tyutorlar;
- **Past (reproduktiv) daraja** – raqamli texnologiyalarni qo'llash ko'nikmalari yetarli shakllanmagan tyutorlar.
- Tajriba-sinov ishlari uch bosqichda amalga oshirildi:
- **Diagnostik bosqich** – tyutorlarning dastlabki raqamli-axborot kompetentligini aniqlash;

- **Shakllantiruvchi bosqich** – ishlab chiqilgan metodika va raqamli resurslar asosida ta’limiy faoliyatni tashkil etish;
- **Nazorat bosqichi** – yakuniy natijalarni aniqlash va samaradorlikni baholash.

Olingan natijalar matematik-statistik usullar yordamida qayta ishlanib, tajriba boshidagi va tajriba yakunidagi ko‘rsatkichlar o‘zaro taqqoslandi. Natijalar ishlab chiqilgan mezonlar va indikatorlar tizimining tyutorlarning raqamli-axborot kompetentligini baholash hamda rivojlantirishdagi samaradorligini tasdiqladi.

Tajriba-sinov natijalari asosida shuni ta’kidlash mumkinki, tyutorlarning raqamli-axborot kompetentligini baholashning taklif etilgan mezonlari va indikatorlari ularning kasbiy tayyorgarlik darajasini aniqlashda, rivojlanish dinamikasini monitoring qilishda hamda malaka oshirish dasturlarini ishlab chiqishda samarali vosita bo‘lib xizmat qiladi.

Natijalar DigCompEdu va UNESCO ICT Competency Framework yondashuvlari bilan uyg‘unlikda bo‘lib, ishlab chiqilgan modelning ilmiy asoslanganligini va amaliy samaradorligini tasdiqlaydi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

- oliy ta’lim muassasalari tyutorlarining raqamli-axborot kompetentligi tuzilmasi aniqlashtirildi;
- tyutorlarning kasbiy faoliyat xususiyatlarini hisobga olgan holda motivatsion-kognitiv, amaliy-faoliyatli va reflektiv-strategik komponentlardan iborat baholash modeli ishlab chiqildi;
- tyutorlarning raqamli-axborot kompetentligini aniqlashga xizmat qiluvchi diagnostik mezonlar va indikatorlar tizimi taklif etildi;
- raqamli kompetentlik darajasini monitoring qilish va rivojlanish dinamikasini baholashning metodik mexanizmlari takomillashtirildi;
- raqamli ta’lim muhitida tyutorlar faoliyatini baholashning ilmiy-metodik asoslari ishlab chiqildi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati

Tadqiqot natijalaridan oliy ta’lim muassasalarida tyutorlarning raqamli-axborot kompetentligini baholash va rivojlantirish jarayonida foydalanish mumkin.

Taklif etilgan mezonlar va indikatorlar tizimi:

- tyutorlarning raqamli kompetentligini diagnostika qilish;
- malaka oshirish ehtiyojlarini aniqlash;
- individual rivojlanish dasturlarini ishlab chiqish;
- tyutorlar faoliyatini monitoring qilish;
- raqamli ta’lim muhitini takomillashtirish;
- oliy ta’lim muassasalarida sifat monitoringi tizimini tashkil etishda amaliy ahamiyat kasb etadi.

Shuningdek, tadqiqot natijalari tyutorlarning raqamli-axborot kompetentligini rivojlantirishga qaratilgan elektron kurslar, metodik tavsiyalar va diagnostik vositalarni ishlab chiqishda metodik asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

Raqamli transformatsiya sharoitida oliy ta’lim muassasalari tyutorlarining raqamli-axborot kompetentligi ta’lim sifati va samaradorligini ta’minlovchi muhim omillardan biri hisoblanadi. Shu

sababli tyutorlarning raqamli kompetentligini baholash va rivojlantirish masalalari zamonaviy pedagogik tadqiqotlarning ustuvor yo‘nalishlaridan biri sifatida namoyon bo‘lmoqda.

Tadqiqot davomida xalqaro tajribalar va ilmiy manbalar tahlili asosida tyutorlarning raqamli-axborot kompetentligini baholashning motivatsion-kognitiv, amaliy-faoliyatli va reflektiv-strategik komponentlardan iborat modeli ishlab chiqildi. Har bir komponent bo‘yicha diagnostik mezonlar va indikatorlar tizimi taklif etildi.

Olingan natijalar tyutorlarning raqamli-axborot kompetentligini baholash va rivojlantirishda taklif etilgan metodika samarali ekanligini ko‘rsatdi. Mazkur mezonlar va indikatorlar tizimi tyutorlarning kasbiy rivojlanishini monitoring qilish, malaka oshirish dasturlarini takomillashtirish hamda raqamli ta’lim muhitini rivojlantirishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “Raqamli O‘zbekiston – 2030” strategiyasi to‘g‘risidagi Farmoni. – Toshkent, 2020.

[2] O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi. Oliy ta’lim tizimini raqamlashtirish konsepsiyasi. – Toshkent, 2023.

[3] European Commission. DigComp 2.1: The Digital Competence Framework for Citizens. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017. – 48 p.

[4] Redecker C. European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017. – 95 p.

[5] European Commission. DigComp into Action: Get inspired, make it happen. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. – 132 p.

[6] UNESCO. ICT Competency Framework for Teachers. Version 3. – Paris: UNESCO, 2018. – 64 p.

[7] UNESCO. Guidance for Generative AI in Education and Research. – Paris: UNESCO, 2023. – 56 p.

[8] Mishra P., Koehler M.J. Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge // Teachers College Record. – 2006. – Vol.108. – №6. – P.1017–1054.

[9] Koehler M.J., Mishra P. Introducing TPACK // Handbook of Technological Pedagogical Content Knowledge for Educators. – New York: Routledge, 2008. – P.3–29.

[10] Siemens G. Connectivism: A Learning Theory for the Digital Age // International Journal of Instructional Technology and Distance Learning. – 2005. – Vol.2. – №1. – P.3–10.

[11] Anderson T. The Theory and Practice of Online Learning. – Edmonton: AU Press, 2008. – 485 p.

[12] Luckin R. AI for Schoolteachers. – London: Pearson Education, 2022. – 256 p.

[13] OpenAI. GPT-4 Technical Report // arXiv preprint arXiv:2303.08774. – 2023.

[14] Muxamadiyeva F.I. Digital resources for developing information competence of tutors // Science and Innovation International Scientific Journal. – 2024. – Vol.3. – №5. – P.220–222.

[15] Muxamadiyeva F.I. The Role and Importance of Digital Educational Resources in Organizing Tutor Activities // Bulletin News in New Science Society International Scientific Journal. – 2025. – Vol.2. – Issue 5. – P.294–297.

[16] Muxamadiyeva F.I. Oliy ta’lim muassasalari tyutorlarining raqamli-axborot kompetentligini rivojlantirish modeli va samaradorligi // Fizika, matematika va informatika. – 2026. – №2/1. – B.63–67.

[17] Adashboyev Sh.M. Pedagoglarning axborot kompetentligini rivojlantirish metodikasi. – Toshkent, 2022.

[18] Shomurodov Sh.Sh. Raqamli ta'lim resurslaridan foydalanishning pedagogik asoslari. – Toshkent, 2021.

[19] Mavlonov N.S. Ta'lim jarayonida raqamli texnologiyalarni qo'llashning didaktik imkoniyatlari // Pedagogik mahorat. – 2023. – №4. – B.45–51.

[20] Bezizvestnyx E.A. Elektron portfolio kak sredstvo formirovaniya IKT-kompetentnosti budushchix pedagogov-tyutorov. – Krasnoyarsk, 2019.

UZOQ MUDDATLI SHARTNOMALAR BILAN ISHLOVCHI SUBYEKTLARDA MHXS 15 STANDARTINI QO'LLASHNING FOYDA SIFATI VA LIKVIDLILIGIGA TA'SIRI

Qodirova Shaxodat Baxodir qizi

2-step Master's Degree Student,

National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural

Mechanization Engineers"

e-mail: abdulxayevashaxodat9@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu tadqiqotda uzoq muddatli shartnomalar bilan ishlovchi pudrat va axborot texnologiyalari korxonalarida MHXS 15 "Xaridorlar bilan shartnomalar bo'yicha tushum" standarti talablari asosida daromadlarni bosqichma-bosqich (over time) tan olishning hisobot foydasi va operatsion pul oqimlari mutanosibligiga ta'siri tahlil qilindi. Tadqiqotning empirik bazasi sifatida O'zbekistonda uzoq muddatli davlat va korporativ shartnomalarni bajargan 3 ta yirik subyektning 2022–2025 yillardagi moliyaviy hisobotlari ma'lumotlari olindi. Tahlil jarayonida kiritish xarajatlari usuli (input method) bo'yicha hisoblangan daromadlar dinamikasi hamda haqiqiy kassa tushumlari qiyosiy baholandi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, daromadni foiz hisobida davriy tan olish buxgalteriya foydasini tekislagan bo'lsa-da, barcha o'rganilgan subyektlarda aylanma aktivlar tarkibidagi shartnoma aktivlari hisobiga sof operatsion pul oqimining sof foydaga nisbati (CFO/NI) o'rtacha 0,54–0,68 gacha pasaygan. Tadqiqot yakunida oraliq schyot-fakturalar jadvalini sarflangan haqiqiy xarajatlarga bog'lash va likvidlik risklarini boshqarish bo'yicha amaliy takliflar ishlab chiqildi.

Kalit so'zlar: MHXS 15, uzoq muddatli shartnomalar, daromadlarni tan olish, operatsion pul oqimi, shartnoma aktivlari, likvidlik.

Аннотация. В данном исследовании проанализировано влияние метода поэтапного признания выручки (over time) по стандарту МСФО (IFRS) 15 «Выручка по договорам с покупателями» на соотношение бухгалтерской прибыли и операционных денежных потоков на предприятиях строительной сферы и информационных технологий с долгосрочными контрактами. Эмпирической базой послужили финансовые отчеты 3 крупных предприятий Республики Узбекистан за 2022–2025 годы. В ходе сравнительного анализа сопоставлена признанная выручка по затратному методу (input method) с фактическими денежными поступлениями. Результаты показали, что равномерное начисление прибыли по степени готовности привело к снижению соотношения чистого денежного потока к чистой прибыли (CFO/NI) до 0,54–0,68 из-за роста контрактных активов в структуре оборотного капитала. По итогам исследования предложены прикладные меры по синхронизации выставления промежуточных счетов с фактическими затратами и минимизации рисков ликвидности.

Ключевые слова: МСФО 15, долгосрочные контракты, признание выручки, операционный денежный поток, контрактные активы, ликвидность.

Abstract. This study examines the impact of the over-time revenue recognition method under IFRS 15 "Revenue from Contracts with Customers" on the balance between accounting profit and operating cash flows in construction and IT enterprises with long-term contracts. The empirical basis consists of financial statements from 3 large enterprises in Uzbekistan executing multi-year contracts during 2022–2025. Using the input method framework, recognized contract revenue was compared against actual operational cash inflows. The findings indicate that while over-time recognition smooths periodic accounting income, the accumulation of contract assets within current assets caused the operating cash flow to net income ratio (CFO/NI) to drop to 0.54–0.68. The paper concludes with practical measures for aligning interim milestone billing schedules with actual incurred costs and mitigating working capital constraints.

Keywords: IFRS 15, long-term contracts, revenue recognition, operating cash flow, contract assets, liquidity.

KIRISH

Zamonaviy buxgalteriya hisobi amaliyotida daromadlarni hisobga olish korxonaning moliyaviy natijalari, rentabelligi va likvidligini to'g'ri aks ettiruvchi asosiy omildir. O'zbekiston Respublikasida moliyaviy hisobotning xalqaro standartlariga (MHXS) to'liq o'tish sharoitida MHXS 15 "Xaridorlar bilan shartnomalar bo'yicha tushum" talablarini to'g'ri amaliyotga tatbiq etish dolzarb hisoblanadi.

Uzoq muddatli shartnomalar bilan ishlovchi infratuzilma qurilishi va AKT tizimlari integratsiyasi tarmoqlarida tushum loyiha to'liq topshirilganda emas, balki majburiyatlarning bajarilishiga qarab vaqt davomida (*over time*) tan olinadi. Biroq amaliyotda hisoblangan "qog'ozdagi" daromad bilan korxonaning bank hisob-raqamiga kelib tushayotgan real pul oqimlari (*Cash Flow*) o'rtasida jiddiy vaqt uzilishi vujudga kelmoqda. Mazkur tadqiqotning maqsadi — 3 ta yirik subyekt misolida MHXS 15 kiritish usuli qo'llanilganda daromad dinamikasi va likvidlik ko'rsatkichlari o'rtasidagi nomutanosiblikni empirik tahlil qilish va amaliy yechimlar ishlab chiqishdan iborat.

MATERIALLAR VA USULLAR

Tadqiqotning empirik asosi sifatida 2022–2025 yillarda uzoq muddatli shartnomalarni amalga oshirgan 3 ta korxonaning moliyaviy hisobotlari olindi:

"A" korxonasi — sanoat va fuqarolik obyektlari infratuzilma qurilishi pudratchisi;

"B" korxonasi — yo'l-muhandislik tarmoqlari qurilishi korxonasi;

"C" korxonasi — yirik korporativ ERP va axborot texnologiyalari loyihalari integratori.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

O'rganilgan 3 ta subyektning 2022–2025 yillardagi o'rtacha ko'rsatkichlari MHXS 15 bo'yicha hisoblangan daromadlar barqaror o'sayotganini ko'rsatdi. Biroq oraliq to'lovlarning kechikishi hisobiga aylanma mablag'lar tanqisligi shakllangan.

1-jadval. Tanlangan korxonalarning moliyaviy natijalari va pul oqimlari tahlili (2022–2025 yy. o'rtacha ko'rsatkichlari)

Korxona kodi va sohasi	Tan olingan yillik o'rtacha tushum (mlrd so'm)	Sof buxgalteriya foydasi (mlrd so'm)	Haqiqiy operatsion pul oqimi (CFO, mlrd so'm)	Shartnoma aktivlarining aylanma aktivlardagi ulushi, %	Koqim =CFO/NI koeffitsiyenti
------------------------	--	--------------------------------------	---	--	------------------------------

"A" korxonasi (Infratuzilma)	84,6	10,2	5,5	28,4	0,54
"B" korxonasi (Yo'l qurilishi)	112,0	14,5	9,8	24,1	0,68
"C" korxonasi (AKT integratori)	36,4	6,1	3,8	31,5	0,62

1-jadval ma'lumotlaridan ko'rinib turibdiki, har uchala subyektda ham buxgalteriya hisobida barqaror sof foyda shakllangan bo'lsa-da, haqiqiy operatsion pul oqimi undan ancha past bo'lgan. Xususan, "A" korxonasida K(oqim) koeffitsiyenti 0,54 ni tashkil etib, hisoblangan har 100 so'm foydaga atigi 54 so'm naqd pul tushumi to'g'ri kelgan.

Buning asosiy sababi — bajarilgan ishlar darajasiga qarab daromad va shartnoma aktivlari tan olingan, biroq buyurtmachilar bilan tuzilgan shartnomalarda oraliq hisob-kitoblar (schiyot-fakturalar taqvim) kechiktirilgan muddatlarda ko'rsatilgan. "C" korxonasida shartnoma aktivlari ulushi aylanma aktivlarning 31,5% igacha yetgan. Natijada korxonalar ish haqi, soliq va xomashyo ta'minotini uzluksiz ushlab turish uchun tijorat banklarining qisqa muddatli kreditlaridan foydalanishga majbur bo'lgan, bu esa moliyaviy xarajatlarning o'rtacha 18–22% ga ortishiga olib kelgan.

XULOSA

Uchta yirik tarmoq subyekti tahlili shuni ko'rsatadiki, MHXS 15 bo'yicha kiritish xarajatlari usulini qo'llash moliyaviy natijalarni sun'iy tebranishlarsiz aks ettirsa-da, to'lovlar bilan muvofiqlashtirilmagan holda korxonalarni likvidlik tanqisligiga olib keladi.

Ushbu muammoni bartaraf etish bo'yicha quyidagi amaliy choralar tavsiya etiladi:

1. **Oraliq to'lov taqvimini (*Milestone Billing*) qayta tuzish:** Shartnomalarda to'lov grafiklarini faqat taqvimiy oylarga emas, balki kiritish usuli bo'yicha haqiqiy xarajat sarflanishining har 15–20% lik bosqichlariga qat'iy bog'lash lozim.
2. **Kredit zararlari zaxirasini shakllantirish:** MHXS 9 talablariga asosan uzoq muddatli shartnoma aktivlari bo'yicha kutilayotgan kredit zararlari (*ECL*) zaxirasini yaratish orqali hisobotdagi foyda sifatining xolisligini ta'minlash zarur.
3. **Likvidlik nazoratini kuchaytirish:** Korxona ichki boshqaruvida faqat buxgalteriya foydasiga emas, balki \$K(oqim) koeffitsiyentining minimal 0,75–0,80 chegarasini ta'minlashga yo'naltirilgan moliyaviy monitoringni joriy etish maqsadga muvofiq.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] IFRS Foundation. International Financial Reporting Standard (IFRS) 15: Revenue from Contracts with Customers. — London: IASB, 2018. — 128 p.

- [2] Dechow, P.M., Dichev, I.D. The quality of accruals and earnings: The role of accrual estimation errors // The Accounting Review. — 2002. — Vol. 77, No. s-1. — P. 35–59.
- [3] Kieso, D.E., Weygandt, J.J., Warfield, T.D. Intermediate Accounting: IFRS Edition. — Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2020. — 1344 p.
- [4] Xoliqov, A.A. Xalqaro standartlar asosida daromadlar hisobi va auditi metodologiyasini takomillashtirish: Iqtisodiyot fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasi avtoreferati. — Toshkent: TDIU, 2022. — 68 b.
- [5] Dusmuratov, R.D. Buxgalteriya hisobi nazariyasi. — Toshkent: Fan va texnologiya, 2019. — 416 b.
- [6] Al-Dhubaibi, A.A. Impact of IFRS 15 implementation on revenue recognition and financial performance in telecom and construction firms // Journal of Financial Reporting and Accounting. — 2021. — Vol. 19, No. 4. — P. 605–626.

IMPLICIT LAYERS OF MEANING IN LITERARY TEXTS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF HUMAN AND GENERATIVE AI INTERPRETATION

Rizayeva Shaxnozabonu Shukhrat qizi

Senior Lecturer, Department of Foreign Language and Literature

Nordic International University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract.

*The rapid development of generative artificial intelligence has created new possibilities for literary analysis, yet it has also raised questions about the nature and reliability of machine-generated interpretation. This article compares human literary interpretation and generative AI interpretation in the reconstruction of implicit meaning in literary texts. Ernest Hemingway's *The Old Man and the Sea* is selected as the primary material because its semantic organization is closely connected with the writer's iceberg principle, according to which a substantial part of meaning remains unstated and must be inferred from textual relations. The study applies comparative, interpretative, and hermeneutic methods and evaluates interpretation according to four criteria: recognition of surface meaning, reconstruction of implicit meaning, identification of symbolic-philosophical relations, and contextual grounding. The analysis focuses on the sea, the marlin, struggle, solitude, defeat, endurance, and dignity as interconnected semantic elements. The findings suggest that generative AI can identify major themes and formulate plausible symbolic interpretations, but the fluency of an AI-generated response does not by itself demonstrate deep contextual understanding. The scholarly value of such interpretation depends on its textual grounding, methodological transparency, and verification by a human researcher. Generative AI is therefore best regarded as an auxiliary interpretative tool rather than a replacement for professional literary analysis.*

Keywords: *literary text, implicit meaning, subtext, generative artificial intelligence, interpretation, symbolism, Hemingway, human interpretation*

INTRODUCTION

The expansion of artificial intelligence into the humanities has altered the conditions under which texts are read, summarized, compared, and interpreted. Generative AI systems based on large language models can identify recurring lexical patterns, explain metaphors, classify motifs, summarize narrative structures, and produce analytical statements that resemble academic literary criticism. These abilities make AI attractive as a research assistant, but they also create a methodological problem for literary studies. A coherent and fluent explanation is not necessarily identical with a well-grounded literary interpretation. The difference becomes especially important

when the object of study is not explicit information, but meaning that remains indirect, implied, or contextually reconstructed.

Literary meaning is frequently produced through the interaction of what is said and what is left unsaid. Subtext, silence, repetition, symbolic objects, psychological tension, narrative perspective, and cultural associations may carry meanings that cannot be recovered through plot summary alone. For this reason, interpretation requires more than the recognition of semantic content at sentence level. It involves establishing relations among details, evaluating competing possibilities, and explaining how a text creates meanings that exceed its literal surface. This interpretative process becomes especially complex in works where artistic restraint is itself a central feature of style.

Hemingway's prose provides a particularly productive case for such investigation. His well-known iceberg principle assumes that the visible narrative contains only part of the total semantic structure and that omitted or indirectly expressed material contributes significantly to meaning. In *The Old Man and the Sea*, the plot appears simple: Santiago, an aging fisherman, goes far into the sea, struggles with a giant marlin, secures the fish, loses most of it to sharks, and returns home exhausted. Yet the significance of the novella cannot be reduced to this sequence of events. The sea, the marlin, the struggle, Santiago's solitude, apparent defeat, endurance, and dignity function as interconnected elements of a deeper philosophical structure.

Recent research supports the view that large language models are capable of performing certain literary tasks at a relatively high level. Ichien, Stamenković, and Holyoak (2024) report that GPT-4 demonstrated a notable ability to interpret novel literary metaphors, with some responses receiving strong evaluations from human judges. At the same time, a scoping review by Mozaffari, Mehrangmarani, and Khorramrouz (2026) emphasizes that limitations remain in deep understanding, contextual reasoning, long-form literary analysis, and the need for human expert assessment. These findings suggest that the central question is not simply whether AI can generate interpretation, but whether that interpretation is textually and contextually defensible.

Accordingly, this study asks whether generative artificial intelligence can identify and interpret meanings that are not directly verbalized in a literary text with the same degree of contextual and philosophical coherence as a professional human reader. The purpose of the article is to compare human and AI interpretation of implicit literary semantics and to determine the main strengths and limitations of AI-assisted analysis. Particular attention is given to the distinction between interpretative plausibility and interpretative grounding, because an academically convincing interpretation must demonstrate not only what a text may mean but also how that meaning emerges from the text itself.

METHODS

The study employs comparative-typological, interpretative, and hermeneutic methods. Ernest Hemingway's *The Old Man and the Sea* serves as the primary literary material because the work offers a concentrated system of symbols and implicit meanings that depend on close reading rather than explicit authorial explanation. The analysis focuses on semantic units related to the sea, the marlin, struggle, solitude, defeat, endurance, and dignity. These elements are examined not as isolated themes but as components of an integrated poetic structure.

The methodological model distinguishes three possible interpretative conditions: professional human literary interpretation, AI interpretation produced without predetermined theoretical categories, and AI interpretation produced after the addition of relevant literary-historical or theoretical context. This distinction is important because prompt formulation can predetermine the direction of an AI response. If a model is instructed to identify existentialism, absurdity, loneliness, or the iceberg principle, these concepts have already been supplied by the researcher. Such prompting therefore tests the model's ability to elaborate a category rather than its ability to independently recognize that category in the text.

Four criteria are used in the comparison. The first is recognition of surface meaning, including literal events, characters, objects, and immediate narrative relations. The second is reconstruction of implicit meaning, especially meaning suggested through omission, repetition, psychological tension, and symbolic association. The third criterion is the ability to identify broader symbolic and philosophical relations among textual elements. The fourth is contextual grounding, understood as the degree to which interpretative claims can be supported by the primary text, Hemingway's poetics, and relevant literary context. These criteria allow AI-generated interpretations to be evaluated not by fluency alone but by the quality of their evidence and argumentative coherence.

RESULTS AND DISCUSSION

At the level of surface meaning, the difference between human and generative AI interpretation is relatively limited. Both can identify the central narrative sequence of the novella and recognize Santiago, the marlin, the sea, and the sharks as key elements of the plot. AI can also summarize the protagonist's physical struggle and describe the major stages of the narrative accurately. However, literary interpretation begins where summary becomes insufficient. The scholarly task is to explain why these events matter and how the relationships among them produce meanings that are not directly stated.

The sea is a clear example of the distinction between literal and implicit meaning. Literally, it is the physical setting of Santiago's work. Yet within the structure of the novella it also becomes a space of uncertainty, dependence, beauty, danger, freedom, and isolation. A superficial symbolic reading may reduce this complexity to the statement that the sea represents life. Such a formula may be plausible, but it is too general unless it is connected to the protagonist's dependence on the sea, his emotional relation to it, and his vulnerability before natural forces. A stronger interpretation therefore does not merely name the symbol; it reconstructs the network of textual relations through which symbolic meaning develops.

The marlin produces an even more complex semantic relationship. At plot level, it is the fish Santiago wants to catch. At the implicit level, however, the marlin becomes simultaneously an opponent, an object of admiration, a test of endurance, and a figure through which Santiago's own dignity is reflected. His relationship with the fish is therefore not reducible to a simple hunter-versus-prey opposition. Human literary interpretation tends to preserve this ambiguity and to explain how several meanings coexist. Generative AI can also produce multiple symbolic associations, but listing possibilities is not the same as demonstrating their internal coherence. Interpretative depth depends on establishing which meanings are most strongly supported and how they interact within the work.

The opposition between defeat and victory is another central issue. Santiago succeeds in catching the marlin but is unable to preserve the material result of his struggle. In practical terms, the episode ends in loss. Yet the narrative does not present this loss as a complete destruction of the protagonist's value. His endurance, determination, and dignity remain intact. The implicit meaning therefore complicates the ordinary distinction between success and failure. External defeat does not necessarily constitute inner defeat. An AI system can readily generate the idea of a moral or spiritual victory, but the academic value of such a claim depends on whether the interpretation is traced back to Santiago's actions, attitudes, and persistence throughout the narrative.

Solitude also functions at more than one level. Santiago is physically alone during the central struggle, and this isolation intensifies the psychological dimension of the narrative. At the same time, his relationship with the boy and his emotional responsiveness to the natural world prevent solitude from becoming complete social or emotional alienation. The text therefore distinguishes physical isolation from existential solitude. This is an area in which AI-generated analysis may become overly schematic. A response that simply identifies loneliness as a theme is not incorrect, but it remains incomplete unless it differentiates the various forms and functions of solitude within the work.

Hemingway's iceberg principle makes these interpretative problems particularly significant. Because the author deliberately restricts explicit explanation, readers are required to infer larger meanings from limited textual evidence. Generative AI can often identify these larger meanings, but its success introduces another methodological difficulty. It may be impossible to determine whether a particular interpretation has been independently reconstructed from the supplied passage or reproduced from patterns learned from critical discussions, educational materials, and previously available interpretations of Hemingway. This problem does not make AI interpretation useless, but it requires scholars to distinguish between a correct-sounding answer and a demonstrably text-based analysis.

The importance of prompt design follows directly from this issue. A prompt such as 'Analyze the existential meaning of the passage' already presupposes that existential meaning is present and directs the model toward a predetermined theoretical framework. A more neutral prompt would ask the model to identify meanings that are implied but not directly expressed and to justify each inference through textual details. The difference between these instructions is methodologically significant because the first measures guided elaboration while the second provides a better test of independent semantic reconstruction. For this reason, the prompt should be treated as part of the research method rather than as a neutral technical instruction.

A further distinction must be made between interpretative plausibility and textual grounding. Generative AI can produce polished academic language, use theoretical vocabulary, and formulate arguments that appear sophisticated. However, rhetorical fluency may conceal weak evidence. If a response labels Santiago as alienated, existentially isolated, or symbolically victorious, the researcher must ask which textual details justify these categories. This standard should also apply to human scholars. Human interpretation is not automatically valid; it requires evidence, methodological consistency, and argumentative coherence. The difference is that a professional scholar can consciously explain theoretical choices, weigh alternative readings, preserve ambiguity, and revise an interpretation when textual evidence resists a conclusion.

The comparison therefore suggests that AI is most useful when it functions as an interpretative assistant rather than an authoritative interpreter. It can generate alternative readings, identify possible motifs, propose symbolic associations, and help a researcher test different hypotheses. These capacities may broaden the range of questions brought to a literary text. Nevertheless, the researcher remains responsible for textual verification, contextualization, theoretical selection, and final judgment. The most productive model is therefore human-AI interpretative collaboration, in which AI expands interpretative possibilities while human expertise determines their scholarly reliability.

The theoretical discussion also has practical implications for literary research. If AI-generated interpretation is used in dissertations, articles, or teaching materials, the researcher should not treat the output as a ready-made scholarly conclusion. Instead, each claim should be checked against the primary text and relevant criticism. Where possible, the conditions under which AI produced the interpretation should also be made transparent. Such methodological discipline is especially important in studies of implicit meaning because the less explicit the textual evidence is, the greater the risk that a plausible but weakly grounded interpretation will be accepted as valid.

CONCLUSION

The interpretation of implicit meaning represents one of the most demanding tests of generative artificial intelligence in literary studies. Literary meaning frequently emerges through subtext, symbols, omissions, psychological tension, narrative relationships, and contextual associations rather than through direct statement. Hemingway's *The Old Man and the Sea* demonstrates this complexity clearly because its central images and events acquire significance through an interconnected semantic structure shaped by the author's iceberg principle.

The comparative analysis indicates that generative AI is capable of recognizing central themes and producing plausible symbolic interpretations. However, the fluency and sophistication of such responses should not be equated automatically with deep literary understanding. Their scholarly value depends on textual grounding, contextual coherence, and methodological transparency. The most reliable evaluation therefore rests on four criteria: recognition of surface meaning, reconstruction of implicit meaning, identification of symbolic-philosophical relations, and contextual grounding.

The study further shows that prompt design is an important methodological variable. When theoretical categories are included in advance, the resulting AI interpretation may reflect researcher guidance rather than independent semantic recognition. Consequently, generative AI should not replace professional literary interpretation. Its stronger role is that of an auxiliary analytical instrument capable of generating hypotheses and alternative readings that are subsequently verified by the human scholar. Future empirical research can strengthen this model by comparing human and AI interpretations of the same literary fragments under controlled prompting conditions and evaluating the results according to predetermined scholarly criteria.

REFERENCES:

- [1] Hemingway, E. (1952). The old man and the sea. Charles Scribner's Sons.
- [2] Ichien, N., Stamenković, D., & Holyoak, K. J. (2024). Large language model displays emergent ability to interpret novel literary metaphors. *Metaphor and Symbol*, 39(4), 296–309. <https://doi.org/10.1080/10926488.2024.2380348>
- [3] Mozaffari, N., Mehrangmarani, B., & Khorramrouz, A. (2026). Applications, performance, and research gaps of large language models in literary studies: A scoping review. *Human Behavior and Emerging Technologies*. <https://doi.org/10.1155/hbe2/8695447>
- [4] Vlaad, S. (2025). Texts without authors: Ascribing literary meaning in the case of AI. *The Journal of Aesthetics and Art Criticism*, 83(1), 4–11.

BANK MOBIL ILOVALARINING MOLİYAVIY INKLYUZIYANI KENGAYTIRISHDAGI AHAMIYATI: SERVISGA YO‘NALTIRILGAN YONDASHUV

Saydamatova Muxlisabonu Rasuljon qizi

TIU, Tayanch doktorant

Annotatsiya. Mazkur tadqiqot ishida bank mobil ilovalarining moliyaviy inklyuziyani kengaytirishdagi roli servisga yo‘naltirilgan yondashuv asosida tadqiq etilgan. Mobil ilova mijozning bank operatsiyalarini masofadan amalga oshirish vositasi sifatida emas, balki uning moliyaviy ehtiyojlarini qondirish va qiymat yaratishga xizmat qiluvchi raqamli servis muhiti sifatida ko‘rib chiqilgan. Tadqiqotda servisga yo‘naltirilgan yondashuvning qulaylik, masofaviylik, moslashuvchanlik, axborot bilan ta‘minlash va interaktivlik kabi xususiyatlari hamda ularning moliyaviy xizmatlardan foydalanishdagi to‘siqlarni kamaytirishdagi ahamiyati tahlil qilingan. Shuningdek, O‘zbekistonda raqamli bank xizmatlaridan foydalanish dinamikasi ko‘rib chiqilib, mobil ilovalarning moliyaviy inklyuziyani kengaytirish imkoniyatlari asoslangan. Tadqiqot natijasida mobil ilovalarning inklyuzivlik salohiyati ularning mavjudligi bilan bir qatorda, xizmatlarning qulayligi, foydalanish imkoniyati va mijoz ehtiyojlariga mosligi bilan chambarchas bog‘liqligi aniqlandi.

Kalit so‘zlar: mobil banking, bank mobil ilovasi, moliyaviy inklyuziya, servisga yo‘naltirilgan yondashuv, raqamli bank xizmatlari, mijoz qiymati, raqamli moliyaviy xizmatlar.

Аннотация. В данном исследовании исследуется роль мобильных банковских приложений в расширении финансовой инклюзии на основе сервисно-ориентированного подхода. Мобильное приложение рассматривается не только как средство дистанционного осуществления банковских операций, но и как цифровая сервисная среда, направленная на удовлетворение финансовых потребностей клиентов и создание ценности. В исследовании проанализированы такие характеристики сервисно-ориентированного подхода, как удобство, дистанционный доступ, гибкость, информационное обеспечение и интерактивность, а также их значение в снижении барьеров при использовании финансовых услуг. Кроме того, рассмотрена динамика использования цифровых банковских услуг в Узбекистане и обоснованы возможности мобильных приложений в расширении финансовой инклюзии. В результате исследования установлено, что инклюзивный потенциал мобильных приложений связан не только с их доступностью, но и с удобством, возможностью использования и соответствием услуг потребностям клиентов.

Ключевые слова: мобильный банкинг, мобильное банковское приложение, финансовая инклюзия, сервисно-ориентированный подход, цифровые банковские услуги, ценность для клиента, цифровые финансовые услуги.

Abstract. This study researches the role of mobile banking applications in expanding financial inclusion based on a service-oriented approach. A mobile application is considered not only as a means of conducting banking operations remotely, but also as a digital service environment aimed at meeting customers' financial needs and creating value. The study analyzes such characteristics of the service-oriented approach as convenience, remote access, flexibility, information provision, and interactivity, as well as their importance in reducing barriers to the use of financial services. In addition, the study examines the dynamics of digital banking service usage in Uzbekistan and substantiates the potential of mobile applications to expand financial inclusion. The findings indicate that the inclusive potential of mobile applications is associated not only with their availability, but also with the convenience, accessibility, and alignment of services with customers' needs.

Keywords: mobile banking, mobile banking application, financial inclusion, service-oriented approach, digital banking services, customer value, digital financial services.

So'nggi yillarda raqamli texnologiyalarning jadal rivojlanishi moliyaviy xizmatlarni ko'rsatish usullarini sezilarli darajada o'zgartirmoqda. Xususan, mobil qurilmalar va raqamli bank kanallarining keng tarqalishi moliyaviy xizmatlardan foydalanish imkoniyatlarini kengaytirish uchun yangi imkoniyatlar yaratmoqda. Jahon bankining *Global Findex 2025* ma'lumotlar bazasi moliyaviy inklyuziya bilan bir qatorda mobil telefonlardan foydalanish, internetga ulanish va raqamli moliyaviy xizmatlardan foydalanish o'rtasidagi bog'liqlikni ham alohida o'rganishga e'tibor qaratadi. Mazkur yondashuv raqamli ulanish infratuzilmasining kengayishi moliyaviy xizmatlardan foydalanish imkoniyatlarini shakllantirishda tobora muhim omilga aylanayotganini ko'rsatadi. O'zbekistonda ham bank xizmatlarining raqamli kanallarga o'tishi izchil davom etmoqda. O'zbekiston Respublikasi Markaziy bankining 2025-yil 1-oktabr holatidagi ma'lumotlariga ko'ra, Xalq bankining masofadan bank xizmatlarini ko'rsatuvchi tizimlaridan foydalanuvchi jismoniy shaxslar soni 8 058 043 nafarga yetgan¹. Mazkur ko'rsatkich bank xizmatlaridan foydalanishda masofaviy va raqamli kanallarning keng qo'llanilayotganini bildiradi. Biroq raqamli bank xizmatlarining kengayishi moliyaviy inklyuziyaning o'z-o'zidan ta'minlanganligini anglatmaydi. Moliyaviy xizmatlarning mavjudligi bilan bir qatorda, ulardan foydalanishning qulayligi, tushunarliqligi, foydalanish imkoniyati va mijoz ehtiyojlariga mosligi ham muhim ahamiyatga ega. Shu sababli bank mobil ilovalarini faqat moliyaviy operatsiyalarni masofadan amalga oshirish vositasi sifatida emas, balki mijoz ehtiyojlarini qondirish va unga qiymat yaratishga yo'naltirilgan servis kanali sifatida o'rganish zarur.

¹ <https://cbu.uz/uz/statistics/paysistem/2941879/>

Mazkur tizimni ilmiy yoritishda servisga yo‘naltirilgan yondashuv muhim nazariy asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin. Ushbu yondashuv bank faoliyatida asosiy e‘tiborni alohida moliyaviy mahsulotni taklif etishdan mijoz ehtiyojini aniqlash, xizmat ko‘rsatish jarayonini takomillashtirish va mijoz uchun qiymat yaratishga qaratadi. Bunday nuqtayi nazardan, mobil bank ilovasi oddiy texnologik vosita emas, balki bank va mijoz o‘rtasidagi servis munosabatlarini amalga oshiruvchi raqamli platforma sifatida qaraladi. Shundan kelib chiqib, bank mobil ilovalarining moliyaviy inklyuziyani kengaytirishdagi ahamiyatini servisga yo‘naltirilgan yondashuv asosida o‘rganish dolzarb ilmiy masalalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, mobil ilovalarda taqdim etilayotgan xizmatlarning qulayligi, foydalanish imkoniyati va mijoz ehtiyojlariga moslashuvi moliyaviy xizmatlardan foydalanishdagi mavjud to‘siqlarni kamaytirish orqali inklyuziyani kengaytirishga qanday hissa qo‘shishi masalasi alohida tadqiqotni talab etadi.

Servisga yo‘naltirilgan yondashuv bank faoliyatida asosiy e‘tiborni mahsulotni sotishdan mijoz ehtiyojini qondirish va unga qiymat yaratishga qaratadi. Bank uchun kredit, depozit yoki karta yakuniy maqsad emas, balki mijozning moliyaviy ehtiyojini hal qilish vositasi sifatida qaraladi. Bunday yondashuvda bank va mijoz o‘rtasidagi munosabat bir martalik operatsiya bilan cheklanmay, doimiy servis jarayoni sifatida shakllanadi. Raqamli texnologiyalarning rivojlanishi esa ushbu yondashuvni amalga oshirish uchun yangi imkoniyatlar yaratmoqda. Xususan, bank mobil ilovalari mijoz va bank o‘rtasidagi doimiy aloqani ta‘minlovchi asosiy raqamli kanallardan biriga aylanmoqda. Mobil ilova orqali mijoz nafaqat to‘lov yoki pul o‘tkazmasini amalga oshiradi, balki o‘z moliyaviy holatini nazorat qilishi, kerakli xizmatni masofadan tanlashi, ma‘lumot olishi va bank bilan interaktiv muloqot qilishi mumkin. Shu sababli mobil ilovani faqat bank operatsiyalarini raqamlashtiruvchi texnologik vosita sifatida baholash yetarli emas. Servisga yo‘naltirilgan yondashuv nuqtayi nazaridan mobil ilova mijoz ehtiyojini aniqlash, unga mos xizmatni taqdim etish va foydalanish jarayonida qiymat yaratishga xizmat qiluvchi raqamli servis muhiti sifatida qaraladi. Bunda ilovaning texnik imkoniyatlaridan tashqari, uning qulayligi, foydalanish imkoniyati, moslashuvchanligi va mijoz bilan interaktiv aloqani ta‘minlashi muhim ahamiyat kasb etadi.

1-jadval.

Bank mobil ilovalarida servisga yo‘naltirilgan yondashuvning namoyon bo‘lishi va uning moliyaviy inklyuziyaga ta‘siri²

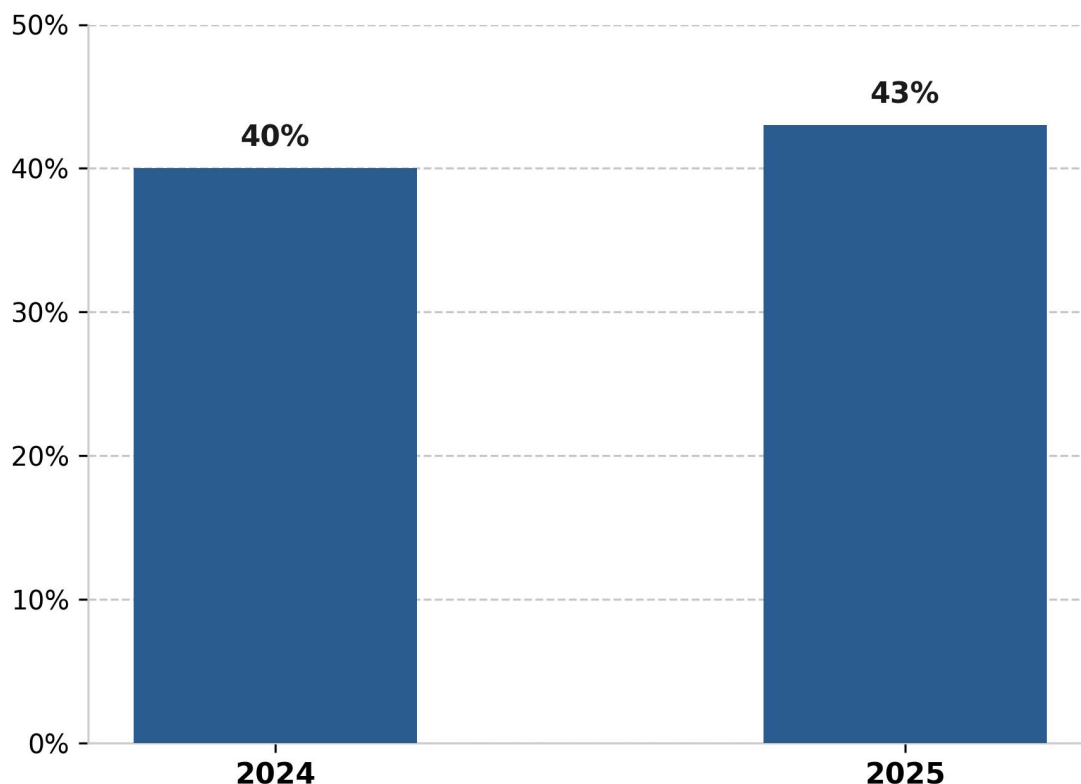
Servis xususiyati	Mobil ilovadagi ko‘rinishi	Inklyuziyaga ta‘siri
Qulaylik	Sodda interfeys	Foydalanish to‘siqlari kamayadi
Masofaviylik	24/7 xizmat	Filialga borish zarurati kamayadi
Moslashuvchanlik	Individual takliflar	Turli mijoz ehtiyojlari qamrab olinadi
Axborot	Xarajat va balans tahlili	Moliyaviy qaror qabul qilish osonlashadi
Interaktivlik	Chatbot/yordam	Xizmatdan foydalanishdagi qiyinchiliklar kamayadi

Jadval ma‘lumotlari bank mobil ilovalarida servisga yo‘naltirilgan yondashuv bir nechta o‘zaro bog‘liq xususiyatlar orqali namoyon bo‘lishini ko‘rsatadi. Xususan, qulaylik va masofaviylik mijozning bank xizmatlaridan foydalanish vaqt va hududiga bog‘liq cheklovlarni kamaytirsa, moslashuvchanlik turli mijozlarning individual ehtiyojlarini hisobga olish imkonini beradi. Axborot bilan ta‘minlash va interaktiv xizmatlar esa mijozning moliyaviy xizmatlardan foydalanish

² Muallif ishlanmasi

jarayonidagi noaniqliklarini kamaytirib, ulardan mustaqil foydalanish imkoniyatini oshirishi mumkin. Shu jihatdan, mobil ilovaning servis xususiyatlari moliyaviy inklyuziyaga bevosita emas, balki foydalanishdagi to'siqlarni kamaytirish mexanizmi orqali ta'sir ko'rsatadi. Demak, mobil bankingning inklyuzivlik salohiyatini baholashda faqat ilovaning mavjudligi yoki funksiyalar soni emas, balki ushbu funksiyalarning mijoz uchun qanchalik qulay, tushunarli va foydalanish imkoniyatiga ega ekanligi ham muhim hisoblanadi.

Yuqoridagi jadvalda servisga yo'naltirilgan yondashuvning mobil ilovalarda qanday namoyon bo'lishi va uning moliyaviy inklyuziya bilan bog'liqligi tizimlashtirildi. Mazkur yondashuvning amaliy ahamiyatini mobil ilovalar orqali amalga oshirilayotgan raqamli to'lovlarning bank xizmatlaridagi ulushi orqali ham kuzatish mumkin.



1-rasm. Bank mobil ilovalari orqali raqamli to'lovlardan foydalanishning o'zgarishi³

Mazkur dinamika mobil ilovalarning bank xizmatlarini masofadan va qulay shaklda taqdim etuvchi servis kanali sifatidagi ahamiyati ortib borayotganini ko'rsatadi. 2025-yilda banklardagi jami pul tushumlarida terminal orqali amalga oshirilgan tushumlarning, jumladan mobil ilovalar orqali amalga oshirilgan to'lovlarning ulushi 43 foizni tashkil etib, 2024-yildagi 40 foizga nisbatan oshgan. Shu bilan birga, ushbu ko'rsatkich mobil ilovalarning faqat mavjudligini emas, balki ularning kundalik moliyaviy operatsiyalarda faol qo'llanayotganini ifodalaydi. Shu sababli mobil ilovalarning moliyaviy inklyuziyaga ta'sirini baholashda ularning nafaqat foydalanish ko'lami, balki xizmatlarning qulayligi, foydalanish imkoniyati va mijoz ehtiyojlariga mosligi ham muhim ahamiyat kasb etadi. Shu nuqtayi nazardan, bank mobil ilovasi servisga yo'naltirilgan bank modelining amaliy vositasi sifatida qaralishi mumkin. Bunda ilovaning asosiy vazifasi faqat bank operatsiyalarini masofadan amalga oshirish bilan cheklanmay, mijozning moliyaviy ehtiyojlarini qulay, tushunarli va moslashtirilgan shaklda qondirishdan iborat bo'ladi. Servisga yo'naltirilgan yondashuvning ushbu jihatlari mijozning bank xizmatlaridan foydalanishdagi vaqt, masofa, axborot va qulaylik bilan bog'liq to'siqlarini kamaytirishga xizmat qilishi mumkin. Mobil ilovaning mavjudligi moliyaviy inklyuziyani avtomatik ravishda ta'minlamaydi. Uning inklyuzivlik salohiyati

³ O'zbekiston Respublikasi Markaziy Bank ma'lumotlari asosida muallif ishlanmasi

xizmatlarning foydalanish uchun qulayligi, turli toifadagi mijozlar ehtiyojlariga mosligi, axborotning tushunarligi va masofadan foydalanish imkoniyati bilan belgilanadi. Demak, servisga yo'naltirilgan yondashuv mobil bankingni texnologik kanal sifatida emas, balki mijoz va bank o'rtasida qiymat yaratuvchi xizmat muhiti sifatida shakllantirish imkonini beradi. Natijada, mobil ilovaning qulaylik, masofaviylik, moslashuvchanlik va interaktivlik kabi servis xususiyatlari moliyaviy xizmatlardan foydalanishdagi ayrim to'siqlarni kamaytirib, moliyaviy inklyuziyani kengaytirishga hissa qo'shishi mumkin. Shu asosda bank mobil ilovalarini rivojlantirishda texnologik funksiyalar sonidan ko'ra, ularning mijoz ehtiyojini qanchalik samarali qondirishi va turli foydalanuvchilar uchun qanchalik ochiq hamda qulay ekanligiga e'tibor qaratish muhimdir.

Xulosa qilib kelrtirish mumkinki, bank mobil ilovalarida servisga yo'naltirilgan yondashuvning asosiy elementlari sifatida qulaylik, masofaviylik, moslashuvchanlik, axborot bilan ta'minlash va interaktivlikni ajratib ko'rsatish imkonini berdi. Ushbu xususiyatlar mijozning bank xizmatlaridan foydalanish jarayonidagi vaqt, masofa va axborot bilan bog'liq to'siqlarni kamaytirish orqali moliyaviy xizmatlardan foydalanish imkoniyatlarini kengaytirishi aniqlandi. Tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, mobil ilovaning moliyaviy inklyuziyadagi ahamiyati uning mavjudligi yoki funksiyalar soni bilan emas, balki ushbu funksiyalarning mijoz ehtiyojini qanchalik qulay va tushunarli tarzda qondirishi bilan belgilanadi. Servisga yo'naltirilgan mobil banking modeli raqamli bank xizmatlaridan foydalanishni kengaytirish bilan birga, moliyaviy inklyuziya uchun ham qo'shimcha imkoniyat yaratadi. Biroq bu imkoniyatning amaliy samarasi mobil servislarning qulayligi, foydalanish imkoniyati va turli mijoz guruhlari ehtiyojlariga moslashtirilishiga bog'liq. Tadqiqot natijalaridan kelib chiqb quyidagi takliflarni joriy qilish samarali natijani qayd etishga ishonamiz:

1. Mobil ilovalarni servisga yo'naltirilgan tamoyillar asosida rivojlantirish, ya'ni funksiyalar sonini oshirishdan ko'ra ularning mijoz uchun qulayligi va amaliy qiymatiga ustuvorlik berish.
2. Moliyaviy inklyuziyaga yo'naltirilgan funksiyalarni kengaytirish, jumladan sodda interfeys, interaktiv yordam, tushunarli moliyaviy ma'lumotlar va individual xizmatlarni rivojlantirish.
3. Mobil servis samaradorligini kompleks baholash tizimini joriy etish, bunda foydalanuvchilar soni va operatsiyalar hajmi bilan bir qatorda xizmatlardan foydalanish qulayligi, mijoz ehtiyojlariga mosligi va turli aholi guruhlari qamrab olish darajasi ham hisobga olinishi lozim.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] Vargo, S. L., & Lusch, R. F. (2004). Evolving to a New Dominant Logic for Marketing. *Journal of Marketing*, 68(1), 1–17. <https://doi.org/10.1509/jmkg.68.1.1.24036>.
- [2] Vargo, S. L., & Lusch, R. F. (2008). Service-Dominant Logic: Continuing the Evolution. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 36, 1–10.
- [3] Malar, D. A., Arvidsson, V., & Holmström, J. (2019). Digital Transformation in Banking: Exploring Value Co-Creation in Online Banking Services in India. *Journal of Global Information Technology Management*, 22(1).
- [4] Saeed, M. M., & Donkoh, E. (2024). Mobile banking services and financial inclusion among customers of commercial banks: Evidence from an emerging economy. *Business Strategy & Development*, 7(4), e70035. <https://doi.org/10.1002/bsd2.70035>.
- [5] Khatun, M. N., Sarker, M. N. I., & Mitra, S. (2024). Adoption of mobile banking to promote financial inclusion among rural farming community: Drivers and satisfaction level perspective. *Journal of Agriculture and Food Research*, 101448. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101448>.

[6] World Bank. (2025). *The Global Findex Database 2025: Connectivity and Financial Inclusion in the Digital Economy*. Washington, DC: World Bank.

[7] O'zbekiston Respublikasi Markaziy banki. (2025). *Masofadan bank xizmatlarini ko'rsatuvchi tizimlardan foydalanuvchilarning soni, 2025-yil 1-oktabr holatiga*.

[8] O'zbekiston Respublikasi Markaziy banki. (2025). *O'zbekiston Respublikasida bank tizimining raqamli rivojlanishi va to'lov tizimlari bo'yicha statistik ma'lumotlar*. Toshkent: O'zbekiston Respublikasi Markaziy banki.

O'QUVCHILARNING MATEMATIK TAFAKKURINI RIVOJLANTIRISHDA DIDAKTIK O'YINLARDAN FOYDALANISH

Maxmudjonova Elmira¹, Raximov X.A.²

¹Iqtisodiyot va pedagogika universiteti magistranti, Qarshi 180100, O'zbekiston,

²Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, pedagogika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent (ilmiy rahbar), Qarshi 180100, O'zbekiston,

Annotatsiya. Ushbu tezisdagi umumta'lim maktablari o'quvchilarining matematik tafakkurini rivojlantirishda didaktik o'yinlarning o'rni va samaradorligi yoritilgan. Matematik tafakkurning tarkibiy qismlari, didaktik o'yinlarning turlari hamda ularni dars jarayoniga tatbiq etish yo'llari ko'rib chiqilgan. Amaliy misollar asosida o'yinli mashg'ulotlar o'quvchilarning mantiqiy fikrlash, tahlil qilish va mustaqil xulosa chiqarish ko'nikmalarini oshirishi asoslab berilgan.

Kalit so'zlar: matematik tafakkur, didaktik o'yin, mantiqiy fikrlash, interfaol metod, motivatsiya, boshlang'ich ta'lim, kompetensiya.

Аннотация. В тезисах освещены роль и эффективность дидактических игр в развитии математического мышления учащихся общеобразовательных школ. Рассмотрены структурные компоненты математического мышления, виды дидактических игр и пути их внедрения в учебный процесс. На основе практических примеров обосновано, что игровые занятия развивают у учащихся навыки логического мышления, анализа и самостоятельного формулирования выводов.

Ключевые слова: математическое мышление, дидактическая игра, логическое мышление, интерактивный метод, мотивация, начальное образование, компетенция.

Abstract. The paper highlights the role and effectiveness of didactic games in developing the mathematical thinking of general secondary school pupils. The structural components of mathematical thinking, the types of didactic games and the ways of integrating them into the lesson are considered. Practical examples are used to substantiate that game-based activities improve pupils' skills in logical reasoning, analysis and drawing independent conclusions.

Keywords: mathematical thinking, didactic game, logical thinking, interactive method, motivation, primary education, competence.

KIRISH

Bugungi kunda ta'lim tizimida asosiy e'tibor o'quvchiga tayyor bilim berishdan ko'ra, uni mustaqil fikrlashga, muammoni tahlil qilib yechim topishga o'rgatishga qaratilmoqda. O'zbekiston Respublikasida matematika fanini o'qitish sifatini oshirish davlat siyosatining ustuvor yo'nalishlaridan biri sifatida belgilangan [1]. Bu esa o'qituvchidan zamonaviy, o'quvchini faollashtiruvchi metodlarni qo'llashni talab etadi.

Matematika ko'plab o'quvchilar uchun murakkab va zerikarli fan sifatida qabul qilinadi. Bunday munosabat o'quv motivatsiyasini pasaytiradi va tafakkur rivojiga to'sqinlik qiladi. Didaktik o'yinlar esa bilim olish jarayonini qiziqarli faoliyatga aylantirib, o'quvchini darsning faol ishtirokchisiga aylantiradi [4]. Shu bois mazkur mavzu nazariy va amaliy jihatdan dolzarb hisoblanadi.

Tadqiqot maqsadi: didaktik o'yinlarning o'quvchilar matematik tafakkurini rivojlantirishdagi imkoniyatlarini aniqlash va ulardan foydalanish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqish.

MATERIALLAR VA USULLAR

Tadqiqotda mavzuga oid psixologik-pedagogik va metodik adabiyotlarni nazariy tahlil qilish, umumlashtirish hamda amaliy misollarni tahlil qilish usullaridan foydalanildi.

Matematik tafakkur tushunchasi. Matematik tafakkur – bu miqdoriy munosabatlar va fazoviy shakllarni tahlil qilish, umumlashtirish, taqqoslash hamda mantiqiy xulosa chiqarish qobiliyatidir. Psixolog va pedagoglar (L.S. Vigotskiy, J. Piaget, A.A. Stolyar) uning quyidagi tarkibiy qismlarini ajratib ko'rsatadi: tahlil va sintez, taqqoslash, umumlashtirish, abstraktlash, klassifikatsiyalash hamda isbotlash [5; 7; 9]. Bu operatsiyalar o'z-o'zidan shakllanmaydi, balki maqsadli o'quv faoliyati orqali rivojlantiriladi [2].

Didaktik o'yinning mohiyati. Didaktik o'yin – aniq ta'limiy maqsadga ega, qoidalari belgilangan va natijasi baholanadigan o'quv faoliyati shaklidir [6]. Uning tarkibiga didaktik vazifa, o'yin harakatlari, o'yin qoidalari va natija kiradi [3]. Oddiy o'yindan farqli ravishda, didaktik o'yinda o'quvchi o'ynash jarayonida bilimni o'zlashtiradi va mustahkamlaydi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Didaktik o'yinlarning turlari va ularning tafakkurga ta'siri 1-jadvalda keltirilgan [3; 6].

1-jadval.

Didaktik o'yinlar turlari va ular rivojlantiradigan tafakkur operatsiyalari

O'yin turi	Misol	Rivojlanadigan tafakkur operatsiyasi
Mantiqiy o'yinlar	«Ortiqchasini top», «Qonuniyatni davom ettir»	Taqqoslash, klassifikatsiyalash, umumlashtirish
Hisoblash o'yinlari	«Matematik domino», «Zanjir», «Sehrli kvadrat»	Og'zaki hisob, tezkor fikrlash
Geometrik o'yinlar	«Tangram», «Shakldan shakl yasa»	Fazoviy tasavvur, tahlil va sintez
Musobaqa o'yinlari	«Matematik estafeta», «Zakovat», «Kim tez?»	Diqqatni jamlash, jamoaviy fikrlash
Rolli o'yinlar	«Do'kon», «Bank», «Quruvchilar»	Matematikani hayotga tatbiq etish, modellashtirish
Raqamli o'yinlar	Kahoot, Wordwall, GeoGebra topshiriqlari	Mustaqil fikrlash, tezkor qaror qabul qilish

Amaliy misollar. 5-sinfda kasrlar mavzusini mustahkamlashda «Matematik domino» o'yini qo'llanadi: har bir kartochkaning bir tomonida misol, ikkinchi tomonida boshqa misolning javobi

yoziladi. O'quvchilar kartalarni to'g'ri ketma-ketlikda tutashtirib, zanjirni yakunlashlari kerak. Bunda ular nafaqat hisoblaydi, balki natijalarni o'zaro taqqoslab, mantiqiy bog'lanishni izlaydi.

«Qonuniyatni davom ettir» o'yinida o'quvchilarga 2, 5, 11, 23, ... kabi sonlar ketma-ketligi beriladi. Ular keyingi hadni topishi va qoidani (har bir son oldingisining ikki baravaridan bitta ortiq) asoslab berishi lozim. Bu topshiriq induktiv fikrlash va umumlashtirish ko'nikmasini shakllantiradi [8].

Didaktik o'yinlardan foydalanish shartlari. O'yin samarali bo'lishi uchun quyidagilarga amal qilish lozim [2; 4]:

- o'yin dars maqsadiga mos va mavzu mazmuni bilan bog'liq bo'lishi;
- o'quvchilarning yosh xususiyatlari va bilim darajasi hisobga olinishi;
- qoidalar aniq va tushunarli tushuntirilishi;
- o'yin darsning 10–15 daqiqasidan oshmasligi va asosiy mazmunni siqib chiqarmasligi;
- o'yin yakunida natijalar tahlil qilinib, o'quvchilar bilan birgalikda xulosa chiqarilishi.

XULOSA

Didaktik o'yinlar o'quvchilarning matematik tafakkurini rivojlantirishning samarali vositasi hisoblanadi. Ular o'quv motivatsiyasini oshiradi, darsda faollikni ta'minlaydi va tahlil, taqqoslash, umumlashtirish kabi tafakkur operatsiyalarini tabiiy sharoitda mashq qildiradi.

O'yinlar tizimli, dars maqsadiga muvofiq va o'quvchilar yoshiga mos tanlangan taqdiridagina kutilgan natijani beradi. Shu sababli o'qituvchilarga har bir mavzu uchun didaktik o'yinlar to'plamini shakllantirish, an'anaviy va raqamli o'yinlarni uyg'unlashtirish hamda o'yin natijalarini muntazam tahlil qilib borish tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining «Matematika sohasidagi ta'lim sifatini oshirish va ilmiy-tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi PQ-4708-son qarori. Toshkent, 2020-yil 7-may.

[2] Jumayev M.E., Tadiyyeva Z.G'. Boshlang'ich sinflarda matematika o'qitish metodikasi. Toshkent: Fan va texnologiya, 2005. 312 b.

[3] Bikbayeva N.U., Sidelnikova R.I., Adambekova G.A. Boshlang'ich sinflarda matematika o'qitish metodikasi. Toshkent: O'qituvchi, 1996.

[4] Tolipov O'., Usmonboyeva M. Pedagogik texnologiyalarning tatbiqiy asoslari. Toshkent: Fan, 2006.

[5] Stolyar A.A. Pedagogika matematiki. Minsk: Vysheyshaya shkola, 1986.

[6] Elkonin D.B. Psixologiya igry. Moskva: Pedagogika, 1978.

[7] Vigotskiy L.S. Myshlenie i rech. Moskva–Leningrad: Sotsekgiz, 1934.

[8] Pólya G. How to Solve It. Princeton: Princeton University Press, 1945.

[9] Piaget J. La psychologie de l'intelligence. Paris: Armand Colin, 1947.

BOSHLANG'ICH SINIF O'QUVCHILARIDA TA'LIMIY O'ZLASHTIRISHGA TA'SIR ETUVCHI OMILLAR

To'xlijeva A.¹, Raximov X.A.²

¹Iqtisodiyot va pedagogika universiteti magistranti, Qarshi 180100, O'zbekiston,

²Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, pedagogika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent (ilmiy rahbar), Qarshi 180100, O'zbekiston,

Annotatsiya. Ushbu tezisdagi boshlang'ich sinf o'quvchilarining ta'limiy o'zlashtirish darajasiga ta'sir ko'rsatuvchi ichki va tashqi omillar tahlil qilingan. O'quvchining psixofiziologik xususiyatlari, o'quv motivatsiyasi, oilaviy muhit, o'qituvchi faoliyati va sinfdagi psixologik iqlimning o'zlashtirishdagi o'rni yoritilgan. Tahlil asosida o'zlashtirishni oshirishga qaratilgan pedagogik tavsiyalar berilgan.

Kalit so'zlar: ta'limiy o'zlashtirish, boshlang'ich ta'lim, o'quv motivatsiyasi, ichki omillar, tashqi omillar, oilaviy muhit, pedagogik qayta aloqa.

Аннотация. В тезисах проанализированы внутренние и внешние факторы, влияющие на уровень учебной успеваемости учащихся начальных классов. Освещена роль психофизиологических особенностей ученика, учебной мотивации, семейной среды, деятельности учителя и психологического климата в классе в усвоении учебного материала. На основе проведенного анализа даны педагогические рекомендации, направленные на повышение успеваемости.

Ключевые слова: учебная успеваемость, начальное образование, учебная мотивация, внутренние факторы, внешние факторы, семейная среда, педагогическая обратная связь.

Abstract. The paper analyzes internal and external factors that affect the academic achievement of primary school pupils. The role of pupils' psychophysiological characteristics, learning motivation, family environment, the teacher's activity and the psychological climate of the classroom in mastering learning material is highlighted. Based on the analysis, pedagogical recommendations aimed at improving academic achievement are offered.

Keywords: academic achievement, primary education, learning motivation, internal factors, external factors, family environment, pedagogical feedback.

KIRISH

Boshlang'ich ta'lim uzluksiz ta'lim tizimining poydevori hisoblanadi: aynan shu bosqichda o'quvchida o'qish, yozish, hisoblash ko'nikmalari hamda o'qishga bo'lgan munosabat shakllanadi. O'zbekiston Respublikasining «Ta'lim to'g'risida»gi Qonunida sifatli ta'lim olish har bir fuqaroning huquqi sifatida mustahkamlab qo'yilgan [1]. Shu bois boshlang'ich sinflarda o'zlashtirish darajasini oshirish dolzarb pedagogik vazifa bo'lib qolmoqda.

Amaliyotda bir sinfdagi, bir xil dastur va bir o'qituvchi bilan o'qiyotgan o'quvchilarning natijalari sezilarli farq qilishi kuzatiladi. Bu farq faqat bolaning qobiliyatiga emas, balki ko'plab ichki va tashqi omillarning o'zaro ta'siriga bog'liq [3; 5]. Mazkur omillarni aniqlash o'qituvchiga o'zlashtirishning oldini olish va har bir o'quvchiga individual yondashish imkonini beradi.

Tadqiqot maqsadi: boshlang'ich sinf o'quvchilarining ta'limiy o'zlashtirishiga ta'sir etuvchi omillarni tizimlashtirish va ularni hisobga olgan holda o'zlashtirishni oshirish yo'llarini belgilash.

MATERIALLAR VA USULLAR

Tadqiqotda mavzuga oid psixologik-pedagogik adabiyotlarni nazariy tahlil qilish, qiyoslash va umumlashtirish usullaridan foydalanildi.

Ta'limiy o'zlashtirish tushunchasi. Ta'limiy o'zlashtirish – o'quvchining o'quv dasturida belgilangan bilim, ko'nikma va malakalarni egallash darajasi bo'lib, u baholash natijalari, o'quv

faoliyatidagi mustaqillik va bilimlarni amalda qo'llay olishda namoyon bo'ladi [4]. Yu.K. Babanskiy o'zlashtirmaslik sabablarini o'rganib, ularni o'quvchining shaxsiy xususiyatlari hamda ta'lim va tarbiya sharoitlari bilan bog'liq guruhlariga ajratgan [3].

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Ichki omillar. Bular o'quvchining o'ziga bog'liq omillardir. Birinchidan, psixofiziologik xususiyatlar: kichik maktab yoshidagi bolada diqqat beqaror, ixtiyoriy xotira va mantiqiy tafakkur endi shakllanmoqda [2; 9]. Ikkinchidan, salomatlik holati: tez charchash, ko'rish yoki eshitishdagi muammolar o'zlashtirishni bevosita pasaytiradi. Uchinchidan, o'quv motivatsiyasi: ichki qiziqish asosida o'qigan o'quvchi bilimni chuqurroq va barqarorroq o'zlashtiradi [6].

Tashqi omillar. Bularga oilaviy muhit, o'qituvchi faoliyati va ta'lim muhiti kiradi. Ota-onalarning farzand o'qishiga qiziqishi, uyda o'qish uchun sharoit va kitob mutolaasi madaniyati o'zlashtirishga sezilarli ta'sir ko'rsatadi [4]. J. Xetti 800 dan ortiq meta-tahlilni umumlashtirib, o'qituvchi va o'quvchi o'rtasidagi munosabat hamda pedagogik qayta aloqa natijalarga eng kuchli ta'sir etuvchi omillar qatorida ekanini ko'rsatgan [7].

Asosiy omillar va ularning o'zlashtirishga ta'siri 1-jadvalda umumlashtirilgan.

1-jadval.

Boshlang'ich sinf o'quvchilarining o'zlashtirishga ta'sir etuvchi omillar

Omillar guruhi	Omil	O'zlashtirishga ta'siri
Ichki	Psixofiziologik xususiyatlar (diqqat, xotira, tafakkur)	O'quv materialini qabul qilish va eslab qolish tezligini belgilaydi
	Salomatlik holati	Charchoq va darsdan qolish o'zlashtirishni pasaytiradi
	O'quv motivatsiyasi	Mustaqil o'qish va bilimga qiziqishni kuchaytiradi
Tashqi	Oilaviy muhit	Uy vazifasini bajarish va o'qishga munosabatga ta'sir qiladi
	O'qituvchi faoliyati va qayta aloqa	Xatolarni o'z vaqtida tuzatish va ishonch hosil qilishga yordam beradi
	Sinfdagi psixologik iqlim	Xavfsiz muhitda o'quvchi faolroq ishtirok etadi
	O'qitish metodlari va vositalari	Ko'rgazmali va o'yinli metodlar tushunishni osonlashtiradi

Omillar bir-biridan ajralgan holda emas, balki o'zaro bog'liq tarzda ta'sir qiladi. Masalan, oilada qo'llab-quvvatlanmagan o'quvchida motivatsiya pasayadi, bu esa o'z navbatida diqqat va faollikka salbiy ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli o'zlashtirmaslik sababini aniqlashda kompleks yondashuv talab etiladi [3; 8].

O‘zlashtirishni oshirish yo‘llari. Tahlil natijalariga ko‘ra quyidagi chora-tadbirlar samarali hisoblanadi:

- har bir o‘quvchining individual xususiyatlarini diagnostika qilish va tabaqalashtirilgan topshiriqlar berish;
- darsda o‘yinli, ko‘rgazmali va interfaol metodlardan foydalanib, ichki motivatsiyani rag‘batlantirish;
- o‘quvchiga muntazam va aniq qayta aloqa berish, muvaffaqiyatlarini e‘tirof etish;
- ota-onalar bilan hamkorlikni yo‘lga qo‘yish, uyda o‘qish madaniyatini qo‘llab-quvvatlash;
- sinfda o‘zaro hurmat va xatodan qo‘rqmaslik muhitini shakllantirish;
- dars jadvali va o‘quv yuklamasini bolaning yosh xususiyatlariga moslashtirish.

XULOSA

Boshlang‘ich sinf o‘quvchilarining ta‘limiy o‘zlashtirishi ichki (psixofiziologik xususiyatlar, salomatlik, motivatsiya) va tashqi (oilalar, o‘qituvchi, ta‘lim muhiti, metodika) omillarning birgalikdagi ta‘siri natijasidir. Ushbu omillardan birortasini e‘tiborsiz qoldirish boshqalarining samarasini ham kamaytiradi.

Shu bois o‘qituvchi o‘zlashtirmaslik sabablarini o‘z vaqtida aniqlashi, o‘quvchiga individual yondashishi va oilalar bilan hamkorlikda ishlashi lozim. Bunday kompleks yondashuv boshlang‘ich ta‘lim sifatini oshirish va o‘quvchilarda o‘qishga barqaror qiziqish shakllantirishning muhim sharti hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1] O‘zbekiston Respublikasining «Ta‘lim to‘g‘risida»gi Qonuni (O‘RQ-637-son). Toshkent, 2020-yil 23-sentyabr.
- [2] G‘oziyev E.G‘. Ontogenez psixologiyasi. Toshkent: Noshir, 2010.
- [3] Babanskiy Yu.K. Optimizatsiya protsessi obucheniya. Moskva: Pedagogika, 1977.
- [4] To‘xtaxodjayeva M.X. va boshq. Pedagogika. Toshkent: O‘zbekiston faylasuflari milliy jamiyati, 2010.
- [5] Bloom B.S. Human Characteristics and School Learning. New York: McGraw-Hill, 1976.
- [6] Deci E.L., Ryan R.M. Intrinsic Motivation and Self-Determination in Human Behavior. New York: Plenum Press, 1985.
- [7] Hattie J. Visible Learning: A Synthesis of Over 800 Meta-Analyses Relating to Achievement. London: Routledge, 2009.
- [8] Davydov V.V. Problemy razvivayushchego obucheniya. Moskva: Pedagogika, 1986.
- [9] Vigotskiy L.S. Pedagogicheskaya psixologiya. Moskva: Rabotnik prosvesheniya, 1926.

KOMPYUTER LINGVISTIKASI FANINING RIVOJLANISHI BOSQICHLARI

Turabova Ibodat Ikromjon qizi

Email.ikromjonova08@gmail.com

Samarqand davlat chet tillari instituti sharq tillari fakulteti talabasi

Ilmiy rahbari: Xayrullayev Xurshidjon Zayniyevich filologiya fanlar doktori (DSc), professor.

Annotatsiya. Mazkur maqolada kompyuter lingvistikasi va uni fan sifatida oliy ta'lim muassasalariga kirib kelishi, shuningdek fanning vazifalari va rivojlanishi haqida qisqacha malumot keltirildi. Kompyuter lingvistikasi inson tafakkuri va tilini modellashtirish masalasida markaziy muammo hisoblanadi. Fan aniqlikni talab qiladi va undan ikki yoki undan ortiq elementlarning o'zaro munosabati bir butunlikni tashkil etadi.

Annotation. This article provides a brief overview of computational linguistics, its introduction into higher education institutions as a scientific discipline, as well as the tasks and development of the field. Computational linguistics is a central issue in modeling human thought and language. This science requires precision and involves the interaction of two or more elements forming an integrated whole.

Аннотация. В данной статье приведена краткая информация о компьютерной лингвистике, её становлении как науки в высших учебных заведениях, а также о задачах и развитии данной науки. Компьютерная лингвистика является центральной проблемой в моделировании человеческого мышления и языка. Наука требует точности, и взаимосвязь двух или более элементов образует единое целое.

Kalit so'zlar: Kompyuter lingvistikasi, information texnologiya, Jorijtaun universiteti, Natural Language Processing, su'niy intellekt

Key words: Computational Linguistics (CL), Information Technology (IT), Georgetown University (USA), Natural Languages Processing (NLP), Artificial Intelligence (AI).

Мастер слова: Компьютерная лингвистика, информационные технологии, Джорджтаунский университет, обработка естественного языка, искусственный интеллект.

KIRISH:

Axborot texnologiyalari kundan-kunga har bir sohani asosiga aylanib ulgurdi. Jumladan, yurtimiz O'zbekistonda avtomatlashgan information texnologiyalar ta'lim yo'nalishlariga yuqori ahamiyat qaratmoqda. Shu o'rinda axborot texnologiyalari bilan vaqtda lingvistika ham kompyuter bilan oldimladi. Kompyuter va lingvistika chambarchas rivojlanib ular o'rtasida hamkorlik paydo bo'ldi. Bu hamkorlik natijasida kompyuter lingvistikasi fan sifatida kirib keldi. Fan XX asrning 50-60-yillarida yuzaga kelgan bo'lib, u turlicha nomlar bilan atalgan: hisoblash lingvistikasi, matematik lingvistika, kvantitativ lingvistika, injener lingvistikasi kabi. O'tgan yarimlik vaqt mobaynida kompyuter lingvistikasi sohasida bir qator ilmiy va amaliy natijalarga erishilgan: tabiiy tilda avtomatik tarjima tizimi yaratildi.

MUHOKAMA:

Kompyuter lingvistikasi 1954-yil AQSHda Jorijtaun univesitetida mashina tarjimasini bo'yicha dunyoda o'tkazilgan tarjima asnosida yo'nalish sifatida shakllandi. Bundan avval ikkinchi jahon urushi paytida ham mashinalar yordamida shifrlangan xabarlarni dedoklash va tahlil qilish zaruriyatida paydo bo'lgan. Keyinchalik bu fanning asosiy maqsadi lingvistik masalalarni yechish uchun dastur ishlab chiqish, tabiiy tilni qayta ishlash va sun'iy intellekt texnologiyalarida aqilli qidiruv tizimlarini yaratish bo'ldi.

Kompyuter lingvostikasining asosiy vazifalari:

1. Tilni tahlil qilish va tushunish
1. Tilni qayta ishlash va yaratish
2. Amaliy qo'llash va ilovalash
3. Lingvistik ma'lumotlar bazasini yaratish
4. O'zbek tilida kompyuter lingvistikasi rivojlantirish bir qancha qiyinchilik va imkoniyatlarni o'z ichiga oladi.

Qiyinchiliklari:

1. Ma'umotlar yetishmasligi va sifat muammosi :

O'zbek tilida keng turli janrlarni qamrab olgan, korpuslar yetarli emas va mashina o'rganish modellari uchun bu kata muammodir. Elektron formatdagi izohli, sinonim, antonim lug'atlar kam.

2. Tilning murakkabligi :

O'zbek tilida so'zlar ildizga qo'shimchalar qo'shilishi orqali yasaladi, bu esa juda ko'p sonli so'zlarni paydo bo'lishiga olib keladi.

3. Texnologik infratuzilmaning zaifligi:

Ixtisoslashtirilgan dasturiy ta'minot kutubxonalar va asboblari hali ham kam. Ko'pgina global dasturlar (masalan, Google Translate) o'zbekcha natijalarni mukammal bermaydi.

4. Moliya va sarmoyaning cheklanganligi :

Kompyuter lingvistikasi bo'yicha loyihalar ko'pincha uzoq muddatli va qimmatga tushadi. Bu sohaga davlat va xususiy sektor tomonidan sarmoya kiritilishi hali yetarli emas.

5. Ilmiy-tadqiqot ishlarining yetishmasligi:

Xalqaro miqyosda e'lon qilinadigan o'zbek kompyuter lingvistikasiga oid ilmiy ishlar soni hali kam. Bu sohaning rivojlanish sur'atini sekinlashtirmoqda.

Imkoniyatlari:

1. Katta ehtiyoj va bo'sh bozor:

O'zbek kompyuter lingvistikasi hozirda "o'sish" bosqichida. U bir tomondan ma'lumotlar yetishmasligi, tilning murakkabligi va texnologik tayanchning zaifligi kabi jiddiy qiyinchiliklarni boshdan kechirmoqda. Biroq, ikkinchi tomondan, katta bo'sh bozor, davlat qo'llabi, zamonaviy AI texnologiyalaridan foydalanish imkoniyati va amaliy qo'llanilishning keng doirasi tufayli uning kelajagi juda yorqin.

2. Davlat qo'llab-quvvatlashi :

So'nggi yillarda raqamlashtirish va IT sohasini rivojlantirish davlat siyosatining ustuvor yo'nalishlaridan biriga aylandi. "Raqamli O'zbekiston-2030" kabi dasturlar til texnologiyalarini rivojlantirishga ham qaratilgan.

3. Ochiq manbali texnologiyalarning rivojlanishi:

Dunyoda Transformer arxitekturasiga asoslangan (masalan, BERT, GPT) katta til modellari paydo bo'ldi. Ushbu ochiq manbali modellarni o'zbek tiliga moslashtirish va "o'rgatish" (fine-tuning) yangi modellarni noldan yaratishdan ancha oson va tejamkor.

4. Xalqaro hamkorlik imkoniyatlari:

Turli xalqaro loyihalar (masalan, ELRC - European Language Resource Coordination) va universitetlar o'zbek tilini o'z qamroviga olishni istaydi. Bu resurslar va bilim almashish uchun ajoyib imkoniyat.

5. Amaliy qo'llanilish sohasining kengligi:

- Ta'lim: Avtomatik imlo va grammatika tekshirish, shaxsiylashtirilgan o'quv dasturlari.
- Madaniyat va meros: Arxiv matnlarini raqamlashtirish va tahlil qilish.
- Biznes: Mijozlar xizmati chatbotlari, yangiliklarni avtomatik yig'ish va saralash, sentiment tahlili.
- Tibbiyot: Tibbiy hisobotlarni avtomatik tahlil qilish.

· Huquq: Huquqiy hujjatlarni qayta ishlash va tahlil qilish.

XULOSA:

O'zbek kompyuter lingvistikasi hozirda "o'sish" bosqichida. U bir tomondan ma'lumotlar yetishmasligi, tilning murakkabligi va texnologik tayanchning zaifligi kabi jiddiy qiyinchiliklarni boshdan kechirmoqda. Biroq, ikkinchi tomondan, katta bo'sh bozor, davlat qo'llabi, zamonaviy AI texnologiyalaridan foydalanish imkoniyati va amaliy qo'llanilishning keng doirasi tufayli uning kelajagi juda yorqin.

Muhimi, bu sohaga mutaxassislar tayyorlash, sifatli ma'lumotlar bazasini yaratish va universitetlar, tadbirkorlar va davlat organlari o'rtasida samarali hamkorlikni yo'lga qo'yishdir. Agar bu qiyinchiliklar bartaraf etilsa, O'zbek kompyuter lingvistikasi tez orada O'zbekistonning raqamli iqtisodiyotiga sezilarli hissa qo'sha oladi.

ADABIYOTLAR:

[1] A.Rahimov .- Andijon davlat universiteti. Toshkent,2011.

[2] M.Abjalova.-.Toshkent,2020.

[3] D.Xudoyberganova.-Toshkent-2006

O'ZBEKISTONDA OLIY TA'LIMNING YANGI QIYOFASI: DAVLAT VA XUSUSIY UNIVERSITETLAR RIVOJINING INSTITUTSIONAL, SIFAT VA QAMROV JIHATIDAN QIYOSIY TAHLILI

Muallif: Umirzoqova Mohinur Ahrorovna

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti 1-bosqich talabasi

1st-year student at the University of Economics and Pedagogy

Студент 1-го курса Университета экономики и педагогики

E-mail: mohinurumirzoqova208@gmail.com

Annotatsiya. So'nggi o'n yil ichida O'zbekiston oliy ta'limi tarkibiy jihatdan tubdan o'zgardi: oliy ta'lim tashkilotlari soni bir necha barobar ortdi, nodavlat va xorijiy ta'lim muassasalari tizimning sezilarli qismiga aylandi, yoshlarning oliy ta'lim bilan qamrovi esa bir necha barobar kengaydi. Biroq bu miqdoriy o'sish institutsional sifat, boshqaruv modellari va ijtimoiy tenglik nuqtai nazaridan yetarlicha tahlil qilinmagan. Mazkur maqolaning maqsadi - davlat va nodavlat (shu jumladan xorijiy filial) oliy ta'lim tashkilotlarining rivojlanish yo'llarini institutsional, sifat va qamrov o'lchovlari bo'yicha yagona qiyosiy ramkada tahlil qilish. Tadqiqot nazariy-tahliliy xarakterga ega bo'lib, ilmiy adabiyotlar tahlili, me'yoriy-huquqiy hujjatlarning kontent-tahlili, ochiq rasmiy statistikaning tavsifiy tahlili hamda tizimli-qiyosiy yondashuvga asoslanadi. Tahlil natijasida oliy ta'lim rivojining "qamrov - sifat - integratsiya" uch bosqichli konseptual sxemasi taklif etiladi va ushbu sxema doirasida davlat va xususiy sektorning bir-birini to'ldiruvchi hamda raqobatlashuvchi jihatlari ajratib ko'rsatiladi. Tadqiqot shuni ko'rsatadiki, qamrovning kengayishi sifatning ortishini avtomatik ravishda kafolatlamaydi; sifat kafolati mexanizmlari, kadrlar salohiyati va ma'lumotlar shaffofligi institutsional jihatdan orqada qolgan hollarda massifikatsiya yangi tengsizlik shakllarini keltirib chiqarishi mumkin. Ishning amaliy ahamiyati sifat indikatorlarining ochiq tizimi, davlat-xususiy hamkorlik mexanizmlari va mintaqaviy tenglikni ta'minlashga qaratilgan aniq takliflarda namoyon bo'ladi.

Kalit so'zlar: Oliy ta'lim; massifikatsiya; nodavlat oliy ta'lim; xorijiy universitet filiallari; transmilliy ta'lim; universitet avtonomiyasi; ta'lim sifatini ta'minlash; akkreditatsiya; qamrov darajasi; ta'lim tengligi; universitet-sanoat hamkorligi; O'zbekiston.

Abstract. Over the past decade, higher education in Uzbekistan has undergone fundamental structural changes: the number of higher education institutions has increased several times, non-state and foreign educational institutions have become a significant part of the system, and the coverage of young people by higher education has expanded substantially. However, this quantitative growth has not been sufficiently analyzed from the perspectives of institutional quality, governance models, and social equality. The purpose of this article is to analyze the development pathways of public and non-state higher education institutions, including foreign branches, within a unified comparative framework based on institutional, quality, and access dimensions. The study is theoretical and analytical in nature and is based on a review of academic literature, content analysis of regulatory and legal documents, descriptive analysis of publicly available official statistics, and a systemic comparative approach. As a result of the analysis, a three-stage conceptual framework of higher education development—“access, quality, and integration”—is proposed. Within this framework, the complementary and competitive aspects of the public and private sectors are identified. The study demonstrates that the expansion of access does not automatically guarantee an improvement in quality. When quality assurance mechanisms, human resource capacity, and data transparency lag behind institutionally, massification may lead to new forms of inequality. The practical significance of the study is reflected in specific proposals aimed at establishing an open system of quality indicators, developing public–private partnership mechanisms, and ensuring regional equity.

Keywords: Higher education; massification; non-state higher education; foreign university branches; transnational education; university autonomy; quality assurance in education; accreditation; enrollment rate; educational equity; university–industry collaboration; Uzbekistan

Акциянотация. За последнее десятилетие система высшего образования Узбекистана претерпела коренные структурные изменения: количество организаций высшего образования увеличилось в несколько раз, негосударственные и зарубежные образовательные учреждения стали значимой частью системы, а охват молодежи высшим образованием существенно расширился. Однако данный количественный рост недостаточно изучен с точки зрения институционального качества, моделей управления и социального равенства. Целью данной статьи является анализ путей развития государственных и негосударственных организаций высшего образования, включая филиалы зарубежных вузов, в рамках единой сравнительной модели по институциональным, качественным и охватным показателям. Исследование носит теоретико-аналитический характер и основывается на анализе научной литературы, контент-анализе нормативно-правовых документов, описательном анализе открытой официальной статистики, а также системно-сравнительном подходе. В результате анализа предлагается трехэтапная концептуальная схема развития высшего образования — «охват, качество и интеграция». В рамках данной схемы выделяются взаимодополняющие и конкурентные аспекты государственного и частного секторов. Исследование показывает, что расширение охвата высшим образованием автоматически не гарантирует повышения его качества. В случаях, когда механизмы обеспечения качества, кадровый потенциал и прозрачность данных институционально отстают, массовизация высшего образования может привести к возникновению новых форм неравенства. Практическая значимость исследования заключается в конкретных предложениях, направленных на создание открытой системы показателей качества, развитие механизмов государственно-частного партнерства и обеспечение регионального равенства.

Ключевые слова: высшее образование; массовизация; негосударственное высшее образование; филиалы зарубежных университетов; транснациональное образование; автономия университета; обеспечение качества образования; аккредитация; уровень охвата высшим образованием; равенство в сфере образования; сотрудничество университета и промышленности; Узбекистан.

Kirish. Oliy ta'lim tizimlarining jadal kengayishi XX asrning ikkinchi yarmidan boshlab global hodisaga aylandi va bugungi kunda rivojlanayotgan mamlakatlarda ayniqsa kuchli namoyon bo'lmoqda. O'zbekiston bu jarayonning o'ziga xos misolidir: mustaqillikning dastlabki o'n yilliklarida qamrov darajasi past bo'lib qolgan tizim so'nggi o'n yilda favqulodda tez sur'atda kengaydi. Milliy statistika qo'mitasi ma'lumotlariga ko'ra, 2024/2025-o'quv yili boshida oliy ta'lim muassasalarida tahsil olayotgan talabalar soni 1 432 800 nafarni tashkil etgan va bu ko'rsatkich 2015/2016-o'quv yiliga nisbatan 5,4 barobar ko'p.

Miqdoriy o'sish bilan bir qatorda tizimning institutsional tarkibi ham o'zgardi. 2025/2026-o'quv yili boshida mamlakatda filiallar bilan birga jami 215 ta oliy ta'lim tashkiloti faoliyat yuritgan, shundan 97 tasi nodavlat, 30 tasi esa xorijiy oliy ta'lim tashkiloti hisoblanadi; oliy ta'lim tashkilotlarining eng katta qismi - 98 tasi Toshkent shahrida joylashgan, eng kam ko'rsatkich esa Sirdaryo viloyatida (3 ta) qayd etilgan. Bu raqamlar tizimda ikki muhim jarayon - sektoral diversifikatsiya va hududiy konsentratsiya - bir vaqtda kechayotganini ko'rsatadi.

Ilmiy muammo aynan shu nuqtada shakllanadi. Xalqaro adabiyotda oliy ta'lim kengayishining sifat va tenglikka ta'siri uzoq yillardan beri munozara mavzusi bo'lib kelgan, xususiyl sektorning o'rni esa alohida tadqiqot yo'nalishiga aylangan. Biroq O'zbekiston bo'yicha mavjud tadqiqotlarning katta qismi yo davlat sektoridagi islohotlarni tavsiflashga, yo alohida universitetlar tajribasini bayon etishga qaratilgan. Davlat va nodavlat sektorni yagona qiyosiy ramkada, institutsional, sifat va qamrov o'lchovlari bo'yicha birgalikda tahlil qiluvchi ishlar kam uchraydi. Bu esa siyosat qarorlarining empirik va konseptual asosini zaiflashtiradi.

Maqolaning maqsadi - O'zbekiston oliy ta'limida davlat va nodavlat sektorlarining rivojlanish yo'llarini yagona qiyosiy tahlil ramkasida o'rganish va shu asosda tizim rivojining konseptual sxemasini ishlab chiqish. Tadqiqot quyidagi savollarga javob izlaydi: O'zbekistonda oliy ta'lim qamrovining kengayishi institutsional jihatdan qanday shakllarda kechdi? Davlat va nodavlat oliy ta'lim tashkilotlari bir-birini to'ldiradimi yoki raqobatlashadimi? Sifat kafolati va avtonomiya mexanizmlari qamrovning kengayishiga qanchalik mos ravishda rivojlandi? Xorijiy universitet filiallari mahalliy tizimga qanday institutsional ta'sir ko'rsatishi mumkin? Qaysi siyosat vositalari qamrov, sifat va tenglik o'rtasidagi muvozanatni ta'minlashga xizmat qiladi?

Ishning ilmiy yangiligi uch jihatda namoyon bo'ladi: Trow massifikatsiya nazariyasi va Levy xususiyl oliy ta'lim tasnifini O'zbekiston kontekstiga tanqidiyl tarzda moslashtirish; davlat va xususiyl sektorni bir xil o'lchovlar bo'yicha taqqoslovchi matritsa taklif etish; oliy ta'lim rivojini "qamrov - sifat - integratsiya" bosqichlari orqali izohlovchi konseptual sxemani ishlab chiqish.

Adabiyotlar tahlili. Massifikatsiya va universallashuv nazariyasi. Oliy ta'lim kengayishini tushuntiruvchi eng ta'sirchan nazariyl ramkani Martin Trow taklif qilgan. U tizimlarni qamrov darajasiga qarab elitar, ommaviyl (massifikatsiyalashgan) va universal bosqichlarga ajratadi hamda har bir bosqichda universitetning funksiyasi, boshqaruv usuli, o'quv jarayoni va talabalar tarkibi sifat jihatidan o'zgarishini ta'kidlaydi. Trowning asosiy tezisi shundan iboratki, qamrovning ortishi shunchaki miqdoriyl o'sish emas, balki institutsional bosimdir: eski elitar modeldagi boshqaruv va akademik amaliyotlar yangi miqyosga mos kelmay qoladi.

Shu bilan birga Trowning o'zi bu bosqichlarni real tizimlarning empirik tavsifi emas, balki ideal tiplar sifatida taqdim etganini alohida qayd etgan. Bu muhim metodologik ogohlantirish: qamrov foizining ma'lum chegaradan o'tishi tizimning avtomatik ravishda "ommaviyl" sifatga ega bo'lishini anglatmaydi. Marginson bu yondashuvni yanada rivojlantirib, yuqori ishtirokli tizimlarda (high participation systems) kengayish ko'pincha vertikal tabaqalanish bilan birga kechishini, ya'ni tizim ichida prestij ierarxiyasi kuchayishini ko'rsatadi (Marginson, 2016). Trow tabaqalanishni kengayishning tabiiyl oqibati sifatida ko'rsa, Marginson uni siyosat orqali boshqarilishi mumkin bo'lgan tarkibiy hodisa deb qaraydi - ikki yondashuv o'rtasidagi bu farq O'zbekiston kabi tez kengayayotgan tizimlarni tahlil qilishda amaliyl ahamiyatga ega.

Xususiy oliy ta'lim va davlat–xususiy sektor munosabati. Xususiy oliy ta'limni tizimli o'rganish an'anasi Daniel Levy nomi bilan bog'liq. Levy xususiy sektorning global kengayishi ko'p hollarda oldindan rejalashtirilgan siyosat natijasi emas, balki davlat sektorining talabni qoplay olmasligiga javoban stixiyali tarzda yuzaga kelganini ko'rsatadi. Uning tasnifiga ko'ra, xususiy oliy ta'lim tashkilotlarini shartli ravishda uch guruhga ajratish mumkin: o'ziga xos identitetga asoslangan (diniy, etnik, mintaqaviy) muassasalar; elitar va yarim elitar (semi-elite) muassasalar; hamda talabni qoplovchi (demand-absorbing) muassasalar. Levy keyinchalik bu tasnifni kengaytirib, muassasalarni identitet, maqom va maqsad o'lchovlari bo'yicha farqlashni taklif qilgan.

Levyning empirik tadqiqoti xususiy sektor global talabalar kontingentining taxminan uchdan birini (32,9 %) qamrab olishini va dunyo talabalarining ezigul ko'pchiligi ikki sektorli (dual-sector) tizimlarda tahsil olishini ko'rsatgan. Bu ma'lumot muhim metodologik xulosaga olib keladi: zamonaviy oliy ta'lim tizimlarini faqat davlat sektori doirasida tahlil qilish tizimning haqiqiy tarkibini buzib ko'rsatadi.

Marginson esa “davlat” va “xususiy” tushunchalarining o'zi ko'p qatlamli ekanini ta'kidlaydi: mulkchilik shakli, moliyalashtirish manbai va ijtimoiy foyda ishlab chiqarish mantiqi har doim ham mos kelavermaydi. Bu qarash Levyning mulkchilikka asoslangan tasnifini to'ldiradi va bir qadar bahsli tarzda uni murakkablashtiradi: davlat universiteti kontrakt to'lovlariga tayanganda iqtisodiy jihatdan bozor mantiqida ishlashi, xususiy universitet esa davlat topshirig'ini bajarishi mumkin. O'zbekiston kontekstida bu nuqta ayniqsa dolzarb, chunki davlat oliy ta'lim tashkilotlarida ham talabalarning sezilarli qismi to'lov-kontrakt asosida o'qiydi.

Post-sovet va Markaziy Osiyo konteksti. Post-sovet mamlakatlari oliy ta'limi bo'yicha adabiyotlar ikki asosiy mavzuga urg'u beradi: sovet merosining institutsional inersiyasi va xalqaro modellarning tarqalishi. Silova tahriridagi jamlanma Markaziy Osiyo ta'lim islohotlarini “chekkadagi globallashuv” sifatida tavsiflaydi va xalqaro andozalarning mahalliy kontekstda qayta talqin qilinishi, ba'zan esa faqat rasmiy darajada qabul qilinishini ko'rsatadi. Heyneman va hammualliflari esa post-sovet oliy ta'limida korrupsiya amaliyotlari nafaqat axloqiy, balki iqtisodiy muammo ekanini, ya'ni oliy ma'lumotning mehnat bozoridagi qiymatini pasaytirishini empirik tarzda ko'rsatgan. Ushbu tadqiqot olti mamlakat talabalari so'rovnomasiga asoslangan bo'lib, O'zbekistonni bevosita qamramagan; shu sababli uning xulosalarini mamlakatimizga to'g'ridan-to'g'ri ko'chirish emas, balki tahliliy gipoteza sifatida qo'llash o'rinli.

Bevosita O'zbekiston bo'yicha eng tizimli ishlardan biri Ruziev va Burkhanovning tadqiqotidir. Mualliflar mustaqillikdan keyingi islohotlarning “qat'iy yuqoridan pastga” xarakteri qamrovni kengaytirish, moddiy-texnik baza va kadrlar salohiyatini mustahkamlash borasida kutilgan natijalarni bermaganini asoslaydilar. Majidov, Ghosh va Ruziev esa oliy ta'lim tizimining iqtisodiy o'zgarishlarga moslashuvini tahlil qilib, moliyalashtirish tuzilmasidagi cheklovlar sifatini belgilovchi asosiy omillardan biri ekanini ko'rsatadi. Bu ishlar tarixiy chuqurlikka ega bo'lsa-da, 2017-yildan keyingi tarkibiy o'zgarishlarni - ayniqsa nodavlat sektorning jadal kengayishini - to'liq qamrab ololmaydi. Aynan shu bo'shliq mazkur maqolaning o'rnini belgilaydi.

Avtonomiya, boshqaruv va sifat kafolati. Universitet avtonomiyasi zamonaviy adabiyotda yaxlit tushuncha emas, balki ko'p o'lchovli konstruksiya sifatida qaraladi. Yevropa universitetlar assotsiatsiyasining avtonomiya skorkarti uni tashkiliy, moliyaviy, kadrlar va akademik avtonomiya o'lchovlariga ajratadi. Bu tabaqalashtirish muhim, chunki tizimlar ko'pincha bir o'lchovda erkinlik berib, boshqasida nazoratni saqlab qoladi: masalan, universitetga o'quv dasturini belgilash huquqi berilishi mumkin, ammo moliyaviy resurslarni mustaqil taqsimlash imkoni cheklangan bo'ladi.

Avtonomiya hisobdorlik bilan juftlikda ishlaydi. Sifat kafolati va akkreditatsiya tizimlari aynan shu juftlikni institutsionallashtiruvchi mexanizm hisoblanadi: davlat bevosita boshqaruvdan voz kechib, natijalarni baholash orqali “masofadan boshqarish”ga o'tadi. Kroulov O'zbekistondagi sifat kafolati tizimining transformatsiyasini tahlil qilib, tashqi va ichki sifat kafolati mexanizmlarini joriy etish jarayoni asosan xalqaro loyihalar ko'magida kechganini va sifat madaniyatining shakllanishi institutsional o'zgarishlardan sekinroq borishini qayd etadi.

Reyting tizimlari esa alohida tahlil talab qiladi. Hazelkorn xalqaro reytinglar universitetlar va hukumatlar xulq-atvorini o'zgartiruvchi kuchli signalga aylanganini, ammo ular baholaydigan ko'rsatkichlar tizimning barcha muhim funksiyalarini qamrab olmasligini ko'rsatadi. Bu - reytinglarga haddan tashqari yo'naltirilgan siyosat tizimning o'qitish sifati va mintaqaviy tenglik kabi jihatlarini soyada qoldirishi mumkinligini anglatadi.

Transmilliy ta'lim va xorijiy filiallar. Transmilliy ta'lim (transnational education) - ta'lim oluvchi bir mamlakatda bo'lib, ta'lim dasturi va diplomi boshqa mamlakat muassasasiga tegishli bo'lgan barcha shakllarni qamrab oluvchi umumiy tushuncha. Knight bu sohadagi terminologik chalkashlikni bartaraf etish uchun yagona ramka taklif qilib, dastur mobilligi va provayder mobilligini ajratadi. Xorijiy universitet filiali (international branch campus) - provayder mobilligining eng kapital talab qiluvchi shakli bo'lib, Lane va Kinser uni boshqaruv nuqtai nazaridan "ko'p millatli universitet" muammosi sifatida tahlil qiladi: filial bir vaqtning o'zida ikki huquqiy va akademik muhitga bo'ysunadi.

Altbach va Knight internatsionalizatsiya motivlarini tijoriy manfaat, bilim va til orttirish, o'quv dasturini xalqarolashtirish kabi guruhlariga ajratadi hamda filiallar va transchegaraviy hamkorlik shakllari sifat nazorati bo'yicha alohida xavflar tug'dirishini ta'kidlaydi. Bu qarash O'zbekistonda xorijiy filiallar sonining o'sishini baholashda ehtiyotkorlik talab qiladi: filialning mavjudligi o'z-o'zidan sifat transferini kafolatlamaydi, balki uni ta'minlovchi shartlar - professor-o'qituvchilar tarkibi, tadqiqot faoliyati, boshqaruv modeli - alohida tekshirilishi lozim.

Xalqaro tashkilotlar hisobotlari. Jahon banki hisoboti O'zbekiston oliy ta'limining 2010-yillar o'rtasidagi holatini past qamrov, bitiruvchilar ko'nikmalarining mehnat bozori talablariga mos kelmasligi va boshqaruvning tarqoqligi bilan tavsiflagan; shuningdek, ta'limga ajratilgan umumiy davlat xarajatlari YalMga nisbatan yuqori bo'lsa-da, oliy ta'lim ulushi juda past darajada (taxminan 0,4 %) ekani qayd etilgan. Bu ko'rsatkich o'n yildan ortiq vaqt oldingi holatga tegishli bo'lib, joriy holatni baholash uchun yangilangan rasmiy statistikani tekshirish zarur.

BMT va UNICEF ko'magida tayyorlangan ta'lim sektori tahlili esa 2019–2023-yillardagi islohotlar doirasidagi ustuvorliklar va tavsiyalarni tizimlashtirgan. Bu hisobotlar mazkur maqola uchun birlamchi empirik manba emas, balki kontekstni belgilovchi va gipotezalarni shakllantiruvchi asos sifatida xizmat qiladi.

Adabiyotlar tahlilining umumlashtirilishi. Ko'rib chiqilgan manbalarni to'rt guruhga ajratish mumkin. Birinchidan, o'xshash qarashlar: Trow, Marginson va Levy kengayish tizimning ichki tarkibini o'zgartirishini, ya'ni miqdoriy o'sish institutsional differentsiatsiyani keltirib chiqarishini bir ovozdan tan oladi. Ikkinchidan, bir-birini to'ldiruvchi qarashlar: Levy mulkchilik asosida tasniflasa, Marginson moliyalashtirish va ijtimoiy foyda mantiqi asosida tahlil qiladi - ular birgalikda ancha to'liq manzara beradi. Uchinchidan, bahsli nuqtalar: Levy xususiy sektorni asosan talabni qoplovchi mexanizm deb baholasa, transmilliy ta'lim adabiyoti xorijiy provayderlarni sifat standartlarini olib kiruvchi omil sifatida ham ko'radi; bu ziddiyat empirik tarzda hal qilinishi kerak. To'rtinchidan, kontekstual manbalar: O'zbekiston bo'yicha ishlar tarixiy va institutsional fonni beradi, ammo 2017-yildan keyingi sektoral qayta tuzilishni to'liq qamramaydi.

Shunday qilib, mavjud adabiyotlarda uchta bo'shliq aniqlanadi: (a) O'zbekistonda davlat va nodavlat sektorni bir xil o'lchovlar bo'yicha taqqoslovchi tizimli tahlilning yetishmasligi; (b) qamrov, sifat va tenglik o'rtasidagi o'zaro bog'liqlikni yagona konseptual sxemada birlashtirishga urinishlarning kamligi; (v) xorijiy filiallarning mahalliy tizimga institutsional ta'sirini baholovchi mezonlarning ishlab chiqilmaganligi. Mazkur maqola aynan shu bo'shliqlarga yo'naltirilgan.

Tadqiqot metodologiyasi. Tadqiqot nazariy-tahliliy xarakterga ega. Muallif tomonidan birlamchi empirik ma'lumot (so'rovnoma, intervyu yoki institutsional dataset) to'planmagan, shu sababli ishda hech qanday empirik natija taqdim etilmaydi. Barcha xulosalar ikkilamchi manbalar - ilmiy adabiyotlar, me'yoriy hujjatlar va ochiq rasmiy statistika - tahlili asosida shakllantirilgan.

Qo'llanilgan usullar:

- Ilmiy adabiyotlar tahlili: massifikatsiya, xususiy oliy ta'lim, avtonomiya, sifat kafolati va transmilliy ta'lim bo'yicha xalqaro manbalar tematik tarzda guruhlangan va qiyosiy tahlil qilingan.

- Me'yoriy hujjatlarning kontent-tahlili: oliy ta'lim sohasidagi qonunchilik va konseptual hujjatlar maqsadli parametrlar, boshqaruv vakolatlari va sifat nazorati mexanizmlari bo'yicha kodlangan.

- Ochiq statistikaning tavsifiy tahlili: oliy ta'lim tashkilotlari soni, sektoral taqsimot va hududiy joylashuv bo'yicha rasmiy ma'lumotlar qiyoslangan.

- Qiyosiy tahlil: davlat va nodavlat sektorlar to'rt o'lchov (institutsional maqom va boshqaruv; moliyalashtirish; qamrov va kirish imkoniyati; sifat va tadqiqot salohiyati) bo'yicha taqqoslangan.

- Tizimli tahlil hamda induktiv va deduktiv yondashuvlarning birgalikda qo'llanilishi: nazariy tushunchalardan mahalliy kontekstga (deduktiv) va statistik tendensiyalardan umumlashmalarga (induktiv) harakat qilingan.

Tadqiqotning cheklovlari ochiq tarzda qayd etiladi. Birinchidan, sektorlar bo'yicha talabalar kontingentining taqsimoti, professor-o'qituvchilar tarkibi va bitiruvchilarning bandlik ko'rsatkichlari bo'yicha to'liq va uzluksiz ochiq ma'lumotlar mavjud emas; bu qiyosiy tahlilning chuqurligini cheklaydi. Ikkinchidan, turli rasmiy manbalarda oliy ta'lim tashkilotlari soni va qamrov darajasi bo'yicha keltirilgan raqamlar o'zaro to'liq mos kelmaydi (masalan, qamrov darajasi 42 %, 43 %, 44 % va 45,8 % sifatida turli manbalarda uchraydi), bu esa hisoblash metodologiyasidagi farqlar bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Uchinchidan, tadqiqot sabab-oqibat bog'liqligini aniqlashga da'vo qilmaydi: bayon etilgan aloqalar assotsiativ xarakterga ega.

Kelgusi empirik tadqiqot dizayni sifatida quyidagini taklif qilish mumkin. Tanlanma: davlat, nodavlat va xorijiy filial toifalaridan stratifikatsiyalangan tarzda tanlangan kamida 30 ta oliy ta'lim tashkiloti. Ko'rsatkichlar: talaba-o'qituvchi nisbati; ilmiy darajali professor-o'qituvchilar ulushi; bir o'qituvchiga to'g'ri keladigan xalqaro indekslardagi nashrlar soni; bitiruvchilarning 12 oylik bandlik darajasi; kontrakt to'lovining o'rtacha daromadga nisbati; hududiy va ijtimoiy kelib chiqish bo'yicha talabalar tarkibi. Instrumentlar: institutsional ma'lumotlar so'rovnomasi, ma'muriy ma'lumotlar bazasi va bitiruvchilarni kuzatuv tadqiqoti (tracer study). Ushbu dizayn hozircha taklif darajasida bo'lib, uning natijalari mazkur maqolada keltirilmaydi.

Natijalar. Davlat va nodavlat sektorlarning rivojlanish yo'llari. Tahlil O'zbekiston oliy ta'lim tizimida ikki sektorning bir xil emas, balki bir-birini to'ldiruvchi tarixiy traektoriyalar bo'ylab rivojlanganini ko'rsatadi. Davlat sektori sovet davridan meros qolgan tarmoq ixtisoslashuviga asoslanadi: pedagogika, tibbiyot, qishloq xo'jaligi, texnika yo'nalishlari bo'yicha alohida institutlar tarmog'i mamlakat hududlari bo'ylab taqsimlangan. Bu sektorning kengayishi asosan mavjud muassasalarda o'rinlarni ko'paytirish, yangi filiallar ochish va yangi davlat universitetlari tashkil etish hisobiga yuz bergan.

Nodavlat sektor esa butunlay boshqa mantiq bo'yicha shakllandi. U 2017-yildan keyingi liberallashtirish siyosati sharoitida, asosan yuqori talab mavjud bo'lgan iqtisodiyot, biznes boshqaruvi, axborot texnologiyalari va xorijiy tillar yo'nalishlarida, geografik jihatdan esa poytaxtga kuchli konsentratsiyalangan holda o'sdi. Rasmiy statistikaga ko'ra, 2022/2023-o'quv yilida mamlakatda 211 ta oliy ta'lim muassasasi - 112 ta davlat, 69 ta nodavlat va 30 ta xorijiy muassasa - faoliyat yuritgan, 2025/2026-o'quv yili boshiga kelib esa nodavlat oliy ta'lim tashkilotlari soni 97 taga yetib, jami tashkilotlarning qariyb yarmini tashkil etgan.

Levy tasnifi nuqtai nazaridan qaraganda, O'zbekistondagi nodavlat sektorning katta qismi talabni qoplovchi (demand-absorbing) turga yaqin turadi: ular davlat sektori qoplay olmagan talabni to'lov-kontrakt asosida qabul qiladi va asosan kam kapital talab qiladigan yo'nalishlarda faoliyat yuritadi. Ayni paytda ayrim muassasalar xalqaro hamkorlik, chet tilida o'qitish va akkreditatsiya orqali yarim elitar (semi-elite) pozitsiyaga da'vo qilmoqda. Bu ikki toifaning nisbati - nodavlat

sektorning kelgusidagi sifat traektoriyasini belgilovchi asosiy omil bo'lib, uni aniq baholash uchun institutsional darajadagi ochiq ma'lumotlar zarur; hozircha bunday ma'lumotlar to'liq mavjud emas.

Qamrov, sifat va tenglik o'rtasidagi muvozanat. Qamrov ko'rsatkichining o'sishi tizimning eng ko'zga tashlanadigan yutug'i hisoblanadi. Turli rasmiy va xalqaro manbalarda bu ko'rsatkich 2016-yildagi 9 % dan 2023-yilda 42 % ga yetgani, 2023-yil uchun Jahon banki ma'lumotlar bazasida 45,8 % (yalpi qamrov koeffitsiyenti) va 2025-yil uchun 44 % sifatida keltiriladi. Ko'rsatkichlar orasidagi farq hisoblash metodologiyasi (yalpi yoki sof qamrov, xorijda o'qiyotganlarning hisobga olinishi) bilan izohlanishi mumkin; aniq taqqoslash uchun metodologiyasi ko'rsatilgan rasmiy statistikani tekshirish zarur. Trow tasnifiga ko'ra, bu darajadagi qamrov tizimni ommaviy bosqichning o'rta qismiga joylashtiradi; 2030-yilga mo'ljallangan 50 % maqsadi esa universal bosqich chegarasiga yaqinlashishni ko'zda tutadi.

Biroq qamrovning kengayishi uchta yangi muammoni yuzaga keltiradi. Birinchidan, o'qituvchilar salohiyati: talabalar soni bir necha barobar ortgan sharoitda ilmiy darajali professor-o'qituvchilar ulushining mos ravishda o'sishi uzoq vaqt talab qiladi, chunki doktorantura sikli qisqartirilmaydi. Ikkinchidan, hududiy tengsizlik: oliy ta'lim tashkilotlarining 98 tasi Toshkent shahrida, 3 tasi esa Sirdaryo viloyatida joylashgani geografik kirish imkoniyatidagi jiddiy nomutanosiblikni ko'rsatadi. Uchinchidan, moliyaviy kirish imkoniyati: nodavlat sektor asosan to'lov asosida ishlagani uchun uning kengayishi qamrovni oshirishi, ammo bir vaqtning o'zida kirish imkoniyatini oila daromadiga bog'lab qo'yishi mumkin.

Shuni ta'kidlash zarurki, bu uch muammo o'rtasidagi bog'liqlik mazkur tahlilda sabab-oqibat zanjiri sifatida emas, balki mavjud nazariy adabiyot asosida shakllantirilgan ehtiyotkor gipoteza sifatida taqdim etiladi.

Avtonomiya, moliyalashtirish va boshqaruv. Me'yoriy hujjatlar tahlili boshqaruv modelida sezilarli siljishni ko'rsatadi. "Ta'lim to'g'risida"gi Qonun ta'lim tashkilotlarining davlat akkreditatsiyasi, davlat ta'lim standartlari va sifat ustidan nazorat tartibini belgilaydi hamda nodavlat ta'lim tashkilotlarida sifat nazorati va monitoringi tadbirkorlik subyektlarining huquqlarini himoya qilish tartib-qoidalarini hisobga olgan holda amalga oshirilishini nazarda tutadi. Oliy ta'lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasi esa avtonomiyani kengaytirish, moliyalashtirish manbalarini diversifikatsiya qilish va xalqaro tan olinishni oshirishni maqsadli parametrlar sifatida belgilagan.

Yevropa avtonomiya skorkarti o'lchovlari doirasida qaralganda, O'zbekiston tajribasi assimetrik xususiyatga ega: akademik va tashkiliy o'lchovlarda erkinlik kengaytirilgan, moliyaviy va kadrlar o'lchovlarida esa markazlashtirilgan nazorat elementlari saqlanib qolgan. Ayrim manbalarda davlat oliy ta'lim muassasalarining bir qismi moliyaviy va akademik jihatdan avtonom maqomga o'tkazilgani qayd etiladi; bu ma'lumotning joriy holati va aniq soni bo'yicha rasmiy statistikani tekshirish zarur.

Nodavlat sektorda avtonomiya masalasi boshqacha ko'rinish oladi. Bu yerda tashkiliy va kadrlar avtonomiyasi darajasi yuqori, ammo hisobdorlik mexanizmlari - ayniqsa ta'lim natijalari va moliyaviy shaffoflik bo'yicha - hali shakllanish bosqichida. Bu assimetriya sifat kafolati tizimi uchun alohida muammo tug'diradi: bir xil diplomni beruvchi muassasalar turli darajadagi nazorat rejimlarida faoliyat yuritadi.

Xorijiy hamkorlik va filiallarning ta'siri. 2025/2026-o'quv yili boshida mamlakatda faoliyat yuritayotgan xorijiy oliy ta'lim tashkilotlari soni 30 tani tashkil etgan. Transmilliy ta'lim adabiyotiga tayanib, ularning potensial ta'sirini uch kanal orqali izohlash mumkin. Birinchi kanal - dastur transferi: o'quv rejalari, baholash usullari va sifat kafolati amaliyotlarining mahalliy muhitga kirib kelishi. Ikkinchi kanal - raqobat effekti: xorijiy provayderlarning mavjudligi mahalliy muassasalarni o'quv dasturlarini yangilashga va xizmat sifatini oshirishga undashi mumkin. Uchinchisi kanal - kadrlar effekti: filiallarda ishlash tajribasi mahalliy professor-o'qituvchilar malakasini oshirishi mumkin.

Ayni paytda adabiyot bir qator xavflarni ham ko'rsatadi. Filial o'quv dasturini olib kelsa-da, ona muassasaning tadqiqot muhitini ko'chirmasligi mumkin; "ikki tomonlama bo'ysunish" boshqaruv ziddiyatlarini keltirib chiqaradi; yuqori kontrakt to'lovlari kirish imkoniyatini toraytiradi; nihoyat, mahalliy muassasalardan malakali kadrlarning oqib o'tishi davlat sektorining salohiyatini zaiflashtirishi mumkin. Shu sababli filiallar sonining ortishini yutuq ko'rsatkichi sifatida emas, balki institutsional ta'sir jihatidan baholanishi kerak bo'lgan jarayon sifatida talqin qilish maqsadga muvofiq.

Kadrlar salohiyati, ilmiy tadqiqot va mehnat bozori bilan uzviylik. Kadrlar salohiyati tizimning eng inert komponenti hisoblanadi. Rasmiy ma'lumotlarga ko'ra, 2025-yilda professor-o'qituvchilar tomonidan Scopus va Web of Science bazalarida 4 514 ta maqola chop etilgan, oliy ta'limdan keyingi ta'lim tashkilotlari soni 249 taga yetgan, doktorantura qabul kvotasi esa 5 300 taga oshirilgan. Bu ko'rsatkichlar ijobiy dinamikaning ko'rsatadi, ammo ularni talabalar sonining o'sishi bilan solishtirmasdan baholash mumkin emas: nisbiy ko'rsatkichlar (bir o'qituvchiga to'g'ri keladigan nashrlar soni, ilmiy darajali o'qituvchilar ulushi) mavjud ochiq manbalarda to'liq berilmagan va ularni rasmiy statistikadan tekshirish zarur.

Xalqaro reytinglardagi ishtirok ham kengaydi: 2025-yil natijalariga ko'ra, O'zbekistondan yetti universitet QS jahon reytingiga kirgan, uchasi TOP-1000 ro'yxatida qayd etilgan. Hazelkornning ogohlantirishini hisobga olganda, bu ko'rsatkichlarni tizim sifatining yagona o'lchovi sifatida qabul qilish noto'g'ri bo'lardi: reytinglar asosan tadqiqot ko'rsatkichlariga sezgir bo'lib, o'qitish sifati va mehnat bozori bilan uzviylikni to'g'ridan-to'g'ri o'lchamaydi.

Mehnat bozori bilan uzviylik masalasida Jahon banki hisobotidagi tashxis - bitiruvchilar ko'nikmalarining iqtisodiyot talablariga to'liq mos kelmasligi - o'z dolzarbligini saqlab qolgan bo'lishi mumkin, ammo bu tashxisning joriy holatga nisbatan amal qilish darajasini baholash uchun bitiruvchilarni kuzatuv tadqiqotlari natijalari kerak; bunday muntazam va ochiq tadqiqotlar hozircha mavjud emas.

Qiyosiy tahlil matritsasi. Yuqoridagi tahlil natijalarini to'rt o'lchovli qiyosiy matritsa shaklida umumlashtirish mumkin. Institutsional maqom va boshqaruv o'lchovida davlat sektori vazirlik vertikal va davlat standartlariga bog'langan, nodavlat sektor esa ta'sischi boshqaruviga tayanadi, xorijiy filiallar bo'lsa ikki tomonlama tartibga solishga bo'ysunadi. Moliyalashtirish o'lchovida davlat sektori aralash (budjet va kontrakt) manbalarga, nodavlat sektor deyarli to'liq kontrakt to'loviga, filiallar esa kontrakt va ona muassasa investitsiyasiga tayanadi. Qamrov va kirish imkoniyati o'lchovida davlat sektori hududiy qamrovni ta'minlaydi, nodavlat sektor qo'shimcha talabni qoplaydi, biroq ikkalasi ham to'lov to'sig'ini keltirib chiqaradi. Sifat va tadqiqot salohiyati o'lchovida davlat sektorida tarixan shakllangan ilmiy maktablar va doktorantura tizimi mavjud, nodavlat sektorda esa tadqiqot funksiyasi hozircha zaif rivojlangan.

Bu matritsa shuni ko'rsatadiki, ikki sektor bir xil bozorda emas, balki qisman ustma-ust tushuvchi turli segmentlarda faoliyat yuritadi. Shu sababli ular o'rtasidagi munosabatni faqat "raqobat" yoki faqat "to'ldiruvchanlik" tarzida izohlash soddalashtirish bo'lardi.

Muhokama. Nima uchun qamrovning oshishi sifatning oshishini kafolatlamaydi?

Trow ko'rsatganidek, qamrovning ortishi tizimning barcha komponentlariga bir xil tezlikda ta'sir qilmaydi. Talabalar sonini oshirish nisbatan tez amalga oshiriladigan qaror bo'lsa, ilmiy darajali o'qituvchi tayyorlash, laboratoriya bazasini shakllantirish va sifat madaniyatini o'rnatish uzoq muddatli jarayonlardir. Natijada tizimda vaqt lagi yuzaga keladi: miqdoriy ko'rsatkichlar oldinda, institutsional sifat esa orqada boradi. Krouglov qayd etgan sifat madaniyatining sekin shakllanishi aynan shu lagning bir ko'rinishidir. Demak, qamrov va sifat o'rtasidagi munosabat avtomatik emas, balki oraliq institutsional o'zgaruvchilar - kadrlar siyosati, sifat kafolati va moliyalashtirish mexanizmi - orqali vositalanadi.

Davlat va xususiy sektor: raqobatmi yoki to'ldiruvchanlik? Levy tahlili xususiy sektorning asosiy vazifasi ko'pincha talabni qoplash ekanini ko'rsatadi; bu holda munosabat to'ldiruvchi

xarakterga ega bo'ladi. Biroq Marginson eslatganidek, mulkchilik shakli sektorlarning haqiqiy xulq-atvorini to'liq belgilamaydi. O'zbekiston kontekstida davlat oliy ta'lim tashkilotlarida ham kontrakt asosidagi ta'lim keng tarqalgani uchun ikki sektor bir xil to'lovchi talabalar segmentida to'qnashadi. Shunday qilib, munosabat ikki qatlamli: byudjet grantlari segmentida davlat sektori raqobatsiz pozitsiyada, kontrakt segmentida esa sektorlar o'rtasida real raqobat mavjud. Bu raqobatning sifatga ta'siri ijobiy ham, salbiy ham bo'lishi mumkin - natija sifat kafolati va axborot shaffofligi darajasiga bog'liq: agar talabalar va ota-onalar muassasalarni ishonchli ko'rsatkichlar asosida taqqoslay olmasa, raqobat sifat emas, marketing bo'yicha kechadi.

Xususiy sektor va ta'lim tengligi. Xususiy sektorning tenglikka ta'siri nazariy jihatdan ikki tomonlama. Bir tomondan, u umumiy o'rinlar sonini oshirib, ilgari oliy ta'limdan tashqarida qolgan yoshlarga imkoniyat yaratadi - bu qamrov tengligini yaxshilaydi. Ikkinchi tomondan, agar xususiy muassasalar deyarli faqat to'lov asosida ishlasa va grant yoki ta'lim krediti tizimi zaif bo'lsa, kirish imkoniyati oila daromadiga bog'liq bo'lib qoladi - bu esa natijaviy tenglikni yomonlashtiradi. Bundan tashqari, xususiy sektorning yirik shaharlarga konsentratsiyalashuvi hududiy tengsizlikni kuchaytirishi mumkin. Shu sababli xususiy sektor tenglikka nisbatan neytral emas: uning yakuniy ta'siri moliyaviy qo'llab-quvvatlash siyosatiga bog'liq.

Avtonomiya va hisobdorlik muvozanati. Avtonomiya hisobdorliksiz institutsional mas'uliyatsizlikka, hisobdorlik avtonomiyasiz esa formal bajarishga olib keladi. Pruvot va Estermann ramkasi shuni ko'rsatadiki, muvozanat yagona retsept emas, balki o'lchovlar bo'yicha aniq taqsimlangan vakolatlar majmuasidir. O'zbekiston uchun mantiqiy yo'nalish - akademik va tashkiliy avtonomiyani kengaytirish bilan bir vaqtda natijaga asoslangan hisobdorlikni (ta'lim natijalari, bitiruvchilar bandligi, moliyaviy shaffoflik) institutsionallashtirish. Bunda nazoratning markazi jarayondan (soatlar, hujjatlar) natijaga (kompetensiyalar, bandlik, tadqiqot mahsuldorligi) ko'chirilishi kerak.

Xorijiy filiallar: imkoniyat va xavflar. Xorijiy filiallar mahalliy tizimga yangi o'quv dasturlari, baholash amaliyotlari va boshqaruv madaniyatini olib kirishi mumkin. Ayni paytda ular tadqiqot funksiyasini kamdan-kam ko'chiradi, yuqori to'lov orqali segmentatsiyani kuchaytiradi va mahalliy muassasalardan kadrlarni jalb qiladi. Adabiyot filial faoliyatini baholashda uch mezonni taklif qiladi: dastur va diplomning ona muassasa standartlariga muvofiqligi; mahalliy akademik jamoaga integratsiya darajasi; mahalliy tizimga bilim va amaliyot transferi. O'zbekistonda bu mezonlar bo'yicha muntazam monitoring tizimi hali shakllantirilmagan.

Xalqaro modellarni ko'chirishning chegaralari. Silova ta'kidlaganidek, post-sotsialistik kontekstda xalqaro modellar ko'pincha rasmiy darajada qabul qilinib, amaliyotda mahalliy institutsional mantiqqa moslashtiriladi. Bu - siyosat transferining muqarrar xususiyati, ammo u modellarning kutilgan samarasini pasaytiradi. Amaliy xulosa shundan iboratki, chet el modelini (masalan, muayyan akkreditatsiya tizimini yoki moliyalashtirish formulasini) ko'chirishdan oldin uning ishlashi uchun zarur bo'lgan institutsional shartlar - ma'lumotlar infratuzilmasi, mustaqil ekspertlar korpusi, huquqiy kafolatlar - mavjudligi baholanishi kerak.

Ilmiy yangilik. Mazkur maqolaning ilmiy yangiligi to'rt jihatda ifodalanadi. Birinchidan, O'zbekiston oliy ta'limi rivojini "qamrov - sifat - integratsiya" uch bosqichli konseptual sxema orqali tahlil qilish taklif etiladi. Sxemaga ko'ra, birinchi bosqichda tizimning asosiy vazifasi o'rinlar sonini oshirish, ikkinchi bosqichda - kengaygan tizimni sifat mexanizmlari bilan ta'minlash, uchinchi bosqichda esa oliy ta'limni tadqiqot, innovatsiya va mehnat bozori bilan uzviy bog'lash hisoblanadi. Bu bosqichlar ketma-ket emas, balki bir-birining ustiga qisman tushadi; ularning nomutanosib rivojlanishi tizimdagi asosiy keskinlik manbai bo'lib chiqadi.

Ikkinchidan, davlat va nodavlat sektorlar yagona to'rt o'lchovli qiyosiy matritsada (institutsional maqom va boshqaruv; moliyalashtirish; qamrov va kirish imkoniyati; sifat va tadqiqot salohiyati) tahlil qilinadi. Bunday yondashuv sektorlarni alohida-alohida tavsiflovchi an'anaviy tahlillardan farq qiladi.

Uchinchidan, Levyning xususiy oliy ta'lim tasnifi O'zbekiston kontekstiga tanqidiy tarzda tatbiq etilib, nodavlat sektor ichidagi segmentatsiya (talabni qoplovchi va yarim elitar yo'nalishlar) muammosi ilmiy muammo sifatida qo'yiladi.

To'rtinchidan, xorijiy filiallarning ta'sirini baholash uchun uch mezonli (dastur muvofiqligi, akademik integratsiya, bilim transferi) monitoring yondashuvi taklif qilinadi.

Mazkur maqola O'zbekiston oliy ta'limi bo'yicha mavjud tadqiqotlarni inkor etmaydi. Ruziev va Burkhanov (2018) hamda Majidov va boshqalar (2010) ishlari tarixiy-iqtisodiy tahlilga, Krouglov (2022) sifat kafolati transformatsiyasiga, xalqaro tashkilotlar hisobotlari esa siyosat tavsiyalariga yo'naltirilgan. Mazkur ish ulardan davlat va xususiy sektorni bitta qiyosiy ramkada birlashtirishi va konseptual sxema taklif qilishi bilan farq qiladi.

Amaliy takliflar. Oliy ta'lim sifatining ochiq indikatorlar tizimini joriy etish. Kim: sohaviy vazirlik va sifat kafolati bo'yicha vakolatli organ. Nima: barcha oliy ta'lim tashkilotlari (davlat, nodavlat, xorijiy filiallar) uchun yagona majburiy ko'rsatkichlar ro'yxati - talaba-o'qituvchi nisbati, ilmiy darajali o'qituvchilar ulushi, bitiruvchilar bandligi, o'rtacha kontrakt miqdori. Qanday: yillik hisobot shakli va ochiq ma'lumotlar portali orqali, standart metodologiya bilan.

Sektorlar bo'yicha taqqoslanadigan statistikani yuritish. Kim: milliy statistika organi va sohaviy vazirlik. Nima: davlat, nodavlat va xorijiy filiallar kesimida talabalar kontingenti, professor-o'qituvchilar tarkibi va bitiruvchilar bo'yicha yagona metodologiyaga asoslangan qatorlar. Qanday: metodologik izohlar bilan birga e'lon qilinadigan yillik statistik to'plam shaklida.

Akkreditatsiya mexanizmini sektorlardan qat'i nazar bir xil qo'llash. Kim: sifat kafolati bo'yicha vakolatli organ. Nima: bir xil darajadagi diplom beruvchi barcha muassasalar uchun yagona akkreditatsiya mezonlari va davriyligi. Qanday: mustaqil ekspertlar korpusini shakllantirish, natijalarni ommaviy e'lon qilish va akkreditatsiya natijalarini qabul kvotalariga bog'lash.

Ta'lim krediti va maqsadli grant tizimini kengaytirish. Kim: moliya va ta'lim sohasi organlari, banklar. Nima: kam ta'minlangan oilalardan chiqqan va qishloq hududlaridagi abituriyentlar uchun imtiyozli ta'lim krediti hamda ehtiyojga asoslangan stipendiya. Qanday: daromadga bog'langan qaytarish sxemasi va shaffof tanlov mezonlari asosida.

Mintaqaviy tenglikni ta'minlashga qaratilgan rag'batlantirish. Kim: hukumat va mahalliy hokimiyat organlari. Nima: oliy ta'lim tashkilotlarini poytaxtdan tashqarida ochish va rivojlantirish uchun soliq, yer va infratuzilma rag'batlari. Qanday: hududiy koeffitsiyentga asoslangan qo'llab-quvvatlash dasturi va kamida besh yillik majburiyat shartnomasi orqali.

Professor-o'qituvchilar salohiyatini oshirishning uzoq muddatli dasturi. Kim: vazirlik va oliy ta'lim tashkilotlari. Nima: pedagogik va tadqiqot malakasini oshirish, xorijiy universitetlarda stajirovka, akademik yozuv bo'yicha majburiy modullar. Qanday: har bir muassasa uchun besh yillik kadrlar rejasi va uning bajarilishini akkreditatsiya mezonlariga kiritish.

Davlat-xususiy hamkorlik mexanizmlarini institutsionallashtirish. Kim: vazirlik, nodavlat OTMLar assotsiatsiyasi. Nima: laboratoriya va kutubxona resurslaridan birgalikda foydalanish, qo'shma magistratura dasturlari, o'qituvchilar almashinuvi. Qanday: tipovoy shartnoma shakli va hamkorlik loyihalari uchun maqsadli grant fondi orqali.

Universitet-sanoat hamkorligini amaliyot dasturlari orqali mustahkamlash. Kim: OTMLar, tarmoq vazirliklari va ish beruvchilar uyushmalari. Nima: har bir ta'lim yo'nalishi uchun kamida bitta majburiy ishlab chiqarish amaliyoti va ish beruvchilar ishtirokidagi o'quv dasturi kengashi. Qanday: amaliyot bazalari reyestri va ish beruvchi tomonidan baholash varaqasi joriy etish orqali.

Xorijiy filiallar faoliyatini monitoring qilish tizimini yaratish. Kim: vazirlik va sifat kafolati organi. Nima: dastur muvofiqligi, mahalliy professor-o'qituvchilar ulushi, bilim transferi va bitiruvchilar bandligi bo'yicha yillik hisobot. Qanday: litsenziyani uzaytirish shartlari bilan bog'langan monitoring tartibi orqali.

Bitiruvchilarni muntazam kuzatuv tadqiqoti (tracer study) tizimini yo'lga qo'yish. Kim: vazirlik, statistika organi va OTMLar. Nima: bitirgandan keyin 6, 12 va 36 oy o'tib bandlik, daromad va ishning mutaxassislikka mosligi bo'yicha so'rov. Qanday: yagona metodologiya va ma'muriy ma'lumotlar bilan bog'langan anonimlashtirilgan baza asosida.

Xulosa. O'zbekiston oliy ta'limi so'nggi o'n yilda qamrov va institutsional tarkib jihatidan sezilarli darajada o'zgardi: talabalar soni bir necha barobar ortdi, nodavlat oliy ta'lim tashkilotlari tizimning qariyb yarmini tashkil etadigan darajada kengaydi, xorijiy filiallar esa barqaror segmentga aylandi. Mazkur tadqiqot bu o'zgarishlarni davlat va nodavlat sektorlarni yagona qiyosiy ramkada tahlil qilish orqali baholashga urindi.

Asosiy muammo sifatida qamrovning kengayishi bilan sifat kafolati, kadrlar salohiyati va tenglik mexanizmlarining rivojlanishi o'rtasidagi nomutanosiblik aniqlandi. Tahlil shuni ko'rsatdiki, bu nomutanosiblik tabiiy emas, balki institutsional: u kadrlar tayyorlash sikli, ma'lumotlar shaffofligining yetishmasligi va sifat kafolati mexanizmlarining sektorlar bo'yicha bir xil qo'llanmasligi bilan bog'liq. Aniqlangan aloqalar bog'liqlik darajasida bayon etilgan bo'lib, sabab-oqibat munosabati sifatida talqin qilinmasligi kerak.

Ilmiy yangilik "qamrov - sifat - integratsiya" konseptual sxemasi, sektorlararo to'rt o'lchovli qiyosiy matritsa va xorijiy filiallarni baholashning uch mezonli yondashuvida ifodalanadi. Amaliy ahamiyat esa sifat indikatorlarining ochiq tizimi, sektorlardan qat'i nazar yagona akkreditatsiya, ta'lim krediti va mintaqaviy rag'batlar bo'yicha aniq takliflarda namoyon bo'ladi.

Kelgusi tadqiqotlar uchun uchta yo'nalish istiqbolli ko'rinadi: sektorlar kesimida ta'lim natijalarini empirik taqqoslash; bitiruvchilarni kuzatuv tadqiqoti asosida oliy ta'limning mehnat bozoridagi qaytimini baholash; xorijiy filiallarning mahalliy akademik jamoaga institutsional ta'sirini sifat tadqiqoti usullari bilan o'rganish.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] Altbach, P. G., and Knight, J. (2007). The internationalization of higher education: Motivations and realities. *Journal of Studies in International Education*, 11(3-4), 290-305. <https://doi.org/10.1177/1028315307303542>

[2] Hazelkorn, E. (2015). *Rankings and the reshaping of higher education: The battle for world-class excellence* (2nd ed.). Palgrave Macmillan.

[3] Heyneman, S. P., Anderson, K. H., and Nuraliyeva, N. (2008). The cost of corruption in higher education. *Comparative Education Review*, 52(1), 1-25.

[4] Knight, J. (2016). Transnational education remodeled: Toward a common TNE framework and definitions. *Journal of Studies in International Education*, 20(1), 34-47.

[5] Krouglov, A. (2022). Modernisation of higher education in Uzbekistan: Transforming quality assurance system and approaches. *Society. Integration. Education. Proceedings of the International Scientific Conference*, 148-156.

[6] Lane, J. E., and Kinser, K. (Eds.). (2011). *Multinational colleges and universities: Leading, governing, and managing international branch campuses*. New Directions for Higher Education, No. 155. Jossey-Bass.

[7] Levy, D. C. (2006). The unanticipated explosion: Private higher education's global surge. *Comparative Education Review*, 50(2), 217-240. <https://doi.org/10.1086/500694>

[8] Levy, D. C. (2018). Global private higher education: An empirical profile of its size and geographical shape. *Higher Education*, 76(4), 701-715. <https://doi.org/10.1007/s10734-018-0233-6>

[9] Levy, D. C. (2024). *A world of private higher education*. Oxford University Press.

- [10] Majidov, T., Ghosh, D., and Ruziev, K. (2010). Keeping up with revolutions: Evolution of higher education in Uzbekistan. *Economic Change and Restructuring*, 43(1), 45–63. <https://doi.org/10.1007/s10644-009-9077-5>
- [11] Marginson, S. (2016). High participation systems of higher education. *The Journal of Higher Education*, 87(2).
- [12] <https://doi.org/10.1080/00221546.2016.11777401>
- [12] Marginson, S. (2018). Public/private in higher education: A synthesis of economic and political approaches. *Studies in Higher Education*, 43(2), 322–337. <https://doi.org/10.1080/03075079.2016.1168797>
- [13] Pruvot, E. B., and Estermann, T. (2017). University autonomy in Europe III: The scorecard 2017. European University Association.
- [14] Ruziev, K., and Burkhanov, U. (2018). Uzbekistan: Higher education reforms and the changing landscape since independence. In J. Huisman, A. Smolentseva, and I. Froumin (Eds.), 25 years of transformations of higher education systems in post-Soviet countries: Reform and continuity (pp. 435–459). Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-3-319-52980-6_17
- [15] Sankar, D. (2022). Uzbekistan education sector analysis: 2021. UNICEF Uzbekistan.
- [16] Silova, I. (Ed.). (2011). Globalization on the margins: Education and postsocialist transformations in Central Asia. Information Age Publishing.
- [17] Trow, M. (1973). Problems in the transition from elite to mass higher education. Carnegie Commission on Higher Education.
- [18] Trow, M. (2007). Reflections on the transition from elite to mass to universal access: Forms and phases of higher education in modern societies since WWII. In J. J. F. Forest and P. G. Altbach (Eds.), *International handbook of higher education* (pp. 243–280). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4012-2_13
- [19] World Bank. (2014). Uzbekistan: Modernizing tertiary education. World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/27992>
- [20] O‘zbekiston Respublikasining “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonuni, O‘RQ-637-son, 2020-yil 23-sentabr. <https://lex.uz/docs/5013007>
- [21] O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-5847-son Farmoni, 2019-yil 8-oktabr.
- [22] O‘zbekiston Respublikasi Milliy statistika qo‘mitasi. (2026). 2025/2026-o‘quv yili boshida oliy ta’lim tashkilotlari to‘g‘risidagi ma’lumotlar.
- [23] O‘zbekiston Respublikasi Milliy statistika qo‘mitasi. (2025). 2024/2025-o‘quv yilida oliy ta’lim muassasalari talabalari soni to‘g‘risidagi ma’lumotlar.
- [24] O‘zbekiston Respublikasi Hukumat portali (gov.uz). (2026). Oliy ta’lim sohasidagi islohotlar va natijalar bo‘yicha axborot.
- [25] O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi. (2024). Respublika oliy ta’lim muassasalari faoliyati to‘g‘risidagi ma’lumotlar (gov.uz).

O'ZBEKISTON RADIOSIDA OVOZ YOZISH TEXNOLOGIYALARINING EVOLYUTSIYASI

Xalbayeva Sevinch

O'zbekiston davlat san'at va madaniyat institute, Toshkent 100000, Uzbekistan,

E-mail: javokhir.juraev.work@gmail.com

ANNOTATSIYA. Ushbu maqolada O'zbekiston radiosida ovoz yozish texnologiyalarining shakllanishi va tarixiy evolyutsiyasi tahlil qilingan. Ovoz yozishning mexanik va analog magnit tizimlaridan raqamli audio texnologiyalarigacha bo'lgan rivojlanish bosqichlari texnik va funksional jihatdan o'rganilgan. Tadqiqotda mikrofon, magnit yozuv qurilmalari, mikshyer pultlari, analog-raqamli o'zgartirgichlar, raqamli audio ish stansiyalari va avtomatlashtirilgan efir tizimlarining radioeshittirish jarayonidagi o'rni tahlil etilgan. Raqamli audio yozuvda namunalash chastotasi, kvantlash razryadi, bitreyt, signal/shovqin nisbati va raqamli signalni qayta ishlash kabi texnik ko'rsatkichlarning ahamiyati asoslangan. Tadqiqot natijalari ovoz yozish texnologiyalarining rivojlanishi radio mahsulotining sifatini oshirish, montaj va arxivlash jarayonlarini takomillashtirish hamda multimedia muhitiga integratsiyalashuviga xizmat qilganini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: O'zbekiston radiosi, ovoz yozish texnologiyasi, radioeshittirish, analog yozuv, raqamli audio, magnit yozuv, raqamlashtirish, audio signal, raqamli signalni qayta ishlash, raqamli arxiv.

АННОТАЦИЯ. В статье исследуются становление и историческая эволюция технологий звукозаписи на радио Узбекистана. Рассмотрены основные этапы развития от механических и аналоговых магнитных систем звукозаписи до современных цифровых аудиотехнологий с учетом их технических и функциональных особенностей. Проанализирована роль микрофонов, магнитных записывающих устройств, микшерных пультов, аналого-цифровых преобразователей, цифровых аудиостанций и автоматизированных систем эфирного вещания. Обосновано значение таких технических параметров цифровой записи, как частота дискретизации, разрядность квантования, скорость передачи данных, отношение сигнал/шум и методы цифровой обработки аудиосигнала. Результаты исследования показывают, что развитие технологий звукозаписи способствовало повышению качества радиопродукции, совершенствованию процессов монтажа и архивирования, а также интеграции радио в современную цифровую мультимедийную среду.

Ключевые слова: радио Узбекистана, технология звукозаписи, радиовещание, аналоговая запись, цифровое аудио, магнитная запись, цифровизация, аудиосигнал, цифровая обработка сигналов, цифровой архив.

ABSTRACT. This article examines the formation and historical evolution of sound recording technologies in Uzbekistan's radio broadcasting system. The main stages of development, from mechanical and analog magnetic recording systems to modern digital audio technologies, are analyzed from technical and functional perspectives. Particular attention is given to the role of microphones, magnetic recording devices, mixing consoles, analog-to-digital converters, digital audio workstations, and automated broadcasting systems. The study substantiates the importance of key technical parameters of digital audio recording, including sampling frequency, quantization bit depth, data rate, signal-to-noise ratio, and digital audio signal processing methods. The findings demonstrate that the evolution of sound recording technologies contributed to improving the quality of radio production, optimizing audio editing and archiving processes, and integrating radio broadcasting into the modern digital multimedia environment.

Keywords: *Uzbekistan radio, sound recording technology, radio broadcasting, analog recording, digital audio, magnetic recording, digitalization, audio signal, digital signal processing, digital archive.*

KIRISH

O'zbekiston radioeshittirish tizimi mamlakatning axborot, ma'rifiy va madaniy hayotida muhim kommunikatsiya vositalaridan biri sifatida shakllangan. Radio orqali yangiliklar, ilmiy-ma'rifiy dasturlar, adabiy-badiiy asarlar, musiqa va turli ijtimoiy-siyosiy mazmundagi eshittirishlarning keng auditoriyaga yetkazilishi ovoz yozish texnologiyalarining rivojlanishi bilan bevosita bog'liqdir. Ayniqsa, O'zbekiston radiosida ovozni yozib olish, saqlash, qayta ishlash va efirga uzatish jarayonlarining texnik jihatdan takomillashib borishi radiojurnalistikaning mazmuni va ijodiy imkoniyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatgan. Shu sababli radio tarixini ovoz yozish texnologiyalarining evolyutsiyasi bilan uzviy bog'liq holda o'rganish muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston radiosining dastlabki faoliyat davrlarida ovoz yozish jarayonlari texnik imkoniyatlari cheklangan mexanik va elektromexanik qurilmalarga asoslangan. O'sha davrda ovoz signalini qayd etish, uni saqlash va keyinchalik qayta eshittirish maxsus texnik vositalar yordamida amalga oshirilgan bo'lib, yozuvlarning sifati ko'p jihatdan foydalanilgan apparatura va tashuvchilarning xususiyatlariga bog'liq bo'lgan. Magnit yozuv texnologiyasining ommalashuvi esa radio studiyalarida ovoz bilan ishlashning yangi bosqichini boshlab berdi. Magnit tasmlarga yozish imkoniyati dasturlarni oldindan tayyorlash, yozuvlarni qayta tinglash, tahrirlash va arxivlash jarayonlarini ancha takomillashtirdi.

Keyingi bosqichda ovoz yozish studiyalarining texnik jihozlanishi va akustik imkoniyatlari kengaydi. Mikrofonlar, mikshyer pultrlari, magnitofonlar, ovoz kuchaytirgichlar va boshqa studiya uskunalarining takomillashuvi natijasida radioeshittirishlarda ovozning aniqligi, tembr xususiyatlari va umumiy sifat ko'rsatkichlarini boshqarish imkoniyati oshdi. Bir vaqtning o'zida ovoz rejissyorligi va montaj jarayonlari ham professional faoliyatning muhim tarkibiy qismiga aylandi. Natijada radio dasturlarini tayyorlash jarayonida nafaqat jurnalistik mahorat, balki texnik va akustik bilimlardan foydalanish zarurati ham kuchaydi.

XX asr oxiri va XXI asr boshlarida raqamli texnologiyalarning jadal rivojlanishi O'zbekiston radioeshittirish tizimida ovoz yozish va qayta ishlash jarayonlarini tubdan o'zgartirdi. Analog yozuvlardan raqamli formatlarga o'tish ovoz signalini yuqori aniqlikda qayd etish, kompyuter yordamida tahrirlash, turli audio effektlarni qo'llash, fayllarni tezkor uzatish va katta hajmdagi ovozli materiallarni elektron arxivlarda saqlash imkoniyatlarini yaratdi. Raqamli audio texnologiyalarining joriy etilishi radio studiyalarida ishlatiladigan apparat va dasturiy vositalarning o'zaro integratsiyasini kuchaytirib, ovoz yozish jarayonini avtomatlashtirish uchun yangi sharoitlarni yuzaga keltirdi.

Bugungi kunda O'zbekiston radiosida ovoz yozish texnologiyalari raqamli audio ish stansiyalari, professional mikrofonlar, raqamli mikshyerlar, audio montaj dasturlari, avtomatlashtirilgan efir tizimlari va raqamli arxivlash vositalari bilan chambarchas bog'langan. Internet-radio, podkastlar, multimedia kontenti va mobil platformalarning rivojlanishi esa radio mahsulotlarini yaratish va tarqatish shakllarini yanada kengaytirmoqda. Shu nuqtayi nazardan, O'zbekiston radiosida ovoz yozish texnologiyalarining evolyutsiyasini tarixiy, texnik va amaliy jihatdan tadqiq etish analog yozuv davridan zamonaviy raqamli audio muhitigacha bo'lgan jarayonlarning o'ziga xos xususiyatlarini aniqlash, mavjud texnologik tajribani baholash hamda kelgusidagi rivojlanish yo'nalishlarini belgilash imkonini beradi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Tadqiqot metodologiyasi O'zbekiston radiosida ovoz yozish texnologiyalarining shakllanishi, rivojlanishi va zamonaviy raqamli bosqichga o'tish jarayonlarini kompleks o'rganishga asoslangan. Tadqiqotda tarixiy, tizimli, qiyosiy va texnik-tahliliy yondashuvlardan foydalanildi. Mazkur yondashuvlar orqali ovoz yozish texnologiyalarining faqat texnik vosita sifatidagi emas, balki radioeshittirishning mazmuni, ishlab chiqarish jarayoni va axborotni saqlash tizimiga ta'sir ko'rsatuvchi muhim texnologik omil sifatidagi rivojlanishi tahlil qilindi. Tadqiqot obyekti sifatida O'zbekiston radioeshittirish tizimida qo'llanilgan va qo'llanilayotgan ovoz yozish texnologiyalari, predmeti sifatida esa ularning texnik xususiyatlari, funksional imkoniyatlari va evolyutsion o'zgarishlari belgilandi.

Tadqiqotning tarixiy yondashuvi O'zbekiston radiosida ovoz yozish texnologiyalarining rivojlanishini ketma-ket bosqichlar asosida o'rganishga xizmat qildi. Ushbu yondashuv doirasida mexanik va elektromexanik yozuv vositalari, magnit tasma asosidagi yozuv tizimlari, analog studiya qurilmalari hamda keyinchalik raqamli audio texnologiyalarining joriy etilishi o'zaro bog'liq tarixiy jarayon sifatida ko'rib chiqildi. Har bir bosqichda texnik vositalarning imkoniyatlari, ovozni yozib olish va qayta ishlash usullari, yozuv tashuvchilarining xususiyatlari hamda radio dasturlarini tayyorlash jarayonidagi o'zgarishlar tahlil qilindi. Shu orqali texnologik taraqqiyotning radioeshittirish faoliyatiga bosqichma-bosqich ta'siri aniqlashtirildi.

Tadqiqotda qiyosiy tahlil usuli ham muhim metodologik vosita sifatida qo'llanildi. Analog va raqamli ovoz yozish texnologiyalari yozuv sifati, signalni qayta ishlash imkoniyati, montaj jarayonining qulayligi, ma'lumotlarni saqlash, nusxalash va uzatish imkoniyatlari kabi mezonlar asosida taqqoslandi. Analog tizimlarda ovoz yozuvi magnit yoki boshqa fizik tashuvchiga bog'liq bo'lsa, raqamli tizimlarda audio signalning diskret ko'rinishda saqlanishi uni kompyuter dasturlari yordamida qayta ishlash imkonini berishi metodologik jihatdan asosiy farqlardan biri sifatida qaraldi. Bunday qiyoslash O'zbekiston radiosida texnologik almashinuvning amaliy ahamiyatini aniqlash imkonini berdi.

Texnik-tahliliy yondashuv asosida radio studiyalarida ishlatiladigan asosiy ovoz yozish va qayta ishlash vositalarining funksional imkoniyatlari o'rganildi. Jumladan, mikrofonlar, mikshyer pultrlari, magnitofonlar, signal kuchaytirgichlar, raqamli audio interfeyslar, kompyuter asosidagi audio ish stansiyalari va ovoz montaji dasturlarining radio mahsulotini yaratishdagi o'rni tahlil qilindi. Bunda ovoz signalining yozib olinishi, kuchaytirilishi, tahrirlanishi, aralashtirilishi, saqlanishi va efirga uzatilishi yagona texnologik zanjir sifatida ko'rib chiqildi. Mazkur yondashuv texnik vositalarning alohida xususiyatlarini emas, balki ularning radioeshittirishning umumiy ishlab chiqarish jarayonidagi o'zaro funksional bog'liqligini aniqlashga imkon berdi.

Tadqiqotda tizimli yondashuvdan foydalanish orqali ovoz yozish texnologiyalari radioeshittirish tizimining tarkibiy qismi sifatida baholandi. Radio mahsulotini yaratish jarayoni ovoz manbasini tanlash, mikrofon orqali signalni qabul qilish, signalni dastlabki qayta ishlash, yozib olish, montaj qilish, arxivlash va efirga uzatish kabi o'zaro bog'liq bosqichlarga ajratib o'rganildi. Har bir bosqichda texnologik vositalarning o'zgarishi keyingi jarayonlarga qanday ta'sir ko'rsatishi tahlil qilindi. Ayniqsa, raqamli texnologiyalarning joriy etilishi natijasida ovoz yozish, montaj va arxivlash jarayonlarining yagona raqamli muhitga integratsiyalashuvi tizimli jihatdan ko'rib chiqildi.

Tadqiqotning axborot-tahliliy bosqichida radioeshittirish, ovoz yozish, audio muhandisligi va raqamli media texnologiyalariga oid ilmiy adabiyotlar, texnik manbalar, tarixiy materiallar hamda mavjud ochiq axborot resurslari tahlil qilindi. Manbalarni o'rganishda ularning mavzuga aloqadorligi, tarixiy davrga mosligi va texnik mazmuni hisobga olindi. Ovoz yozish texnologiyalarining rivojlanishini baholashda faqat alohida qurilmalarning paydo bo'lishi emas, balki ularning radio ishlab chiqarish jarayonidagi amaliy funksiyasi ham asosiy mezon sifatida qabul qilindi. Shu asosda texnologik o'zgarishlarning radioeshittirish sifati, ishlab chiqarish tezkorligi, materiallarni saqlash va qayta foydalanish imkoniyatlariga ta'siri umumlashtirildi.

Yakuniy bosqichda umumlashtirish va tizimlashtirish usullaridan foydalanib, O'zbekiston radiosida ovoz yozish texnologiyalarining evolyutsion modeli shakllantirildi. Tadqiqot natijalari shartli ravishda uch asosiy yo'nalish — analoggacha bo'lgan dastlabki yozuv texnologiyalari, magnit-analog yozuv davri va raqamli audio texnologiyalar davriga ajratilib, ularning texnik hamda funksional xususiyatlari o'zaro bog'liq holda tahlil qilindi. Bunda texnologik evolyutsiyaning asosiy mezonlari sifatida ovoz sifatining oshishi, tahrirlash imkoniyatlarining kengayishi, ma'lumotlarni saqlash va uzatishning qulaylashishi hamda radioeshittirish jarayonlarining avtomatlashtirilishi belgilandi. Mazkur metodologik yondashuv O'zbekiston radiosida ovoz yozish texnologiyalarining tarixiy taraqqiyotini izchil ochib berish va zamonaviy raqamli audio muhitining shakllanish omillarini ilmiy asosda yoritish imkonini berdi.

O'zbekiston radiosida ovoz yozish texnologiyalarining evolyutsiyasini ilmiy jihatdan asosli yoritish uchun tadqiqotda texnologik rivojlanishning tarixiy ketma-ketligi, turli avlod ovoz yozish vositalarining funksional farqlari, radioeshittirish jarayonidagi texnik o'zgarishlar hamda analog va raqamli tizimlarning o'zaro farqlarini kompleks baholash imkonini beruvchi quyidagi metodologik usullardan foydalanildi:

Tarixiy-genetik metod

Mazkur metod O'zbekiston radiosida ovoz yozish texnologiyalarining paydo bo'lishi va bosqichma-bosqich rivojlanishini tarixiy ketma-ketlikda o'rganish uchun qo'llanildi. Tadqiqotda ovoz yozishning dastlabki mexanik va elektromexanik vositalaridan magnit tasma asosidagi yozuv tizimlariga, undan esa raqamli audio texnologiyalariga o'tish jarayoni izchil tahlil qilindi. Ushbu metod texnologik o'zgarishlarning kelib chiqish sabablari va keyingi bosqichga o'tish omillarini aniqlash imkonini berdi.

Qiyosiy-tahliliy metod

Analog va raqamli ovoz yozish texnologiyalarining texnik hamda funksional imkoniyatlarini taqqoslashda qiyosiy-tahliliy metoddan foydalanildi. Taqqoslashda ovoz sifati, yozuvni tahrirlash imkoniyati, saqlash muddati, nusxalash, qayta ishlash, uzatish tezligi va texnik xizmat ko'rsatish kabi mezonlar asos qilib olindi. Natijada turli texnologik bosqichlarning o'ziga xos afzalliklari va cheklovlari aniqlashtirildi.

Tizimli tahlil metodi

Ovoz yozish texnologiyalari radioeshittirish tizimining alohida elementi emas, balki o'zaro bog'langan texnologik jarayonlar majmuasi sifatida o'rganildi. Bunda mikrofon orqali ovozni qabul qilish, signalni kuchaytirish, yozib olish, qayta ishlash, montaj qilish, arxivlash va efirga uzatish bosqichlari yagona tizim sifatida tahlil qilindi. Ushbu metod texnik vositalar o'rtasidagi funksional bog'liqlikni aniqlashga xizmat qildi.

Texnik-funksional tahlil metodi

Radio studiyalarida foydalanilgan ovoz yozish vositalarining funksional imkoniyatlarini aniqlash uchun texnik-funksional tahlil amalga oshirildi. Mikrofonlar, magnitofonlar, mikshyer pultlari, ovoz kuchaytirgichlar, raqamli audio interfeyslar va audio ish stansiyalarining ovoz yozish jarayonidagi vazifalari alohida o'rganildi. Shuningdek, har bir texnologiyaning yozuv sifati va ishlab chiqarish jarayoniga ta'siri tahlil qilindi.

Texnologik jarayonlarni modellashtirish metodi

Radio mahsulotini yaratishning texnologik ketma-ketligini aniqlash maqsadida ovoz bilan ishlash jarayoni bosqichlarga ajratildi: *ovoz manbai → mikrofon → audio signal → yozib olish → tahrirlash → montaj → arxivlash → efirga uzatish*. Analog va raqamli muhitdagi ushbu jarayonlarning farqlari aniqlanib, raqamlashtirish natijasida texnologik bosqichlarning integratsiyalashuvi ko'rsatildi.

Kontent va hujjatli manbalarni tahlil qilish metodi

Tadqiqotning axborot bazasini shakllantirishda radioeshittirish tarixiga, ovoz yozish texnologiyalariga, audio muhandisligiga va raqamli media vositalariga oid ilmiy adabiyotlar, texnik hujjatlar, tarixiy materiallar hamda ochiq axborot manbalari tahlil qilindi. Manbalarni tanlashda ularning mavzuga aloqadorligi, ilmiyligi, tarixiy davrga mosligi va texnik ma'lumotlarning ishonchliligi asosiy mezon sifatida belgilandi.

Umumlashtirish va davrlashtirish metodi

Tadqiqot natijalarini tizimlashtirish uchun O'zbekiston radiosida ovoz yozish texnologiyalarining rivojlanishi texnologik xususiyatlariga ko'ra shartli davrlarga ajratildi: dastlabki mexanik-elektromexanik yozuv bosqichi, magnit-analog yozuv bosqichi, raqamli ovoz yozish bosqichi va zamonaviy avtomatlashtirilgan raqamli audio muhit. Ushbu metod yordamida texnologik evolyutsiyaning asosiy tendensiyalari — ovoz sifatining yaxshilanishi, tahrirlash imkoniyatlarining kengayishi, saqlash va uzatish jarayonlarining soddalashuvi hamda radio ishlab chiqarishining raqamlashtirilishi umumlashtirildi.

O'zbekiston radiosida ovoz yozish texnologiyalarining tarixiy-evolyutsion rivojlanish bosqichlari: 1-jadval.

№	Tarixiy bosqich	Ovoz yozish texnologiyasi	Asosiy texnik vositalar	Ovoz yozish jarayonidagi xususiyat	Radioeshittirishga ta'siri
1	1927–1940-yillar	Jonli efir va mexanik yozuv	Shorinofon, grammofon qurilmalari	Ovoz asosan bevosita efirga uzatilgan, ayrim materiallar mexanik usulda yozilgan	Radio dasturlarining dastlabki texnik bazasi shakllandi
2	1940-yillar o'rtalari	Magnit yozuvga o'tish	Magnitofon, magnit tasma	Ovoz materiallarini yozib olish va keyinchalik qayta eshittirish imkoniyati paydo bo'ldi	Oldindan tayyorlangan eshittirishlar va ovozli arxivlar shakllana boshladi
3	1950-yillar	Magnit-analog yozuvning rivojlanishi	Magnitofon, mikrofon, studiya apparaturasi	Ovoz yozuvlarini qayta tinglash va tayyorlangan materiallardan foydalanish kengaydi	Eshittirishlarni tayyorlash sifati va texnik nazorat imkoniyati oshdi
4	1960–1962-yillar	Stereo yozuv texnologiyasi boshlanishi	Qayta jihozlangan magnitofon, mikrofonlar	1962-yilda O'zbekiston radiosida birinchi stereo musiqiy yozuvlar amalga oshirildi	Musiqiy eshittirishlarda fazoviy ovoz va akustik ifodalilik imkoniyati kengaydi
5	1966–1967-yillar	Professional studiya yozuvi	Ko'p studiyali apparat majmualari, montaj xonalari,	Yangi Radio uyida studiya, apparat va montaj xonalari tashkil etildi; ovoz	Ovoz yozish, montaj va efirga tayyorlash jarayonlari

			magnitofonlar	yozish infratuzilmasi takomillashdi	professional tizimga aylandi
6	1970–1975-yillar	Stereo badiiy yozuvlarning kengayishi	Stereo apparatura, magnitofonlar, studiya mikrofonlari	1972-yildan stereo badiiy yozuvlar keng ko‘lamda amalga oshirila boshlandi; 1975-yilda stereo eshittirishlar kengaydi	Musiqiy va badiiy radio mahsulotlarining texnik sifati oshdi
7	1980-yillar	Takomillashgan analog studiya texnologiyalari	Professional magnitofonlar, mikshyerlar, studiya mikrofonlari	Ko‘p kanalli yozuv, montaj va ovoz balansini boshqarish imkoniyatlari kengaydi	Murakkab musiqiy, badiiy va publitsistik dasturlarni tayyorlash imkoniyati oshdi
8	1990-yillar	Analogdan raqamli texnologiyalarga o‘tish	Kompyuterlar, raqamli audio qurilmalar, dasturiy vositalar	Audio materiallarni kompyuter muhitida qayta ishlash va saqlash imkoniyati shakllandi	Audio montaj va arxivlash jarayonlari bosqichma-bosqich raqamlashtirildi
9	2000-yillar	Raqamli audio yozuv	Raqamli rekorderlar, kompyuter, audio interfeys, DAW dasturlari	Ovoz raqamli formatda yozildi, tahrirlandi, nusxalandi va saqlandi	Montaj tezligi, aniqligi va audio materiallardan qayta foydalanish imkoniyati oshdi
10	2010-yillar	Raqamli va avtomatlashtirilgan radio ishlab chiqarish	Raqamli studiyalar, avtomatlashtirilgan efir tizimlari, serverlar	Yozuv, montaj, saqlash va efirga uzatish jarayonlari yagona raqamli muhitga yaqinlashdi	Radio ishlab chiqarish jarayonlarining tezkorligi va boshqaruv imkoniyatlari kengaydi
11	2020-yillar	Multimedia va internet audio texnologiyalari	DAW, raqamli mikshyerlar, serverlar, podkast va internet audio vositalari	Radio kontenti efir bilan bir qatorda raqamli formatlarda ham tayyorlanadi va tarqatiladi	Radio mahsuloti multimedia, internet-radio va raqamli kontent bilan integratsiyalashmoqda

O‘zbekiston radiosida ovoz yozish texnologiyalarining evolyutsiyasi shartli ravishda *mexanik yozuv → magnit-analog yozuv → stereo yozuv → professional studiya tizimlari → raqamli audio → avtomatlashtirilgan va multimedia audio* muhit ketma-ketligida ifodalanishi mumkin.

TADQIQOT NATIJALARI VA TAHLIL

O'zbekiston radiosida ovoz yozish texnologiyalarining tarixiy rivojlanishini tahlil qilish natijasida uning texnik bazasi bir necha o'zaro bog'liq bosqichlar orqali shakllanganligi aniqlandi. Dastlabki davrlarda radioeshittirish asosan jonli ijro va mavjud mexanik ovoz yozish vositalariga tayangan bo'lsa, keyinchalik magnit yozuv texnologiyalarining joriy etilishi ovozli materiallarni oldindan tayyorlash, saqlash va qayta efirga uzatish imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirdi. Mazkur o'zgarish radio dasturlarining tashkiliy tuzilishiga ham ta'sir ko'rsatib, jonli efir bilan bir qatorda yozib olingan materiallardan foydalanish amaliyotini rivojlantirdi. Shu jihatdan ovoz yozish texnologiyasining evolyutsiyasi faqat texnik vositalarning almashinuvi emas, balki radioeshittirish ishlab chiqarish jarayonining bosqichma-bosqich takomillashuvi sifatida namoyon bo'ladi.

O'zbekiston radiosida ovoz yozish texnologiyalarining evolyutsiyasini umumlashtirish natijasida texnologik taraqqiyotning uchta asosiy natijasi ajratib ko'rsatildi: birinchidan, ovoz signalini yozib olish va saqlashning texnik barqarorligi oshdi; ikkinchidan, audio materialni tahrirlash va qayta ishlash imkoniyatlari kengaydi; uchinchidan, radio mahsulotini tayyorlash va efirga uzatish jarayonlari raqamli boshqaruv muhitiga integratsiyalashdi. Shunday qilib, ovoz yozish texnologiyasining evolyutsiyasi radioeshittirishning faqat texnik sifatini emas, balki material tayyorlash tezligi, arxivdan foydalanish, audio kontentni qayta ishlash va turli raqamli media kanallariga moslashtirish imkoniyatlarini ham o'zgartirdi. Ushbu natijalar O'zbekiston radiosining texnologik rivojlanishini analog yozuvdan raqamli audio ishlab chiqarish tizimigacha bo'lgan uzluksiz jarayon sifatida baholash imkonini beradi.

O'zbekiston radiosida ovoz yozish texnologiyalarining evolyutsiyasi texnik nuqtayi nazardan audio signalni hosil qilish, qabul qilish, kuchaytirish, yozib olish, qayta ishlash, saqlash va efirga uzatish bosqichlarining izchil takomillashuvi bilan tavsiflanadi. Radio studiyasidagi umumiy signal zanjiri shartli ravishda *ovoz manbai* → *mikrofon* → *mikrofon old kuchaytirgichi* → *mikshyer pulti* → *yozish qurilmasi* → *signalni qayta ishlash* → *monitoring* → *efir uzatish* tizimi ketma-ketligida ifodalanadi. Dastlabki analog tizimlarda ushbu zanjirning asosiy qismlari uzluksiz elektr signal bilan ishlagan bo'lsa, raqamli texnologiyalarga o'tilishi bilan analog signalni raqamli ko'rinishga o'tkazuvchi ADC (Analog-to-Digital Converter) va qayta analog signalga aylantiruvchi DAC (Digital-to-Analog Converter) qurilmalari muhim tarkibiy elementga aylandi. Shu sababli radio ovoz yozish texnologiyasining texnik evolyutsiyasini faqat yozuv tashuvchisining almashinuvi emas, balki butun signal zanjirining o'zgarishi sifatida baholash maqsadga muvofiq.

Analog magnit yozuv tizimida mikrofon orqali hosil qilingan elektr signal kuchaytirilib, magnit yozuv kallagi yordamida magnit tasma yuzasidagi magnitlanish o'zgarishlariga aylantirilgan. Yozuv sifati signalning chastota diapazoni, dinamik diapazon, tasmaning harakat tezligi, magnit qatlam xususiyatlari va yozish kallagining texnik holatiga bog'liq bo'lgan. Analog magnitofonlarda lenta tezligining barqarorligi ham muhim parametr hisoblangan, chunki tezlikdagi kichik o'zgarishlar ovoz chastotasining siljishiga olib kelishi mumkin. Bundan tashqari, magnit tasma bilan ishlashda fon shovqini, g'uvillash, mexanik shovqin va ko'p marotaba qayta yozish natijasida signal sifatining pasayishi kabi texnik muammolar mavjud bo'lgan. Shu jihatdan analog tizimning foydali signal/shovqin nisbati (SNR) va dinamik diapazoni radio yozuvining amaliy sifatini belgilovchi muhim ko'rsatkichlar sifatida qaraladi.

Raqamli ovoz yozish texnologiyasining joriy etilishi audio signalni matematik jihatdan qayta ishlash imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirdi. Analog signal ($x(t)$) ADC qurilmasida diskret signal ($x[n]$) ko'rinishiga o'tkaziladi. Bunda namunalash chastotasi (f_s) signalning vaqt bo'yicha qanchalik zich o'lchanishini, kvantlash razryadi (N) esa amplitudaning qanchalik aniq ifodalanishini belgilaydi. Nazariy jihatdan namunalash chastotasi signalning eng yuqori foydali chastotasidan kamida ikki marta katta bo'lishi kerak:

$$f_s \geq 2f_{max}$$

Ushbu munosabat Nyquist–Shannon namunalash teoremasining asosiy shartini ifodalaydi. Masalan, inson eshitish diapazonining yuqori chegarasini taxminan 20 kHz deb olsak, 44,1 kHz namunalash chastotasi raqamli audio tizimlarda keng qo'llanadigan qiymatlardan biridir. Professional audio tizimlarda esa 48 kHz va undan yuqori namunalash chastotalaridan foydalanish mumkin. Demak, raqamli texnologiyaga o'tish audio signalni oddiygina "faylga yozish" emas, balki signalni aniq matematik diskretlashtirish jarayonini ham anglatadi.

Raqamli audio sifatining yana bir muhim texnik ko'rsatkichi kvantlash razryadidir. (N) bitli tizimda amplituda qiymatlarining nazariy soni ko'rinishida aniqlanadi. Bu yerda f_s - namunalash chastotasi, N - bir namunadagi bitlar soni, C - audio kanallar soni. Masalan, 48 kHz, 24 bit va 2 kanalli stereo PCM signal uchun:

$$R = 48000 \cdot 24 \cdot 2 = 2,304,000 \text{ bit / s}$$

ya'ni taxminan 2,304 Mbit/s. Bir daqiqalik bunday siqilmagan audio materialning hajmi taxminan 17,28 MB ni tashkil qiladi. Ushbu hisoblashlar radio arxivlarini tashkil etishda saqlash sig'imi va ma'lumotlarni uzatish tezligini rejalashtirish uchun amaliy ahamiyatga ega.

Raqamli audio muhitining muhim afzalliklaridan biri signalni dasturiy qayta ishlash imkoniyatidir. Radio ishlab chiqarish jarayonida audio signalga raqamli filtrlar, ekvalizatsiya, dinamik diapazonni boshqarish, shovqinni kamaytirish va normalizatsiya kabi amallar qo'llanadi. Masalan, raqamli filtrning umumiy ko'rinishi quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$y[n] = \sum_{k=0}^M b_k x[n-k] - \sum_{k=1}^P \alpha_k y[n-k]$$

bu yerda $x[n]$ - kiruvchi audio signal, $y[n]$ - qayta ishlangan signal, a_k va b_k - filtr koeffitsiyentlari. Shu orqali kerakli chastota diapazonini ajratish, ayrim shovqin komponentlarini susaytirish yoki ovoz signalining spektral xususiyatlarini o'zgartirish mumkin. Analog tizimlarda bunday amallar alohida apparat qurilmalari orqali bajarilgan bo'lsa, zamonaviy radio studiyalarida ularning katta qismi dasturiy algoritmlar asosida amalga oshiriladi.

Ovoz yozish texnologiyasining texnik evolyutsiyasi montaj jarayonida ham aniq namoyon bo'ladi. Analog magnit tasma bilan ishlashda montaj operatori kerakli fragmentni fizik jihatdan aniqlashi va yozuvni mexanik ravishda kesib-birlashtirishi kerak bo'lgan. Raqamli audio shansiyalarida esa montaj jarayoni vaqt o'qida joylashtirilgan audio namunalar bilan ishlash asosida amalga oshiriladi. Masalan, $x[n]$ signalidan ma'lum vaqt oralig'idagi fragmentni ajratish, uning amplitudasini o'zgartirish, boshqa fragment bilan aralashtirish yoki effekt qo'llash algoritmik tarzda bajariladi. Natijada montajning qaytariluvchanligi oshadi: original fayl saqlangan holda uning ustida bajarilgan amallarni qayta tahrirlash yoki bekor qilish mumkin.

Tadqiqot natijalariga ko'ra, O'zbekiston radiosida ovoz yozish texnologiyalarining rivojlanishini texnik parametrlar bo'yicha uch asosiy yo'nalishda tavsiflash mumkin. Birinchi yo'nalish - signal tashuvchining takomillashuvi, ya'ni mexanik yozuv vositalaridan magnit tasma va keyinchalik raqamli fayllarga o'tish. Ikkinchi yo'nalish — signalni qayta ishlash usullarining rivojlanishi, bunda mexanik va apparat montajidan raqamli algoritmik ishlov berishga o'tilgan. Uchinchi yo'nalish - ishlab chiqarish jarayonining integratsiyalashuvi, ya'ni mikrofon va yozuv qurilmasidan boshlangan signal oqimining raqamli mikshyer, audio interfeys, DAW, server, arxiv va avtomatlashtirilgan efir tizimlari bilan yagona axborot muhitiga birlashishidir. Shunday qilib, radio ovoz yozish texnologiyasining evolyutsiyasi texnik qurilmalar almashinuvi bilan bir qatorda signalni diskretlashtirish, kodlash, qayta ishlash, saqlash va uzatish algoritmlarining rivojlanishi bilan ham belgilanadi.

XULOSA

O'tkazilgan tadqiqot natijalari O'zbekiston radiosida ovoz yozish texnologiyalarining rivojlanishi radioeshittirish tizimining texnik va tashkiliy takomillashuvi bilan uzviy bog'liq bo'lgan ko'p bosqichli jarayon ekanligini ko'rsatdi. Ovoz yozishning dastlabki mexanik

vositalaridan magnit tasma asosidagi analog tizimlarga, undan esa zamonaviy raqamli audio texnologiyalariga o'tilishi radio mahsulotini tayyorlash, saqlash, tahrirlash va efirga uzatish jarayonlarining imkoniyatlarini bosqichma-bosqich kengaytirgan.

Texnik tahlil shuni ko'rsatdiki, analog tizimlarda ovoz sifati magnit tasma, yozish tezligi, signal/shovqin nisbati, apparat qurilmalarining texnik holati va qayta yozishlar soniga sezilarli darajada bog'liq bo'lgan. Raqamli texnologiyalarda esa namunalash chastotasi, kvantlash razryadi, bitreyt, ADC/DAC parametrlarining sifati hamda raqamli signalni qayta ishlash algoritmlari asosiy texnik omillarga aylandi. Shu sababli raqamli texnologiyaga o'tish nafaqat yangi yozuv tashuvchisining paydo bo'lishi, balki audio signalni matematik qayta ishlashga asoslangan yangi texnologik paradigmaning shakllanishini anglatadi.

Tadqiqotda aniqlangan muhim jihatlardan biri — raqamli audio ish stansiyalarining joriy etilishi bilan radio materiallarini tayyorlash jarayonining sezilarli darajada avtomatlashtirilganligidir. Audio yozuvni kesish, birlashtirish, filtratsiya qilish, ekvalizatsiya, normalizatsiya, dinamik qayta ishlash, metadata bilan ta'minlash va arxivlash kabi operatsiyalar dasturiy muhitda bajarilishi mumkin bo'ldi. Natijada ovoz yozish jarayoni alohida texnik operatsiyadan radio mahsulotining to'liq raqamli ishlab chiqarish sikliga aylandi.

O'zbekiston radiosida zamonaviy ovoz texnologiyalarining rivojlanishi radio kontentining saqlanishi va undan qayta foydalanish imkoniyatlarini ham kengaytirdi. Raqamli arxivlash audio materiallarni fayl ko'rinishida tizimlashtirish, metama'lumotlar asosida izlash, nusxalash va turli efir formatlariga moslashtirish imkonini beradi. Bu, ayniqsa, tarixiy radio yozuvlarini saqlash, raqamlashtirish va kelajak avlodga yetkazish nuqtayi nazaridan muhim amaliy ahamiyatga ega.

Umuman olganda, O'zbekiston radiosida ovoz yozish texnologiyalarining evolyutsiyasi *mexanik yozuv → analog magnit yozuv → professional analog studiya → raqamli yozuv → raqamli audio ish stansiyasi → avtomatlashtirilgan va multimedia radio ishlab chiqarish* ketma-ketligi orqali tavsiflanishi mumkin. Ushbu rivojlanish radioeshittirishning texnik sifatini oshirish bilan birga, audio materiallarni tezkor tayyorlash, qayta ishlash, saqlash va turli raqamli kommunikatsiya kanallarida tarqatish imkoniyatlarini ham kengaytirdi.

Kelgusida O'zbekiston radioeshittirish tizimida sun'iy intellekt asosidagi avtomatik transkripsiya, nutqni tanib olish, shovqinni intellektual kamaytirish, ovoz segmentlarini avtomatik ajratish, metadata generatsiyasi, raqamli arxivlarni semantik qidirish va kontentni avtomatik tavsiflash texnologiyalaridan foydalanish ovoz yozish jarayonining keyingi rivojlanish yo'nalishlaridan biri bo'lishi mumkin. Shu jihatdan ovoz yozish texnologiyalarining tarixiy evolyutsiyasini o'rganish nafaqat radioeshittirish tarixini yoritish, balki zamonaviy raqamli media infratuzilmasini rivojlantirish uchun ham ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

- [1] . Zuparov M.Z., Rahimov T.G. *Radioeshittirish*. Toshkent: Fan va texnologiya, 2011. 408 b.
- [2] . Zuparov M.Z., Rahimov T.G. *Radioeshittirish*. Toshkent: Fan va texnologiya, 2015. 264 b.
- [3] . Nosirov M. *Fonogramma*. Toshkent: O'zbekiston Milliy ensiklopediyasi, 2000.
- [4] . Tilepov Q.N. *Ovoz yozish texnologiyasining rivojlanish bosqichlari, ovoz rejissyori kasbining shakllanishi*. Qarshi: Oriental Art and Culture, 2024. Vol. 5, Issue 6.
- [5] . Daniel E.D., Mee C.D., Clark M.H. *Magnetic Recording: The First 100 Years*. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1999. 768 p.
- [6] . Katz M. *Capturing Sound: How Technology Has Changed Music*. Berkeley: University of California Press, 2004. 320 p.

MINTAQALARDA HUNARMANDCHILIKNI RIVOJLANTIRISHNING XORIJ TAJRIBALARI

Qashqadaryo viloyati Qarshi shahri

Xalilova Nilufar Akramovna

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti

“Iqtisodiyot” kafedrası v.b.dotsenti

nilufarxalilova@mail.com

Annotatsiya. Maqolada mintaqalarda hunarmandchilikni rivojlantirishning xorij tajribalari tahlil qilinadi. Mamlakatlar iqtisodiyotida hunarmanchilikni rivojlantirishga qaratilgan chora-tadbirlar, ushbu sohaning mamlakat iqtisodiyoti, jumladan aholi bandligini ta'minlashdagi tutgan o'rni bog'liq holda amalga oshirilayotgan xorij tajribalari o'rganiladi.

Kalit so'zlar: Mintaqa, hunarmandchilik, xorij tajribalari, turizm, bandlik, usta-shogird, eksport, brendlash, raqamli savdo.

Аннотация. В статье анализируется зарубежный опыт развития ремесел в регионах. Рассматриваются меры, направленные на развитие ремесел в экономиках стран, место этого сектора в национальной экономике, включая занятость, в связи с реализацией зарубежного опыта.

Ключевые слова: ; Регион, ремесла, зарубежный опыт, туризм, занятость, стажировки, экспорт, брендинг, цифровая коммерция.

Abstract. The article analyzes international experiences in developing the craft sector within regions. It examines measures aimed at fostering the development of handicrafts in national economies, as well as the practices implemented abroad that reflect the sector's role in the economy particularly regarding the provision of employment for the population.

Keywords: Region, craftsmanship, international experience, tourism, employment, master-apprentice system, export, branding, digital trade.

KIRISH.

Jahon amaliyotida hunarmandchilik faoliyatining rivojlanishi uzoq tarixga ega bo'lib, har bir mamlakat o'zining ijtimoiy-iqtisodiy rivojlanganlik darajasidan kelib chiqqan holda ushbu sohani rivojlantirishga turlicha yondashadilar. Umumiy holda jahon mamlakatlarida hunarmandchilik aholini o'zini-o'zi band qilish orqali ularning daromadlarini shakllantirish imkonini beruvchi soha sifatida baholanadi. Shu bilan birgalikda, mamlakatlar iqtisodiyotida hunarmanchilikni rivojlantirishga qaratilgan chora-tadbirlar ushbu sohaning mamlakat iqtisodiyoti, jumladan, aholi bandligini ta'minlashdagi tutgan o'rni bilan bog'liq holda amalga oshiriladi. Bu esa o'z navbatida hali hanzuz iqtisodiy adabiyotda hunarmandchilik sohasiga nisbatan umumqabul qilingan yagona yondashuvning shakllanib ulgurmaganoligiga sabab bo'ladi.

Jahon amaliyoti tahliliga ko'ra, ayrim hunarmandchilik sohasi mamlakat iqtisodiyotida ustuvor ahamiyatga ega bo'lgan mamlakatlarda ushbu sohaga nisbatan ilmiy yondashuv hunarmandchilik nazariyalaridan sezilarli darajada ilgari lab ketganligini kuzatishimiz mumkin. Bunda hunarmandchilik sohasida turli hunarmandlarning (masalan, rassomlar, o'ymakorlar, kulollar va h.k.) o'zaro birlashgan holda xo'jalik faoliyatlarini tashkil etishlari nazarda tutiladi. Ayrim mamlakatlarda esa hunarmandchilik sohasi bilan turistik xizmatlar ko'rsatishning o'zaro mutanosiblikda rivojlanishi ko'zga tashlanadi. Yuqorida keltirilgan holatlarni inobatga olgan holda, keyingi yillarda mamlakatimiz, jumladan, respublika hududlarida hunarmandchilik sohasini rivojlantirish orqali aholi bandligini ta'minlashga qaratilgan maqsadli davlat dasturlarini ishlab chiqishda jahon amaliyotini qiyosiy tahlil etish asosida, hunarmandchilik sohasini rivojlantirishning

ilg'or, boy xorijiy mamlakatlar amaliyotidan mamlakatimizda ijodiy foydalanish imkoniyatlarini aniqlash ilmiy va amaliy jihatdan dolzarb ahamiyat kasb etadi.

MATERIALLAR VA USULLAR.

Mavzuga oid ilmiy manbalar, qiyosiy tahlil, xalqaro tashkilotlar hisobotlari, hukumat dasturlari hamda xorijiy tajriba tahlil qilindi.

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, boy xorijiy mamlakatlar amaliyotidan mamlakatimizda ijobiy foydalanish imkoniyatlarini aniqlash orqali hunarmandchilik sohasini yanada rivojlantirish orqali aholi bandligini ta'minlash hisobga olingan.

NATIJA VA MUHOKAMA.

Yevropa ittifoqi mamlakatlari qonunchiligida hunarmandchilik to'g'risidagi alohida qonuniy me'yorlar ishlab chiqilmagan bo'lib, mintaqada ushbu soha aholini o'zini-o'zi bandligini ta'minlash sohasiga aylangan kichik va o'rta biznesning tarkibiy qismi sifatida qaraladi. Yevropa Ittifoqining kichik va o'rta biznes sohasiga oid bo'lgan qonuniy-me'yoriy xujjatlarida hunarmandchilik har bir mamlakatning ushbu sohadagi ixtisoslashuvi darajasidan kelib chiqqan holda baholinishi borasidagi fikrlar mavjud.

Yevropa Ittifoqiga a'zo bo'lgan mamlakatlar o'rtasida faqatgina Italiya qonunchiligida "hunarmandchilik sohasiga ta'rif berilganligini kuzatishimiz mumkin. Unga ko'ra, hunarmandchilik bu ma'lum bir turdagi tovarlarni ishlab chiqarish va xizmatlar ko'rsatish maqsadida tadbirkorlik faoliyatini tashkil etish shakli bo'lib, bunda qishloq xo'jaligi, tijorat xizmatlari, mahsulot yoki yordamchi xizmatlar brokerligi, oziq-ovqat va ichimliklarni davlat buyurtmasi asosida etkazib berish faoliyatlari hunarmandchilik faoliyatida mustasno hisoblanadi".⁴

Italiyada hunarmandchilik sohasining qonunchilik va operatsion vakolatlari mintaqalar va avtonom viloyatlarga o'tkazilgan. Odatda, mintaqalar faqat ma'muriy funksiyalarni bajaradi va mahalliy hokimiyat organlariga o'qitish, texnik yordam yoki eksportga yordam berish bo'yicha vakolatlarni beradi. Mamlakatda mintaqaviy hunarmandchilik sohasi uchun qonunchilik bazasi L.443/85 qonunida va Italiya Konstitutsiyasi bilan ta'minlangan. Hunarmandchilik ustaxonaning qonuniy faoliyat yuritishi uchun hunarmand tuman hunarmandchilik reyestrda ro'yxatdan o'tgan bo'lishi kerak.

Italiyada "Milliy "hunarmandchilik komissiyasi milliy va Yevropa qonunchiligi bo'yicha hunarmandchilikni rivojlantirish bo'yicha tavsiyalar berish huquqiga ega. Komissiya tarkibiga quyidagilar kiradi va uning faoliyati Sanoat vaziri tomonidan muvofiqlashtiriladi: viloyat hokimliklari vakillari, hududiy komissiya a'zolari, hunarmandchilik tashkilotlari, hunarmandlar va yirik sindikatlar vakillari. hunarmandchilik tashkilotlari faoliyati mustaqil bo'lib, ularning a'zolari hunarmandlar, sindikatlar, Milliy ijtimoiy ta'minot instituti, mahalliy bandlik idoralari va ekspertlardan iborat. Hunarmandchilik sohasi uchun kadrlar tayyorlash faoliyati asosan milliy va Yevropa fondlari tavsiyalari asosida xususiy tashkilotlar tomonidan targ'ib qilinadi".⁵

Italiyada bo'lgani kabi, hunarmandchilik to'g'risidagi qonunchilik Ispaniyaning mintaqalari kesimida mustaqil ravishda ishlab chiqilganligi sababli mamlakatdagi hunarmandchilik sohasiga oid bo'lgan 19 ta me'riy-qonuniy xujjatlarning 16 tasi avtonom jamoalarga, uchta esa Basklar mamlakati provinsiya hukumatlariga tegishli. Qonunchilikning o'zida, shuningdek, ba'zi atamalarning ta'rifida ba'zi o'xshashliklarga qaramay, har bir avtonom jamoa o'zi uchun

⁴ Малый бизнес: от ремесла к инновациям. Нефинансовая поддержка малого и среднего бизнеса. Отчет USAID МЕР в соответствии с утверждением дополнительным Планом по реализации подкомпонента 2.2. «Дорожная карта бизнеса 2020». [Электронный ресурс]. 34 стр. <https://atameken.kz/>

⁵ O'sha manba.

hunarmandchilik nima ekanligini va kim hunarmand ekanligini aniqlaydi. Shu sababli, ayrim avtonom jamoalar tomonidan “hunarmandlar ro‘yxati” deb nomlanuvchi maxsus ro‘yxatlarni shakllantirilgan. Yuqorida aytib o‘tilganidek, qonun Ispaniyada hunarmandchilik faoliyatini amalga oshirish uchun ro‘yxatdan o‘tishni ham talab qiladi. Ro‘yxatdan o‘tish uchun maxsus shartlar hunarmandchilik sohasini tartibga soluvchi asosiy qonunda belgilangan bo‘lishiga qaramay, bunda o‘zlarining maxsus qonunchiligini ishlab chiqqan ayrim jamoalar o‘z qonunchiligi asosida hunarmandchilik faoliyatini tartibga soladilar.

Ispaniyada “avtonom jamoalar hunarmandchilik sohasining hunarmandchilik vakillik organlari hisoblanadi. Bu turdagi jamoalar tomonidan hunarmandchilik sohasini rag‘batlantirish va rivojlantirishning turli chora-tadbirlari qabul qilingan. Shu bilan birgalikda, aksariyat jamoalar tomonidan hunarmandchilik sohasini rivojlantirish bo‘yicha o‘rta va uzoq muddatli istiqbolga mo‘ljallangan aniq rejalar va harakatlar dasturlari ishlab chiqilgan”.⁶

Fransiyada hunarmand – bu “korxonani o‘z mablag‘lari hisobidan tashkil etadigan, kasbiy malakaga ega bo‘lgan, korxonani boshqarishni ta‘minlaydigan va uning ishida shaxsan ishtirok etadigan kishi hisoblanadi. Bunday korxonada ishchilar soni 10 kishidan oshmasligi kerak bo‘lib, bunda mulkdor, unga yordam beradigan oila a‘zolari, xodimlar va shogirdlarning umumiy soni nazarda tutilgan”.⁷

Rossiya Federatsiyasida “Hunarmandchilik faoliyati to‘g‘risida”gi qonun loyihasida, birinchi navbatda, hunarmandchilikka ta‘rif berish taklif etilgan. Hujjatga ko‘ra, hunarmandchilik faoliyati (hunarmandchilik) mexanizatsiyadan foydalanish imkoniyati bilan qo‘l mehnatidan foydalanishga asoslangan mahsulot ishlab chiqarish (ishlarni bajarish, xizmatlar ko‘rsatish) bo‘yicha tadbirkorlik yoki kasbiy faoliyat turi deb tan olinadi va hunarmandlar mehnat qilishi mumkin bo‘lgan sohalar ro‘yhati bir sahifadan ortiq bo‘ladi. Bu yerda to‘qimachilik, kiyim-kechak, charm, poyabzal ishlab chiqarish, yog‘och va metallga ishlov berish hamda har qanday metall bo‘lmagan mahsulotlar ishlab chiqarish, munchoq bilan ishlov berishgacha bo‘ladi. Bunday yakka tartibdagi hunarmandlarga yakka tartibdagi tadbirkor sifatida ro‘yxatdan o‘tish va maxsus ishlab chiqilgan patent tizimi bo‘yicha ishlash imkoniyatini yaratish rejalashtirilgan”.⁸

Yevropa Ittifoqi mamlakatlarida hunarmandchilik faoliyati bilan shug‘ullanuvchi tadbirkorlik sub‘ektlari uchun xos bo‘lgan asosiy xususiyat bu kichik biznes yoki yakka tartibdagi tadbirkorlik faoliyati sifatida xo‘jalik yuritish shaklini tashkil etilishi bilan tavsiflanadi. Jumladan, hunarmandchilik faoliyati bilan shug‘ullanuvchi kichik biznes vakillari kam sonli ishchilarni ishga yollashi bilan birgalikda, biznes rahbari iqtisodiy faoliyatdan daromad olish manbalarini mustaqil ravishda o‘zi izlab topib, bunda barcha tavakkalchilikni o‘z bo‘yniga oladi. Shu bilan birgalikda, kichik biznes shaklida tashkil etilgan hunarmandchilik faoliyati rahbari korxonaning xo‘jalik faoliyati yuritishi bilan bog‘liq bo‘lgan barcha jarayonlar, jumladan, ishchilarni ishga yollash, ularni boshqarish, hunarmandchilik mahsulotlari ishlab chiqarish hajmini belgilash, xo‘jalik faoliyati istiqbolini rejalashtirish kabi holatlar bilan bog‘liq bo‘lgan qarorlarni mustaqil ravishda o‘zi qabul qiladi. Shu sababli Yevropa Ittifoqi mamlakatlarida hunarmandchilik faoliyatini kichik biznes shaklida tashkil etilishiga qaramay, uni boshqarish bilan bog‘liq bo‘lgan aniq mexanizm mavjud emas.

Yevropa Ittifoqi mamlakatlari o‘rtasida Germaniyada hunarmandchilikni rivojlantirish “Hunarmandchilik faoliyati to‘g‘risida”gi Qonunga muvofiq amalga oshiriladi. Mamlakatdagi amaldagi qonunchilikka muvofiq, mustaqil hunarmandlar deb ataladigan jismoniy va yuridik shaxslar yoki shaxslar guruhlarini hunarmandchilik faoliyati bilan faqat ushbu shaxslar hunarmandlar reyestrda ro‘yxatga olingan taqdirdagina shug‘ullanishi mumkin. Aks holda, hech bir shaxs va

⁶ O‘sha manba.

⁷ Отчет по ситуации с ремесленничеством в Европе"Проект CR@FTSMAN; REPORT ON THE SITUATION OF CRAFTSMANSHIP IN EUROPE"CR@FTSMAN PROJECT ES/09/LLP-LdV/TOI/149072 <http://projects.ifes.es/pdfs/craft/craft1.pdf>

⁸ <https://expert.ru/2014/11/14/remeslennikov-vyimanyat-iz-teni/>

tashkilot doimiy, mustaqil ravishda hunarmandchilik faoliyati bilan shug'ullanishga haqli emas. Reyestrning egasi Hunarmandchilik palatasi hisoblanadi va reyestrni yuritish tartibi Federal Iqtisodiyot vazirligining vakolatiga kiradi.

Xulosa qiladigan bo'lsak, hunarmandchilikni rivojlantirishning boy, ilg'or xorij amaliyoti tahliliga ko'ra, keyingi yillarda mamlakatimizda hunarmandchilik sohasida professional boshqarish elementlarini o'zida mujassamlashtirgan bozor kon'yunkturasidagi keskin o'zgarishlarga tezda moslasha oladigan hunarmandchilikni rivojlantirishning moslashuvchan mexanizmini shakllantirish lozim. Shuningdek, hunarmandchilik rivojlantirish bo'yicha ishlab chiqilayotgan maqsadli dasturlarda ushbu sohani rivojlantirishning xorijiy mamlakatlarning quyidagi amaliyotlaridan ijodiy foydalanish mumkin:

- hunarmand ustalar faoliyatini yo'lga qo'yishda "hunarmand usta", "katta hunarmand usta" kabi hunarmandchilik maqomlarini berish orqali hunarmandchilik sub'ektlari faoliyati samaradorligiga baho berish;

- rivojlangan mamlakatlar tajribalaridan kelib chiqib mamlakatimizda hunarmandchilikni xuquqiy maqomi va hunarmandlarning manfaatlarini himoya qilish uchun "Hunarmandchilik to'g'risida"gi qonunni ishlab chiqish maqsadga muvofiq;

- mamlakatimizda hunarmandchilikni rivojlantirish bo'yicha "Hunarmandchilik uyushmasiga" a'zo bo'lgan hunarmandlarning yagona ro'yhatini shakllantirish hamda ushbu ro'yxatda usta-xunarmadlarni alohida ko'rsatish zarur. Bu usta hunarmadlarga beriladigan imtiyozlarni tarkibini va yo'nalishlarini aniq qilib tahlil qilishga imkon beradi;

- hunarmandchilikni rivojlantirish bo'yicha respublika hududlarida ixtisoslashuvni amalga oshirish;

- hududlar kesimida hunarmandchilik bo'yicha ixtisoslashuvdan kelib chiqqan holda mintaqaviy hunarmandchilik tarmog'i uchun mahalliy budjet hisobidan subsidiya va dotatsiyalar ajratish bilan birgalikda, ular faoliyatini yo'lga qo'yish bo'yicha imtiyozlarni kengaytirish;

- respublika hududlari kesimida mintaqaviy hunarmandchilikni rivojlantirishni moliyaviy jihatdan qo'llab-quvvatlash samaradorligini oshirish maqsadida, milliy hunarmandchilikni rivojlantirish jamg'armalarini tashkil etish lozim.

NATIJALAR. Sanoatdan farqli o'laroq, Germaniyada hunarmandchilik iqtisodiyotning qadimiy tarmoqlaridan hisoblanib, bugungi kunda mamlakat hunarmandchilik sohasida 94 ta kasb, 600 mingga yaqin mustaqil korxona va 6 mln.dan ortiq ishchi-xizmatchi faoliyat yuritmoqda. Germaniya hukumati hunarmandchilik korxonalarini axborot, malaka oshirish, biznes maslahatlari, imtiyozli kreditlar va kasb-hunar ta'limi va qayta tayyorlash uchun subsidiyalar bilan qo'llab-quvvatlaydi.

Germaniyada "Hunarmandchilik to'g'risida"gi Nizomga ko'ra, hunarmandchilik bilan shug'ullanishga faqat hunarmand usta unvonini olish uchun imtihondan o'tganlargagina ruxsat etiladi. Hunarmand usta unvoni uchun imtihondan o'tish va sertifikatni olish talabalarga o'qish huquqini beradi. Mamlakatda hunarmandchilikning kichik korxonadan eng muhim farqi shundaki, hunarmandning o'zi ishlaydi, ishlab chiqarishda ishchi sifatida qatnashadi. Uning daromadini hisoblashda oddiy ko'paytirishni amalga oshirishning o'zi etarli hisoblanadi. Davlat hunarmandchilik korxonalariga boshqa firmalarga nisbatan sezilarli imtiyozlar ajratishi sababli, hunarmandlar o'z bizneslarini kengaytirishni va kichik tadbirkorlarga aylanishni xohlamaydilar.

Germaniyada hunarmandchilik firmalari qurilish sohasida keng tarqalgan. Bundan tashqari, Yevropa Ittifoqi mamlakatlarida bo'lgani singari Germaniya hukumati tomonidan hunarmandlarga ko'proq yollanma ishchilarni yollashga ruxsat berilgan. Shu sababli ham Yevropa Ittifoqi mamlakatlarida hunarmandchilik kichik va o'rta biznes yuritish shaklida rivojlanib kelmoqda (1.6-jadvalga qarang). Germaniya xizmat ko'rsatish sohasida kichik nonvoyxonalar, qandolatchilik sexlari va maishiy texnika ta'mirlash ustaxonalari ko'pincha hunarmandchilik korxonasi maqomiga

ega. Ishlab chiqarish sohasida hunarmandlar odatda kichik va o'rta korxonalar shaklida tashkil etiladi.

loyihalar amalga oshirilmoqda.

XULOSA. O'zbekistonda hunarmandchilik faoliyatini amalga oshirishning 34 ta ixtisoslashgan yo'nalishlar bo'yicha 200 ga yaqin hunarmandchilik mahsulotlari ishlab chiqariladi. Bundan tashqari belgilangan nizomlarga muvofiq mahalliy hunarmandlar, hunarmandchilik faoliyati yo'nalishidan kelib chiqqan holda amaldagi qonunchilikda belgilangan tartibda 5 tadan 10 tagacha shogird olish huquqiga mavjud;

- mamlakatimiz hududlarida hunarmandchilikni rivojlantirish orqali aholi bandligini ta'minlash mumkin ammo, xar bir ustaga qonunchilikda belgilangan faoliyat turlariga qarab 5 nafardan 10 nafargacha shogird olish mumkin. Yevropa Ittifoqi mamlakatlarida hunarmandchilik faoliyati bilan shug'ullanuvchi tadbirkorlik sub'ektlari uchun xos bo'lgan asosiy xususiyat bu kichik biznes yoki yakka tartibdagi tadbirkorlik faoliyati sifatida xo'jalik yuritish shaklini tashkil etilishi bilan tavsiflanadi. Shunga ko'ra ularda yollanma xodimlar soni 9 tadan 250 tagacha jalb qilish mumkin. Shunga ko'ra mamlakatimizda ham xunarmandchilik sohasida yuridik maqomga ega bo'lgan korxonalar ro'yxatini shakllantirib, ularga alohida maxsus imtiyozlar taqdim etish maqsadga muvofiq;

- rivojlangan mamlakatlarda hunarmandchilikni xuquqiy maqomi va hunarmandlarning manfaatlarini himoya qilish uchun "Hunarmandchilik to'g'risida"gi qonuni hamda xunarmandlarning umumiy ro'yxati belgilangan. Ro'yxatga kiritilgan xunarmandlar maxsus imtiyozlarga ega bo'ladi;

- mamlakatimizda hunarmandchilikni rivojlantirish bo'yicha "Hunarmadchilik uyushmasiga" a'zo bo'lgan hunarmandlarning yagona ro'yhatini shakllantirish hamda ushbu ro'yxatda usta-xunarmadlarni alohida ko'rsatish zarur. Bu usta hunarmadlarga beriladigan imtiyozlarni tarkibini va yo'nalishlarini aniqlab belgilab olishga imkoniyat beradi;

ADABIYOTLAR RO'YXATI:

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Hunarmandchilik faoliyatini qo'llab-quvvatlash tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PQ-77-son Qarori, 30.12.2021 y. <https://lex.uz/docs/5807559>

[2] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Hunarmand" uyushmasi faoliyatini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi

[3] PQ-3393-son Qarori, 17.11.2017 y. <https://lex.uz/docs/3416129>

[3] O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining "2022-2026 yillarda Qashqadaryo viloyati hududlarini kompleks ijtimoiy-iqtisodiy rivojlantirish va aholi turmush darajasini yanada yaxshilashga doir qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi 201-sonli qarori, 20.04.2022 y.

[4] O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining "2021-2022 yillarda Qashqadaryo viloyatida tadbirkorlikni rivojlantirish, kambag'allikni qisqartirish va infratuzilmani yanada yaxshilashga doir tezkor chora-tadbirlar to'g'risida"gi 479-son qarori, 02.08.2021 y. <https://lex.uz/docs/5544721>

[5] Ademola, O.J. (2014). Working capital management and profitability of selected quoted food and beverages manufacturing firms in Nigeria. European Journal of Accounting Auditing and Finance Research, 2(3). 10-21.;

[6] Dobes, V., Fresner, J., Krenn, C., Rinaldi, C., Cortesi, S., et al. Analysis and exploitation of resource efficiency potentials in industrial small and medium-sized enterprises – Experiences with the EDIT Value Tool in Central Europe. Journal of Cleaner Production. Volume 159, 15 August 2017, Pages 290-300.

QASHQADARYO VILOYATI TUMANLARINING IQTISODIY RIVOJLANISH DARAJASINI INTEGRAL BAHOLASH VA HUDUDIY TAFOVUTLARNI KAMAYTIRISH YO‘LLARI

Xidoyatova Nigora Shorakibovna

Qarshi xalqaro universiteti “Iqtisodiyot va muhandislik” kafedrası katta o‘qituvchisi

xidoyatovaanigora@gmail.com

ORCID: 0009-0006-2446-6720

Annotatsiya. Ushbu tezisda Qashqadaryo viloyati tumanlari va shaharlarining iqtisodiy rivojlanish darajasini integral baholash metodikasi taklif etilgan hamda uning asosida hududlararo tafovutlarni kamaytirish bo‘yicha amaliy takliflar ishlab chiqilgan. Tadqiqotda asosiy kapitalga investitsiyalar hajmi, sanoat ishlab chiqarish va qurilish ishlari dinamikasi kabi ko‘rsatkichlar min-maks normalizatsiya usuli yordamida integral indeksga jamlangan. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, viloyat ichida hududiy tafovut darajasi yuqori (variatsiya koeffitsienti $\approx 0,99$) bo‘lib, investitsiya va sanoat salohiyati asosan Qarshi shahri, Nishon va Muborak tumanlarida to‘plangan. Tafovutlarni kamaytirish uchun sanoat zonalarini hududiy jihatdan diversifikatsiyalash, kam rivojlangan tumanlarda tarmoq ixtisoslashuvini kuchaytirish va investitsiya kvotalarini differensiallashtirish tavsiya etiladi.

Kalit so‘zlar: hududiy iqtisodiyot, integral baho, tuman, iqtisodiy rivojlanish, hududiy tafovut, investitsiya, min-maks normalizatsiya, variatsiya koeffitsienti.

Аннотация. В тезисах предложена методика интегральной оценки уровня экономического развития районов и городов Кашкадарьинской области, на основе которой разработаны практические предложения по сокращению межрайонных различий. В исследовании такие показатели, как объём инвестиций в основной капитал, динамика промышленного производства и строительных работ, были сведены в интегральный индекс методом мин-макс нормализации. Результаты показали высокий уровень территориальной дифференциации (коэффициент вариации $\approx 0,99$): инвестиционный и промышленный потенциал в основном сосредоточен в городе Карши, Нишанском и Муборакском районах. Для сокращения различий рекомендуется территориальная диверсификация промышленных зон, усиление отраслевой специализации менее развитых районов и дифференциация инвестиционных квот.

Ключевые слова: региональная экономика, интегральная оценка, район, экономическое развитие, территориальная дифференциация, инвестиции, мин-макс нормализация, коэффициент вариации.

Abstract. This thesis proposes a methodology for the integral assessment of the economic development level of districts and cities of Qashqadaryo region and, on this basis, develops practical proposals for reducing inter-district disparities. Fixed-capital investment volume, industrial output and construction-works dynamics were aggregated into an integral index using the min-max normalization method. The results reveal a high degree of territorial differentiation within the region (coefficient of variation ≈ 0.99), with investment and industrial potential concentrated mainly in Qarshi city and the Nishon and Muborak districts. To reduce the gap, it is recommended to diversify industrial zones territorially, strengthen sectoral specialization of less-developed districts, and differentiate investment quotas.

Keywords: regional economy, integral assessment, district, economic development, territorial disparity, investment, min-max normalization, coefficient of variation.

KIRISH

Hududiy ijtimoiy-iqtisodiy rivojlanishning tengsizligi mamlakat miqyosidagi barqaror va inklyuziv o'sishga erishishning muhim to'siqlaridan biri hisoblanadi. So'nggi yillarda O'zbekistonda, jumladan Qashqadaryo viloyatida, sanoatlashtirish, investitsion faollikni oshirish va tadbirkorlikni qo'llab-quvvatlash bo'yicha keng ko'lamli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. Rasmiy ma'lumotlarga ko'ra, 2025-yilda viloyat yalpi hududiy mahsulotida 6,8 foiz, sanoatda 7,2 foiz, xizmatlar sohasida 13,6 foiz o'sish qayd etilgan, ishsizlik va kambag'allik darajasi mos ravishda 4,9 va 6,5 foizgacha pasaygan. Shu bilan birga, viloyat ichidagi tumanlar o'rtasida sanoatlashuv, investitsiyalar va infratuzilma darajasi bo'yicha sezilarli farqlar saqlanib qolmoqda: yirik gaz-kimyo va energetika loyihalari asosan bir necha tumanda (Muborak, Nishon, Qarshi shahri) jamlangan bo'lsa, agrar xususiyatga ega tumanlarda (Kitob, Ko'kdala, Kasbi, Chiroqchi, Yakkabog') investitsion faollik nisbatan past.

Bu holat hududlarning iqtisodiy rivojlanish darajasini ob'ektiv va qiyoslanadigan tarzda baholaydigan integral ko'rsatkichlar tizimini ishlab chiqish zaruriyatini keltirib chiqaradi. Tadqiqotning maqsadi — Qashqadaryo viloyati tumanlari va shaharlarining iqtisodiy rivojlanish darajasini integral indeks asosida baholash hamda aniqlangan hududiy tafovutlarni kamaytirish bo'yicha ilmiy asoslangan takliflar ishlab chiqishdan iborat. Ushbu maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilandi: 1) hududiy rivojlanishni baholash uchun ko'rsatkichlar tizimini shakllantirish; 2) integral indeksni hisoblash metodikasini tanlash va qo'llash; 3) tumanlarni rivojlanish darajasiga ko'ra guruhlash; 4) tafovutlarni kamaytirish yo'llarini asoslash.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Tadqiqotda O'zbekiston Respublikasi Milliy statistika qo'mitasi Qashqadaryo viloyati statistika boshqarmasining rasmiy press-revizlarida (2025-yil yakunlari bo'yicha) e'lon qilingan asosiy kapitalga investitsiyalar, sanoat ishlab chiqarish va qurilish ishlari hajmi bo'yicha hududiy ma'lumotlardan foydalanildi. Integral indeksni shakllantirish uchun har bir ko'rsatkich bo'yicha min-maks normalizatsiya usuli qo'llanildi:

$$I_{ij} = (x_{ij} - x_{j \min}) / (x_{j \max} - x_{j \min}),$$

bu yerda x_{ij} — i-hudud bo'yicha j-ko'rsatkichning qiymati, $x_{j \min}$ va $x_{j \max}$ — tegishli ko'rsatkichning viloyat bo'yicha minimal va maksimal qiymatlari. Ushbu usul barcha ko'rsatkichlarni 0 dan 1 gacha bo'lgan shkalaga keltirib, ularni bir-biri bilan qiyoslash va integral indeks tarkibiga kiritish imkonini beradi. Hududiy tafovut darajasini miqdoriy baholash uchun variatsiya koeffitsienti ($V = \sigma/\bar{x} \times 100\%$) hisoblab chiqildi, bu ko'rsatkich qanchalik yuqori bo'lsa, hududlar o'rtasidagi tafovut shunchalik katta ekanligini bildiradi. Maqolaning hajmi doirasida integral indeksning asosiy tarkibiy qismi sifatida 2025-yil yakuni bo'yicha asosiy kapitalga investitsiyalar hajmi (mlrd so'm) tanlab olindi, chunki mazkur ko'rsatkich barcha 16 ta tuman va shahar kesimida to'liq va qiyoslanadigan shaklda mavjud; sanoat ishlab chiqarish va qurilish ishlari dinamikasi esa natijalarni tasdiqlovchi qo'shimcha ko'rsatkichlar sifatida jalb etildi.

NATIJALAR VA TAHLIL

2025-yil yakunlari bo'yicha Qashqadaryo viloyatida barcha moliyalashtirish manbalari hisobidan asosiy kapitalga jami 39876,0 mlrd so'mlik investitsiya o'zlashtirilgan. Tumanlar va shaharlar kesimidagi taqsimot quyidagi jadvalda keltirilgan (manba: Qashqadaryo viloyati statistika boshqarmasi, 2026-yil 23-yanvar press-relizi).

№	Tuman / shahar	Investitsiya hajmi, mlrd so'm	Integral indeks (I _{ij})
---	----------------	-------------------------------	------------------------------------

№	Tuman / shahar	Investitsiya hajmi, mlrd so‘m	Integral indeks (Iij)
1	Nishon tumani	7994,2	1,000
2	Muborak tumani	6868,9	0,850
3	Qarshi shahri	6818,9	0,843
4	G‘uzor tumani	4849,3	0,581
5	Dehqonobod tumani	1771,7	0,171
6	Qarshi tumani	1585,4	0,147
7	Mirishkor tumani	1377,7	0,119
8	Shahrisabz tumani	1289,3	0,107
9	Koson tumani	1279,2	0,106
10	Kitob tumani	1066,3	0,077
11	Qamashi tumani	989,6	0,067
12	Ko‘kdala tumani	906,8	0,056
13	Chiroqchi tumani	872,9	0,052
14	Yakkabog‘ tumani	861,9	0,050
15	Kasbi tumani	858,7	0,050
16	Shahrisabz shahri	485,1	0,000

1-jadval. Qashqadaryo viloyati tumanlari va shaharlarining asosiy kapitalga investitsiyalar bo‘yicha integral indeksi (2025-yil yakuni).

Hisob-kitoblar shuni ko‘rsatadiki, o‘rtacha investitsiya hajmi 2492,2 mlrd so‘mni, standart chetlanish esa 2474,7 mlrd so‘mni tashkil etib, variatsiya koeffitsienti taxminan 99,3 foizga teng bo‘ldi. Bu — viloyat ichida hududiy tafovutning nihoyatda yuqori darajasidan dalolat beradi. Olingan integral indeks qiymatlariga ko‘ra tumanlarni shartli ravishda uch guruhga ajratish mumkin: yuqori daraja ($I_{ij} > 0,5$) — Nishon, Muborak, Qarshi shahri va G‘uzor tumanlari, ularning ulushiga jami investitsiyaning qariyb 66 foizi to‘g‘ri keladi; o‘rta daraja ($0,1 \leq I_{ij} \leq 0,5$) — Dehqonobod va Qarshi tumanlari; past daraja ($I_{ij} < 0,1$) — qolgan o‘nta tuman, jumladan Kitob, Qamashi, Ko‘kdala, Chiroqchi, Yakkabog‘ va Kasbi tumanlari. Qurilish ishlari va sanoat ishlab chiqarish dinamikasi bo‘yicha qo‘shimcha tahlil ham shu tendensiyaning tasdiqlaydi: 2025-yil yanvar-dekabr oylarida Qarshi tumanida qurilish ishlari hajmi o‘tgan yilga nisbatan 140,6 foizga o‘sgan bo‘lsa, G‘uzor tumanida bu ko‘rsatkich 89,9 foizni tashkil etib, o‘sish sur‘atlari o‘rtasida ham sezilarli tafovut mavjudligini ko‘rsatadi.

MUHOKAMA VA XULOSALAR

Tahlil natijalari yuqori guruhga kiruvchi tumanlarning ustunligi, birinchi navbatda, ularda joylashgan yirik neft-gaz va kimyo sanoati korxonalari (Muborak, Nishon) hamda hududiy ma‘muriy-tijorat markazi (Qarshi shahri) mavjudligi bilan izohlanishini ko‘rsatadi. Viloyat

rahbariyati tomonidan 2026-2027-yillarga mo'ljallangan Muborak maxsus innovatsion sanoat zonasi va Qarshi yashil texnologiyalar sanoat zonasi doirasida 36 ta loyihani (1,1 mlrd. dollardan ziyod) amalga oshirish rejalashtirilgani hududiy salohiyatni yanada kuchaytiradi, biroq bu resurslarning geografik jihatdan yanada teng taqsimlanishini ta'minlash zarurligini ko'rsatadi.

Hududiy tafovutlarni kamaytirish bo'yicha quyidagi yo'nalishlar taklif etiladi: birinchidan, yangi sanoat va innovatsion zonalarini nafaqat yetakchi, balki past integral indeksga ega tumanlarda ham tashkil etish orqali investitsiya oqimini hududiy jihatdan diversifikatsiyalash; ikkinchidan, agrar tumanlar (Kitob, Ko'kdala, Kasbi, Chiroqchi, Yakkabog', G'uzor, Qamashi) uchun ularning tabiiy-iqtisodiy ustunliklariga mos qishloq xo'jaligi mahsulotlarini qayta ishlash va chorvachilik klasterlarini rivojlantirishga yo'naltirilgan maqsadli dasturlarni joriy etish; uchinchidan, mahalliy tadbirkorlikni qo'llab-quvvatlash uchun ajratilayotgan imtiyozli kredit va subsidiyalarni (2026-yilda mahallalar kesimida 820 mlrd so'm kredit va 52,3 mlrd so'm subsidiya) past indeksli tumanlarga nisbatan differensial tarzda taqsimlash; to'rtinchidan, integral indeksni yiliga kamida bir marta hisoblab, uni hududiy dasturlarni monitoring qilish va resurslarni taqsimlashning ob'ektiv mezonini sifatida rasmiy amaliyotga joriy etish.

Xulosa qilib aytganda, taklif etilgan integral baholash metodikasi Qashqadaryo viloyati tumanlari o'rtasidagi iqtisodiy rivojlanish tafovutlarini son jihatidan aniq ifodalash va ularni bartaraf etishga qaratilgan chora-tadbirlarni ustuvorlashtirish imkonini beradi. Kelgusi tadqiqotlarda indeks tarkibini kengaytirib, unga aholi jon boshiga daromad, ijtimoiy infratuzilma va ekologik ko'rsatkichlarni ham qo'shgan holda ko'p omilli integral model ishlab chiqish maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son Farmoni bilan tasdiqlangan 2022–2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi.

[2] Qashqadaryo viloyati statistika boshqarmasi. Qashqadaryo viloyatida asosiy kapitalga investitsiyalar. 2025-yil yanvar–dekabr oylari uchun press-reliz. — Qarshi: Qashstat, 2026.

[3] Qashqadaryo viloyati statistika boshqarmasi. Qashqadaryo viloyatida bajarilgan qurilish ishlari. 2025-yil yanvar–dekabr oylari uchun press-reliz. — Qarshi: Qashstat, 2026.

[4] Qashqadaryo viloyatini rivojlantirish bo'yicha ustuvor vazifalar muhokama qilindi // gov.uz rasmiy portali, 2026-yil 11-mart.

[5] Williamson J. G. Regional inequality and the process of national development: a description of the patterns // *Economic Development and Cultural Change*. — 1965. — Vol. 13, No. 4. — P. 1–84.

[6] Karimov N.G'. va boshq. Hududlarning ijtimoiy-iqtisodiy rivojlanishini baholashning integral ko'rsatkichlari // O'zbekiston iqtisodiy axboroti. — 2023. — №4. — B. 45–52.

MUNDARIJA

1.	Homogenization of the Bingham problem and discretization with the help of the splitting operator on an obstacle environment. Gheldiu C., Dumitrache M.	5
2.	Boundary value problem for a system of nonlinear reaction-diffusion equations modeling glioblastoma growth and spread. Rambely A.S., Nortoshev D.G.	9
3.	Инновационная методология развития навыков решения математических задач в цифровой среде обучения. Алтынбеков Ш.Э., Рахмонов Б.Н., Рахимов Х.А.	10
4.	Математическое моделирование нелинейных колебаний вязкоупругих композитных тонких пластин. Аширбаев Н.К., Butayev R.B., Xo'jaqulov F.N.	14
5.	О радиально симметричных решениях задачи для эллиптического уравнения с $p(x)$ -лапласианом. Терсенов А.С., Сафаров Р.Ч.	21
6.	Математические модели задачи фильтрации флюидов, движущихся по криволинейным и гиперболическим законам в многопластовых средах. Каюмов Ш., Зиядуллаева Ш.С., Бекчанов Ш.Э., Юсупов А.	24
7.	Magnit yarimo'tkazgichlar va spintronikaning texnologik yutuqlari. Mamadaliyeva N.Z.	27
8.	Interferensiya mavzusini o'qitishda interfaol metodlardan foydalanish. Mamatov Z.U.	29
9.	Numerical simulation and phase-space visualization of nonlinear oscillatory systems via the fourth-order Runge-Kutta algorithm in Python. Eshboltayev I.M., Meliqo'ziyev D.J., Muratova Z., Eshboltayev I.I., Abdumalikov S.S.	33
10.	To'g'ri burchakli kvant ipdagi zarrachaning to'lqin funksiyasi va energetik holatlari. Xujanova D.Sh.	37
11.	Kvant mexanikasida ontologik reallik va o'lchash muammosi: Kopengagen, Bom va Everett talqinlarining qiyosiy tahlili va dekoherensiyaviy yechimi. Eshboltayev I., Shokirov M.	40
12.	Anisotropic Poincaré metrics: comparison estimates, completeness, and curvature change. Bozarov D.U., Uralova R.A.	43
13.	Spectrum and pseudospectrum of multiplication operators in a quasiconformal pullback model. Bozarov D.U., Bobokhonov Sh.S.	47
14.	Principal ideals and multiplier endomorphisms in algebras of analytic functions. Bozarov D.U., Bobokhonov Sh.S.	51
15.	Fizik jarayonlarni tavsiflashda differensial tenglamalarning qo'llanilishi. Movlonov M.K., Ovlayeva M.H.	55
16.	2-adik baholashga asoslangan chekli ikkilik normallashtirish algoritmi. Davlatov Sh.O.	59
17.	Monoton toq qismga ega Kollats tipidagi iteratsiya. Davlatov Sh.O.	63
18.	Matritsali differensial tenglamalarni integrallashning zamonaviy usullari. Raximov X.A.	67
19.	Yopishqoq-plastik muhitlarning reologik xususiyatlari. Xo'jaqulov F.N.	73
20.	Yuqori tartibli chiziqli o'zgaras koeffitsiyentli differensial tenglamalar tahlili. Jamolov M.X.	77
21.	Furye qatorining tahlili. Jamolov M.X.	81
22.	Асимптотическое поведение траекторий квадратичных стохастических операторов. Мейлиев Х.Ж.	85
23.	Одномерная динамическая обратная задача для системы уравнений типа Хопфа. Мукумов А.Х.	88
24.	Обратная задача об источнике для системы уравнений типа Хопфа. Мукумов А.Х.	90

25.	Квадратичные стохастические операторы, соответствующие биномиальным распределениям. Мейлиев Х.Ж.	92
26.	O'zgartirilgan tashqi maydon ta'siridagi Potts modelining asosiy holatlari. Jamolov M.X.	94
27.	Нелокальные задачи для смешанного уравнения дробного порядка. Эшматов Б.Э.	97
28.	Regular solvability of the problem for a mixed parabolic-hyperbolic third-order equation. Eshmatov B.E., O'ralova R.	99
29.	Birinchi tartibli oddiy differensial tenglamalarni yechishda Eyler va Runge-Kutta usullarining qiyosiy tahlili. Islomov D.Z.	101
30.	Issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasini yechishda progonka usulining samaradorligi. Islomov D.Z.	105
31.	Damping characteristics and energy dissipation analysis of harmonic waves in a cylindrical shell with a two-layer viscoelastic filler. Butayev R.B., Xolyigitova M.N.	109
32.	Silindrik qobiqning deformatsiyalanish jarayonini differensial tenglamalar asosida matematik modellashirish. Butayev R.B., Xolyigitova M.N.	118
33.	Chigirtkalar populyatsiyasi ko'payishining matematik modeli. Davlatov Sh.O., Eshonqulov J.S., Qilicheva M.	121
34.	n-tartibli chiziqli bo'lmagan vektor-matritsali differensial tenglamalar uchun chegaralangan yechimlarning mavjudligi. Movlonov M.K.	126
35.	Raqamli ta'lim muhitida bilimlarni baholashda sun'iy intellektning o'rni va roli. Pardayev Sh.M.	130
36.	Необходимые сведения из теории краевых задач для дифференциальных уравнений. Эшматов Б.Э., Шералиева Ш.А., Примова Х.Б.	133
37.	Ratios of deformation rates of contacting bodies. Khurramov Sh.R., Ismadiyrov D.U.	135
38.	O'simliklarni parvarishlash jarayonini intellektual avtomatlashtirish texnologiyasi. Ochilov M.R., Ochilova S.R.	140
39.	Arxiv hujjatlari qiymatini baholash mezonlarini formallashtirishning matematik modeli. Qudratova M.N.	145
40.	Ko'zi ojiz insonlar uchun chuqur o'qitish algoritmlari asosida aqlli bosh kiyim ishlab chiqish. Umarov M.A.	151
41.	Ta'lim tizimlarida nutq sintezlash uchun matnni normalizatsiya qilish. Umarov M.A., Saidkulov E.A., Umarov X.A.	156
42.	Анализ контактного взаимодействия в валковом модуле. Хуррамов Ш.Р., Исмадияров Д.У.	160
43.	Tub sonlarni aniqlashning zamonaviy algoritmlari: tahliliy sharh. Abbasova N.B.	164
44.	Yashil iqtisodiyot sharoitida ta'lim sohasida sun'iy intellektdan foydalanish. Ablaqulov K.B.	167
45.	Уравнения для потенциалов скоростей осесимметричного течения многокомпонентных систем. Донаев Б.	170
46.	Suv osti obyektlarini aniqlashning zamonaviy usullari: qiyosiy tahlil va akustik yondashuvning afzalliklari. Islomov D.	174
47.	Finite element investigation of static and dynamic behavior of cantilever beam: influence of material properties on deformation and stress. Namozov J., Alimov Sh.	179
48.	Kross-lingvistik muhitda matnlarning semantik o'xshashligini baholash algoritmi. Norov A.M., Jo'rakulov T.T., Ruzimurodova L.B.	183
49.	Ta'lim tizimida interaktiv 3D vizualizatsiyani veb-texnologiyalarga integratsiya qilishning dasturiy-texnik yechimlari. Ochilova S.R., Norboboyev A.	185

50.	Численные и вероятностные методы в технологии и организации строительного производства. Сатторов А.М.	191
51.	To‘rtinchi tartibli yupqa plyonka masalasining avtomodel yechimini aniqlash. To‘rayev J.N., Nuraliyeva M.	195
52.	Na ⁺ va Ba ⁺ ionlari bilan implantatsiya qilingan Si(111) da plazmon tebranishlarining o‘zgarishi va ularning nazariy talqini. Xujaniyozov J.B., Abduvayitov A.A., Qodirova I.Q., Tursunmetova Z.A.	198
53.	Ta’limda sun’iy intellektni qo‘llash bo‘yicha xorijiy va milliy tadqiqotlar tahlili. Eshnazarova M.Y.	204
54.	Muammoli vaziyatlar orqali o‘quvchilarda matematik tafakkurni rivojlantirish metodikasi. Fayzullayeva E.O‘.	206
55.	Yarimo‘tkazgichli moddalarda A ⁺ markazlarda kvant effektlarining hosil bo‘lishi. Inoyatov Sh.T., Yusupov D.A., Foziljonov B.S.	211
56.	Fan va texnologiyaning dolzarb masalalarida diskret matematika va optimallashtirish usullarining o‘rni hamda amaliy tatbiqi. Maxmudova N.A.	215
57.	The application of differential equations in mathematical modeling of real-world processes. Qosimova M.Ya.	217
58.	Muhandislik yo‘nalishi talabalariga fundamental fanlarni o‘qitishda dasturlash tili orqali bilimni takomillashtirish. Ruzimurodov I.N., Sattorov M.E., Muqumova M.M.	220
59.	Muhandislik yo‘nalishi talabalariga matematika fanini dasturlash tili asosida o‘qitish metodikasini takomillashtirish. Ruzimurodov I.N., Hayitov B.Yu., Ruzimurodov O.I.	223
60.	Muhandislik masalalari asosida texnik sezgi va fizik tafakkurni rivojlantirish. Sanaqulov F.R.	227
61.	Zararli moddalarning atmosferada tarqalishini kuzatish va bashoratlash uchun tizimli konstruktiv uslubiyatga asoslangan holda matematik modellar ishlab chiqish. Muradov F.A., Raxmanov A.A., Shonazarov U.N., Nuriddinova S.M.	229
62.	Atmosferada zararli moddalarning ko‘chishi va tarqalishini tavsiflovchi nochiziqli matematik modelni ishlab chiqish va uning sonli yechimi. Muradov F.A., Raxmanov A.A., Shonazarov U.N., Nuriddinova S.M.	232
63.	REST API asosida taqsimlangan web-ilovalarni loyihalash va ishlab chiqish usullari. Sunatov J.T., To‘rayeva R.R.	239
64.	Zamonaviy yarimo‘tkazgich qurilmalarida termal muammolarni bartaraf etish usullari. Tojiyeva N.A.	243
65.	Bo‘lajak pedagoglarning mustaqil ta’lim faoliyatiga sun’iy intellekt texnologiyalarini joriy etishda muammolar va yechimlar. Topildiyev S.M.	248
66.	Необходимость и преимущества применения информационных технологий в обучении ядерной физике. Юсупов Д.А., Абдусаматов А.А., Алиева Т.Ш.	251
67.	The role of mathematical modeling in solving modern scientific and practical problems. Yusupova N.Kh.	254
68.	Tarkibida butun va kasr qismi qatnashgan tenglama va tengsizliklar. Axmadjonova O.S.	256
69.	Bulutli texnologiyalar va ularning ta’limdagi ahamiyati. Madraximov Sh.Sh.	261
70.	Bitta matematik struktura – turli jarayonlar: oliy matematikaning amaliy modellashtirishdagi universalligi. Maxmudova N.A.	266
71.	The role and prospects of artificial intelligence in the educational process. Mengnarova S.K.	270
72.	Raqamli ta’lim platformalarida talabalarining mustaqil ish faoliyatini statistik baholashning matematik modellari. Muydinjanov D. R.	273

73.	Ehtimollik nazariyasi va stokastik modellarning amaliy tahlili. Nomanjonova D.B.	276
74.	Sun'iy intellekt vositalari asosida talabalarning tadqiqotchilik kompetensiyasini rivojlantirish. Qahramonova Sh.O.	278
75.	Graf nazariyasining zamonaviy axborot texnologiyalaridagi qo'llanilishi. Ro'ziyeva Z.O.	284
76.	Challenges and solutions in mathematical modelling in Uzbekistan. Sodikkhujaeva Sh.Kh.	289
77.	Raqamli transformatsiya sharoitida axborot tizimlarini modernizatsiya qilishning metodologik asoslari. Sunatov J.T., Bektosheva F.B.	292
78.	Matematika darslarida interfaol metodlardan foydalanishning samaradorligi. Toshtemirova Sh.	296
79.	Monokristall kremniy sirtini ion implantatsiya qilish orqali qo'shimcha tozalash usuli. Xujaniyozov J.B., Bekpulatov I.R., Tursunmetova Z.A.	299
80.	Registration of ultra-low-amplitude Earth vibrations up to critical amplitude levels. Yusupov D.A., Inoyatov Sh.T., Abdusamadov A.A.	304
81.	Ion-plazma usuli bilan hosil qilingan CoSi ₂ yupqa plyonkalarining optik xususiyatlariga depozitsiya vaqti va qatlam qalinligining ta'sirini o'rganish. Zarifov Sh.S., Mirzayeva R., Haqberdiyev E.	309
82.	Aniq integral asosida amaliy masalalarni yechishning zamonaviy usullari. Abduolimova M.Q.	314
83.	Konfluent gipergeometrik funksiyalarning xususiy hosilali ikkinchi tartibli parabolik tenglama uchun avtomodel yechimni topishga tatbiqlari. Arziqulov Z.O.	319
84.	Sun'iy intellekt vositalaridan foydalanib dasturiy kodlar sifatini oshirish va vaqtni tejash usullari. Qo'ldosheva N.	321
85.	Ta'lim muassasalarida xavfsizlikni ta'minlashda matematik modelashtirish va AKT dan foydalanish. Fayzullayeva E.O'.	324
86.	Ikki elektronli atom sistemalarida elektronlararo Kulon o'zaro ta'sirining energetik sathlarga ta'siri. Inoyatov Sh.T., O'rinboyev D.R., Foziljonov B.S.	328
87.	Nanoip ichidagi nanonuqtaning energetik sathini nanoip o'lchami va nanonuqta koordinatasiga bog'liqligi. Inoyatov Sh.T., O'rinboyev D.R., Shokiraliyeva D.Sh.	332
88.	Suv muhitida akustik signal tarqalishining matematik modeli. Islomov D.Z.	337
89.	Issiqlik tarqalish jarayonlarini matematik modelashtirish. Madibragimova I.M.	341
90.	Persistent regional deviations of nighttime lights from official output: a monitoring tool for structural change in Uzbekistan. Mambetsapaev K.	344
91.	Oliy matematika kursini raqamli muhitda mustaqil o'zlashtirish ko'rsatkichlariga innovatsion pedagogik usullarning statistik ta'siri. Muydinjanov D.R.	347
92.	Matematika o'qitishda raqamli texnologiyalarning ahamiyati va o'rni. Rasulova M.S.	351
93.	Matematika o'qituvchilarining kasbiy tayyorgarligini rivojlantirishda GeoGebra dasturidan foydalanish. Raximov X.A., Japarova D.S., Sayidova G.Sh.	354
94.	Zamonaviy texnologiyalarda matematik modelashtirishning o'rni. Ro'ziyeva Z.O.	358
95.	Biometrik autentifikatsiya tizimlarida sun'iy intellektidan foydalanish samaradorligini baholash. Sunatov J.T., Jangiboyeva D.M.	363
96.	Bulutli hisoblash muhitida ma'lumotlarni himoyalashning kriptografik mexanizmlarini tadqiq etish. Sunatov J.T., Jangiboyeva D.M.	366
97.	Real vaqt ma'lumotlarini qayta ishlash tizimlarini loyihalash va optimallashtirish. Sunatov J.T., Jangiboyeva D.M.	370
98.	Yarimo'tkazgich materiallarning zamonaviy elektronika rivojidadagi ahamiyati.	374

	Tojiyeva N.A.	
99.	Computer vision processing pipeline: mathematical foundations, architecture, and evaluation metrics. Tolibova N.D., Mallayev R.K., Sulaymonova F.M., Eshmurodova D.S., Ganiyeva O.S.	376
100.	Hosila va uning qo'llanilishi: nazariy asoslari va amaliy tatbiqlari. Toshtemirova Sh.T.	385
101.	Ikki o'lchovli holda Lame tenglamasini sonli yechish usuli (to'g'ri to'rtburchakli muvozanati). Xo'jaqulov F.N., Xonnazarova Yu.B.	389
102.	O'quvchilarning o'zlashtirishini AI orqali real vaqt rejimida kuzatish mexanizmlari. Zokirova G.J.	392
103.	Muhandislik masalalarini yechishda amaliy matematika usullari va Mathcad tizimining tatbiqi. Abdurazakov A.	397
104.	Oliy ta'lim tizimida raqamli va bulutli texnologiyalar asosida algoritmlarni o'qitish samaradorligini oshirish. Ablaqulov K.B., Avlaqulov J.B.	402
105.	Issiqlik almashinuvi jarayonini matematik modellash va prognozlash. Axunova G.B.	405
106.	Transport oqimi dinamikasini tavsiflovchi matematik modellar. Baboyev A.M., Komolova G.Z.	410
107.	Logistik differensial tenglamani analitik va Eyler usulida yechish. Baxritdinov B.	413
108.	Improving students' digital competence through artificial intelligence technologies in higher education. Khasanova N.D.	418
109.	Effect of elliptical opening area on the free vibration characteristics of laminated composite plates: a finite element study. Namozov J., Alimov Sh.	423
110.	Oliy matematika ta'limida sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalanishning didaktik imkoniyatlari. Nasriddinov O.U.	428
111.	Epidemiologik jarayonlarni bashorat qilishda tenglamalarning o'rni. Nomanjonova D.B.	433
112.	Qishloq xo'jaligi ekinlarini tasvirlar asosida monitoring qilishda mashinali o'qitish usullarining tahlili. Ochilov M.R., Ochilova S.R.	436
113.	Oliy ta'lim muassasasi talabalariga web-dasturlashni o'rgatuvchi platformaning afzalliklari. O'ngboyeva M.Yo.	441
114.	Deformatsiyalanuvchan qattiq jismlar mexanikasini matematik va dasturiy modellash. Saipnazarov J.M., Jo'rayeva G.B.	444
115.	Применение прикладной математики к задачам расчёта строительных конструкций и их решение на языке Python. Сатторов А.М.	449
116.	The role of mathematics in architecture: from geometric heritage to performance-based design. Sodikkhujaeva Sh.Kh.	453
117.	Maple tizimida chiziqli algebra masalalarini yechish va vizuallashtirish. Sulaymanov Z.R., Abdullayeva O.U.	456
118.	Korxonalarda axborot tizimlarini integratsiyalashning zamonaviy texnologik yechimlarini tadqiq etish. Sunatov J.T., Bektosheva F.B.	459
119.	Digital Twin texnologiyasidan ishlab chiqarish jarayonlarini modellash va optimallashtirishda foydalanish. Sunatov J.T., Jangiboyeva D.M.	464
120.	Bulutli texnologiyalar asosida taqsimlangan axborot tizimlarini loyihalash. Sunatov J.T., Jangiboyeva D.M.	467
121.	Mashinali o'qitish yordamida ma'lumotlar bazasidagi anomaliyalarni aniqlash. Sunatov J.T., Jangiboyeva D.M., Erkinova G.A.	471
122.	Termik ishlov berish sharoitida monokristall kremniy strukturasining o'zgarishi. Utamuradova Sh.B., Bokiye B.R., Saydaliyev A.A.	475

123.	Comparison of chi-square minimization and Bayesian Markov chain Monte Carlo methods in multi-resonance analysis of the $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$ cross section. Kobilova Z.	477
124.	Градиентный метод оптимального распределения воды в условиях дискретности водоподачи. Худайбердиев А.Т., Худайбердиев А.А.	481
125.	Радон и здоровье человека. Худайбердиев А.Т.	484
126.	Kobb-Duglas ishlab chiqarish funksiyasi va uning tatbiqlari. Djurayev N., Bekturodov B.R.	488
127.	Moddiy nuqtaning to'g'ri chiziqli harakatini matematik modellashirish va uning kinematik xususiyatlari. Jamolov M.X.	491
128.	Aralash ta'lim muhitida o'qituvchi portreti. Raximov X.A.	496
129.	AI-driven management: systems, structures and procedures for human-centric organizational development. Paul S., Dawn S.K., Banerjee R.P.	499
130.	Инклюзивность и образование. Шрымбай Д.А., Абилахатұлы Б.	509
131.	Raqamli ta'lim muhitida talabalarning kognitiv faolligini oshirishning nazariy-metodologik asoslari. Mannabov J.T.	513
132.	Innovatsion iqtisodiyot sharoitida oliy ta'lim xizmatlari samaradorligini oshirishning raqamli mexanizmlari. Amriyeva Sh.Sh.	518
133.	Ilmiy tushunchalarni anglab tushunishni shakllantirishda integrativ yondashuvning nazariy-metodologik imkoniyatlari. Bobomurodov K.A., Ataulayeva M.Yo., Qurbomurodova Ch.Q.	521
134.	Umumiy o'rta ta'lim muassasalarida ilmiy tushunchalarni shakllantirish amaliyotining holati. Bobomurodov K.A., Murodova Z.S., Yarashova S.A.	525
135.	Elektron tijoratning iste'molchilar xulq-atvori va bozor raqobatiga ta'siri. Buriboyev K.R.	530
136.	Tilshunoslik, amaliy filologiya va rus tilining zamonaviy tadqiqotlari. Duysenbayeva M.R.	534
137.	O'zbekistonning mustaqillikka erishish yo'li: milliy davlatchilikning qayta tiklanishi va tarixiy ahamiyati. Eshimova R.	536
138.	O'quvchilarda ilmiy tushunchalarni shakllantirishning pedagogik-psixologik va didaktik asoslari. Bobomurodov K.A., Boymurodova H.S., To'xtayeva G.O., Yarashova S.A.	540
139.	Information and communication technologies and macroeconomic dynamics. Bobonorov R.G'.	545
140.	Simulyatsion didaktik vositalarning tasnifi va ularni o'quv jarayoniga integratsiya qilish tamoyillari. Eshqobilov Sh.X.	549
141.	Raqamli ta'lim muhitining o'ziga xos xususiyatlari va undagi didaktik imkoniyatlar. Eshqobilov Sh.X.	555
142.	Raqamli texnologiyalarning anatomiya fanini o'qitishdagi imkoniyatlari. Fazilova L.A., Ubaydullayeva L.A.	559
143.	Raqamli texnologiyalarning bolalar psixologik farovonligiga ta'siri. Fazilova L., Fazilova L.	563
144.	Bridging academia and industry in the digital era: technology, skills and business transformation. Huseynova G.	568
145.	Export competitiveness and foreign trade policy alignment in the context of Uzbekistan's WTO accession: a multidimensional empirical analysis. Khujanazarov F.Kh.	571
146.	Enhancing the competitiveness of national exporters and aligning foreign trade policy with Uzbekistan's WTO accession requirements. Khujanazarov F.Kh.	577
147.	Ijtimoiy tarmoqlardagi mediamatnlar vositasida o'quvchilarning kritik fikrlash kompetensiyasini rivojlantirish. Kurbanova Z.B., Ro'ziboyeva N.N.	581

148.	Development of financial literacy of children in preschool through play. Mamash Zh.	584
149.	Zamonaviy o'zbek hikoyachiligida ijodkor uslubi va badiiy xronotop munosabati. Berdiyeva Z.O.	591
150.	Raqamli texnologiyalarni ta'lim tizimiga joriy etish: zamonaviy imkoniyatlar va istiqbollar. Mardonov A.	594
151.	The impact of digital resources on the development of educators' digital literacy. Muxamadiyeva F.I.	597
152.	Oliy ta'lim muassasalari tyutorlarining raqamli-axborot kompetentligini baholashning pedagogik mexanizmlarini takomillashtirish. Muxamadiyeva F.I.	600
153.	Uzoq muddatli shartnomalar bilan ishlovchi subyektlarda MHXS 15 standartini qo'llashning foyda sifati va likvidligiga ta'siri. Qodirova Sh.B.	606
154.	Implicit layers of meaning in literary texts: a comparative analysis of human and generative AI interpretation. Rizayeva Sh.Sh.	609
155.	Bank mobil ilovalarining moliyaviy inklyuziyani kengaytirishdagi ahamiyati: servisga yo'naltirilgan yondashuv. Saydamatova M.R.	613
156.	O'quvchilarning matematik tafakkurini rivojlantirishda didaktik o'yinlardan foydalanish. Maxmudjonova E., Raximov X.A.	618
157.	Boshlang'ich sinf o'quvchilarida ta'limiy o'zlashtirishga ta'sir etuvchi omillar. To'xliyeva A., Raximov X.A.	621
158.	Kompyuter lingvistikasi fanining rivojlanish bosqichlari. Turabova I.I.	623
159.	O'zbekistonda oliy ta'limning yangi qiyofasi: davlat va xususiy universitetlar rivojining institutsional, sifat va qamrov jihatidan qiyosiy tahlili. Umirzoqova M.A.	626
160.	O'zbekiston radiosida ovoz yozish texnologiyalarining evolyutsiyasi. Xalbayeva S.	638
161.	Mintaqalarda hunarmandchilikni rivojlantirishning xorij tajribalari. Xalilova N.A.	647
162.	Qashqadaryo viloyati tumanlarining iqtisodiy rivojlanish darajasini integral baholash va hududiy tafovutlarni kamaytirish yo'llari. Xidoyatova N.Sh.	652

Ilmiy-nashr

FAN VA TEXNOLOGIYALARNING DOLZARB MUAMMOLARI

Mavzusidagi

XALQARO ILMIY-AMALIY ANJUMAN MATERIALLARI
TO'PLAMI

Qarshi shahri, 2026-yil 8-10-oktabr

Muharrir: B. Musayev

Texnik muharrir: I. Tog'ayev

Musahhih: F. Akramova

Kompyuterda sahifalovchi: K. Qudratova

Tasdiqnoma. 210934, 23.01.2024.

Terishga berildi: 11.08.2026 y.

Bosishga ruxsat etildi: 03.10.2026 y.

Ofset qog'oz. Qog'oz bichimi: 60x84 1/16.

“Cambria” gar. Ofset bosma.

Hisob nashriyot t.: 47,75. Shartli b. t.: 47,66.

Adadi: 20 nusxa. Buyurtma №413

«Ilm-Fan-Ma'naviyat» nashriyotida tayyorlandi.

Qarshi sh, Bunyodkor MFY Mustaqillik ko'chasi 10/28-30-uy

“Photo Express” I. Ch. korxonasida chop etildi.

Qarshi sh, Mustaqillik ko'chasi 22-uy

Telefon 91-466-80-32.



ISBN 978-9910-321-13-9

