

ISSN(online) 2959-5894

ISSN (print) 2959-5886

Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті
Казахский национальный педагогический университет имени Абая
Abai Kazakh National Pedagogical University

ХАБАРШЫ

«Физика-математика ғылымдары» сериясы
Серия «Физико-математические науки»
Series of Physics & Mathematical Sciences
№4(92)

Алматы, 2025

ХАБАРИШЫ
«Физика-математика ғылымдары»
сериясы №4 (92), 2025 ж.

Бас редактор:
ф.-м.ғ.д., профессор М.А. Бектемесов

Редакция алқасы:
Бас ред.орынбасары:
п.ғ.д., профессор Е.Ы. Бидайбеков,
ф.-м.ғ.д., профессор В.Н. Косов

Жауапты хатшылар:
п.ғ.к., қауым. профессор,
Ш.Т. Шекербекова,
п.ғ.к., қауым. профессор,
Г.А. Абдулкаримова

Ғылыми редактор
тех.ғ.д., профессор, Н.С. Заурбеков,
PhD доктор, қауымд. профессор м.а.,
А.Р. Рысқан

Редакциялық алқа мүшелері:
Phd.d., Professor A. Cabada (Spain),
ф.-м.ғ.д., профессор Ф.Ф. Комаров
(Республика Беларусь),
Phd.d., Professor M. Ruzhansky (Belgium),
Phd.d E. Kovatcheva (Bulgaria),
ф.-м.ғ.д., профессор, PFA корреспондент-
мүшесі, С.И. Кабанихин (Ресей),
п.ғ.д., профессор В.В. Гриншкун (Ресей),
ф.-м.ғ.д., профессор В.М. Лисицин (Ресей),
п.ғ.д., профессор Н.И. Пак (Ресей),
ф.-м.ғ.д., профессор А.Л. Семенов (Ресей),
п.ғ.д., профессор, РБА академигі
А.Е. Абылқасимова,
PhD d., профессор К. Алимхан,
т.ғ.д., профессор Б.С. Ахметов,
ф.-м.ғ.д., профессор А.С. Бердышев,
т.ғ.д., профессор К. Бисембаев,
ф.-м.ғ.д., профессор М.Н. Калимолдаев,
т.ғ.д., профессор М.К. Кулбек,
ф.-м.ғ.д., профессор С.Т. Мухамбетжанов,
Phd.d., қауым., профессор м.а.
Ж.М. Нурмухамедова,
п.ғ.д., профессор Б.Д. Сыдықов,
т.ғ.д., профессор А.К. Тулешов

© Абай атындағы Қазақ ұлттық
педагогикалық университеті, 2025

Қазақстан Республикасының Ақпарат
министрлігінде тіркелген
№ 4824 – Ж - 15.03.2004
(Журнал бір жылда 4 рет шығады)
2000 жылдан бастап шығады

Басуға 27.12.2025 қол қойылды
Пішімі 60x84 1/8. Көлемі 43,125 е.б.т.
Таралымы 300 дана. Тапсырыс 621.

050010, Алматы қаласы,
Достық даңғылы, 13
Абай атындағы ҚазҰПУ-ің “Ұлағат” баспасы

М а з м ұ н ы
С о д е р ж а н и е
C o n t e n t

МАТЕМАТИКА ЖӘНЕ ФИЗИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР МЕН
МЕХАНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ МАТЕМАТИКАЛЫҚ
МОДЕЛЬДЕУ

МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

MATHEMATICS AND MATHEMATICAL MODELING OF PHYSICAL
PROCESSES AND MECHANICAL SYSTEMS

Abdiramanov Zh., Isa Zh., Zhumaseitova A. Finite-difference scheme for initial-boundary problem for equation of diffusion with Volterra memory	7
Абдрахман Б.К., Рысқан А.Р., Джабаева М.Н., Махамбетиярова У.Е., Эргашев Т.Г. Solving systems of second-order differential equations for some multidimensional hypergeometric functions	18
Алпар С.Д., Файзулин Р.Н., Токмухамедова Ф.К. Сравнительный анализ физико-информированных нейронных сетей и метода Рунге-Кутты для решения одномерных уравнений Эйлера.....	30
Картбаев Т.С., Исмайылов А.Е., Тұрғынбаева А.А., Керімбаева В.Ж. Цифрлық жобаларға арналған инвестициялық шешімдерді қолдау жүйесіндегі дифференциалдық ойындарды қолдану ...	37
Сағынғалиева С.Қ., Тунгатарова М.С. Қаптамалы-құбырлы жылуалмастырғыштағы жылу алмасу процесін және құбырлардың ластану қабатының әсерін зерттеу	46
Серикбаев Н.С., Шайхова Г.Н., Белисарова Ф.Б. Solitons in the coupled generalized nonlinear Schrödinger equations	56
Серіктаева А.С., Рахметуллина Ж.Т., Мукашева Р.У., Мухамедова Р.О. Корреляциялық-регрессиялық әдісті жоғары оқу орындарындағы тәуекелдерді басқару үшін қолдану	63
Шиянов К.М., Юсупова А.Е., Чеверда В.А. Нелинейные эффекты в волновых процессах пористых сред ...	75
Ысмағұл Р.С., Утемисова А.А., Тастанов М.Г., Майер Ф.Ф., Жумартова Б.О. Эволюциялық тендеулердің дерлік периодты шешімін құру үшін қысқарту әдісін қолдану	86

Главный редактор:

д.ф.-м.н., профессор М.А. Бектемесов

Редакционная коллегия:

Зам.главного редактора:

д.п.н., профессор Е.Ы. Бидайбеков,

д.ф.-м.н., профессор В.Н. Косов

Ответ. секретари:

к.п.н., асс. профессор Ш.Т. Шекербекова,

к.п.н., асс. профессор Г.А. Абдулкаримова

Научный редактор

д.т.н., профессор, Н.С. Заурбеков,

PhD д., и.о. профессор А.Р. Рыскан

Члены редколлегии:

Phd.d. A.Cabada (Spain),

д.ф.-м.н., профессор Ф.Ф. Комаров

(Республика Беларусь),

Phd.d. M. Ruzhansky (Belgium),

Phd.d E. Kovatcheva (Bulgaria),

д.ф.-м.н., профессор, член-корр. РАН

С.И. Кабанихин (Ресей),

д.п.н., профессор В.В. Гриншкун (Россия),

д.ф.-м.н., профессор В.М. Лисицин

(Ресей),

д.п.н., профессор Н.И. Пак (Россия),

д.ф.-м.н., профессор А.Л. Семенов

(Россия),

д.п.н., профессор, академик РАН

А.Е. Абылкасымова,

PhD д., профессор К. Алимхан

д.т.н., профессор Б.С. Ахметов,

д.ф.-м.н., профессор А.С. Бердышев,

д.т.н., профессор К. Бисембаев,

д.ф.-м.н., профессор М.Н. Калимолдаев,

д.т.н., профессор М.К. Кулбек,

д.ф.-м.н., профессор С.Т. Мухамбетжанов,

Phd.d., асс., профессор и.о.

Ж.М. Нурмухамедова,

д.т.н., профессор Б.Д. Сыдыков,

д.т.н., профессор А.К. Тулешов

© Казахский национальный педагогический
университет им. Абая, 2025

Зарегистрирован в Министерстве
информации

Республики Казахстан,

№ 4824 - Ж - 15.03.2004

(периодичность – 4 номера в год)

Выходит с 2000 года

Подписано в печать 27.12.2025.

Формат 60х84 1/8. Об. 43,125 уч.-изд.л.

Тираж 300 экз. Заказ 621.

050010, г. Алматы, пр. Достык, 13,
Издательство «Ұлағат» КазНПУ им. Абая

Айтуар А., Кеулимжаева Ж., Омарбаева Б.

GeoGebra бағдарламасының сызықтық теңсіздіктерді
оқытудағы 6-сынып оқушыларының оқу сапасын арттыруға
әсері 95

Оспанова Н.Б., Пак Н.И.

Учебные игровые викторины в методической подготовке
будущих учителей математики в условиях STEM 107

ИНФОРМАТИКА

COMPUTER SCIENCE

Абуталипова Н.Б., Оразбеков Ж.Н.,

Набиева Г.С., Смаилова Д.А.

Кәсіби бейімділікті жетілдіруде машиналық оқыту және NLP
әдістерін қолдану 117

Aksholak G., Magazov R.

Application of machine learning methods to analyze malicious
network traffic 125

Елубай Г.Б., Ахметов Б.С., Лахно В.А.

Ақпараттық қауіпсіздік талаптарына сәйкес жеке
университеттік VDI бұлтының математикалық моделі 136

Yesmukhamedov N.S., Sapakova S.Z.,

Sinchev B.K., Tukenova L.

The application of metaheuristic methods for optimization of
distributed IT systems 144

Жасузақ М.С., Кудиретулла Ж.Н.,

Бурибаев Ж.А., Еримбетова А.С.

Разработка системы распознавания казахского жестового
языка с использованием методов компьютерного зрения и
глубокого обучения 155

Ибраева Ж.К., Ибраев Д.А.

Анализ угроз социального инжиниринга в социальных сетях и
методы борьбы с ними 168

Sembayev T., Akbarov D.

Recent advancements in skeleton-based sign language recognition 184

Серіков А.Е., Билощицкий А.А.

Ақпараттық жүйелерде пайдалануға арналған білім беру
бағдарламаларын әзірлеу алгоритмдері 200

Sultan D., Abdrakhmanov R.,

Turymbetov T., Iskakov T., Yagalyeva B.

Deep learning-based cyberbullying detection in Kazakh: a hybrid
approach for improved text classification 208

Editor-in-Chief

Dr. Sci. M.A. Bektemesov

Deputy Editor-in-Chief:

Dr. Sci. (Ped.), Ye.Y. Bidaibekov,

Dr. Sci. V.N. Kosov

Responsible editorial secretary:

Cand. Sci. (Ped.) Sh.T. Shekerbekova,

Cand. Sci. (Ped.) G.A. Abdulkarimova

Scientific editor

Ph.D., professor, N.S. Zaurbekov,

PhD, associate Professor A.R. Ryskan

Editorial board:

Phd.d. A. Cabada (Spain),

Dr. Sci. F.F. Komarov (Republic of
Belarus),

Phd.d. M. Ruzhansky (Belgium),

Phd.d E. Kovatcheva (Bulgaria),

Dr.Sc. S.I. Kabanikhin (Russia),

Dr.Sci. V.V. Grinshkun (Russia),

Dr. Sci. V.M. Lisicin (Russia),

Dr. Sci. (Ped.) N.I. Pak (Russia),

Dr. Sci. A.L. Semenov (Russia),

Dr. Sci. (Ped.) A.Ye. Abylkasymova,

Dr.Sci. K. Alimhan,

Dr.Sci. B.S. Akhmetov,

Dr. Sci. A.S. Berdyshev,

Dr. Sci. K. Bisembaev,

Dr. Sci. M.N. Kalimoldayev,

Dr.Sci.(Engineering) M.K. Kulbek,

Dr. Sci. S.T. Mukhambetzhinov,

Phd.d. Zh.M. Nurmukhamedova,

Dr. Sci. (Ped.) B.D. Sydykov,

Dr.Sci.(Engineering) A.K. Tuleshov

© Abai Kazakh National Pedagogical
University, 2025

Registered in the Ministry of Information of the
Republic of Kazakhstan,
№ 4824 - Ж - 15.03.2004
(Periodicity: 4 issues per year)
Published since 2000

Signed to print 27/12/2025
Format 60x84 1/8. Vol. 43,125 p.
Printing 300 copies. Order 621.

Publishing and Editorial:
050010, 13 Dostyk av., Almaty, Kazakhstan
Publisher "Ulagat" Abai KazNPU

Тюлепбердинова Г.А., Жолдас Н.А.,
Мансурова М.Е., Кунелбаев М.М., Амирханова Г.А.
Физиологиялық параметрлерге негізделген стрессті бағалау
және болжау әдістері 221

Чечимбаева К.С., Мухамеджанова А.Д., Кадирбаева Г.К.
Қолжетімділігі қиын аймақтарда портативті жерсеріктіктік
байланыс кешенін пайдаланудың тиімділігін бағалау 230

ИНФОРМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ.
БІЛІМ БЕРУДІ АҚПАРАТТАНДЫРУ

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОРМАТИКИ.
ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

METHODS OF TEACHING COMPUTER SCIENCE.
INFORMATIZATION OF EDUCATION

Алдабергенова А.О., Есейқызы У., Есенгабылов И.Ж.,
Есейқызы А.
Системный анализ возможностей применения элементов
геймификации в подготовке будущих учителей информатики 239

Zhabayev Ye.H., Revshenova M.I., Amangeldin A.A.
The possibilities of using augmented reality technology in teaching
robotics to schoolchildren 253

Жамалова С.А., Тағай А.М.
Жасанды интеллект ресурстарын және Blender бағдарламасын
қолдана отырып мектепте 3D модельдеуді оқыту әдістемесін
дамыту 261

Кошанова Г.Д., Кошанова М.Д., Талипов Д.Р.
Виртуалды машиналар негізінде болашақ информатика
мұғалімдерін операциялық жүйелерге оқытудың әдістемесі ... 270

Мадьярова Г.А., Орынбаева А.С.,
Жалгасова А.Е., Құлтан Я., Сегізбаева Р.У.
Информатика мұғалімдерін дарынды оқушылармен жұмысқа
дайындау: заманауи әдістер мен технологиялар 283

Ошанова Н.Т., Камалова Г.Б.,
Хамраев Ш.И., Теңізбаев Е.Ж.
ІТ бағытындағы микробіліктіліктерді әзірлеу және оны
педагог мамандарды даярлауда енгізу 296

Самат А., Оңғарбаева А.Д.
Информатика мұғалімдерін дайындауда виртуалдық және
толықтырылған шынайылық технологияларын пайдалану
эволюциясы 304

Toishybek T.T., Malikova N.T.,
Kassekeyeva A.B., Erekesheva M.M., Abugaliyeva G.S.
Developing research skills in future computer science teachers 312

МАТЕМАТИКА ЖӘНЕ ФИЗИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР МЕН МЕХАНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

MATHEMATICS AND MATHEMATICAL MODELING OF PHYSICAL PROCESSES AND MECHANICAL SYSTEMS

IRSTI 27.35.45

10.51889/2959-5894.2025.92.4.001

Zh. Abdiramanov^{1,2}, Zh. Isa^{1*}, A. Zhumaseitova¹

¹ Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

² Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: gggg46806@gmail.com

FINITE-DIFFERENCE SCHEME FOR INITIAL-BOUNDARY PROBLEM FOR EQUATION OF DIFFUSION WITH VOLTERRA MEMORY

Abstract

An initial-boundary value problem for a nonlinear diffusion equation with a Volterra-type memory term in time is investigated. The model describes diffusion processes in media with hereditary (long-memory) effects and covers, as particular cases, a range of applications in heat and mass transfer. For its numerical solution we construct an implicit two-level difference scheme with a quadrature approximation of the memory integral. A discrete energy identity is derived, which yields energy stability of the scheme under natural constraints on the time step. The nonlinearity is treated by an inner iterative linearization procedure; at each iteration a tridiagonal system of linear algebraic equations arises and is solved efficiently by the sweep (Thomas) method. The convergence of the scheme is rigorously justified and its convergence rate is estimated in the corresponding energy norm. Numerical experiments are presented that confirm the theoretical error bounds and demonstrate the accurate reproduction of long-memory effects.

Keywords: nonlocality in time; Volterra memory; nonlinear diffusion; implicit difference scheme; sweep method; energy stability; convergence

Ж. Абдираманов^{1,2}, Ж. Иса¹, А. Жұмасейтова¹

¹ Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

² Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы қ., Қазақстан

ВОЛЬТЕРРА ТИПТІ ЖАДЫ БАР ДИФФУЗИЯ ТЕНДЕУІ ҮШІН АРАЛАС ЕСЕПКЕ ШЕКТІ АЙЫРЫМДЫҚ СХЕМА

Аңдатпа

Сызықты емес диффузия тендеуі үшін Вольтерра типті жадылы мүшесі бар бастапқы-шеттік есеп қарастырылады. Мұндай модель тұқым қуалайтын (ұзақ уақыттық жадылық) әсерлері бар ортамен жүретін тасымалдау үдерістерін сипаттап, жылу-массалық алмасу теориясындағы бірқатар қолданбалы есептерді жеке жағдай ретінде қамтиды. Есепті сандық шешу үшін жад интегралын квадратуралық жуықтаумен толықтырылған, уақыт бойынша екі қабатты айқын емес айырымдық схема құрылады. Схема үшін дискреттік энергия теңдігі алынған, соның негізінде уақыт қадамына қойылатын табиғи шектеулер жағдайында оның энергиялық орнықтылығы дәлелденеді. Сызықты емес ішкі итерациялық линеаризация (сызықтандыру) көмегімен ескеріледі; әрбір итерация қадамында үшдиагональды сызықтық алгебралық тендеулер жүйесі алынады, ол қуалау әдісі арқылы тиімді

шешіледі. Ұсынылған схеманың жинақтылығы қатаң түрде негізделген және сәйкес энергетикалық нормада жинақталу реттілігіне баға алынған. Жүргізілген сандық эксперименттер теориялық қателік бағаларын растап, модельде ұзақ уақыттық жадылық әсерлердің дұрыс және физикалық тұрғыдан барабар бейнеленетінін көрсетеді.

Түйін сөздер: уақыт бойынша локалді емес; Вольтерра жады; сызықтық емес диффузия; айқын емес айырымдық схема; қуалау әдісі; энергиялы орнықтылық; жинақтылық.

Ж. Абдираманов^{1,2}, Ж. Иса¹, А. Жұмасейтова¹

¹ Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

² Институт информационных и вычислительных технологий, г. Алматы, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕШИМОСТИ ЧИСЛЕННОГО АНАЛОГА СМЕШАННОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ С ПАМЯТЬЮ

Аннотация

Рассматривается начально-краевая задача для нелинейного уравнения диффузии с временной памятью типа Вольтерра. Такая модель описывает процессы переноса в средах с наследственными (долговременными) эффектами и охватывает, как частные случаи, ряд задач тепломассопереноса. Для численного решения строится неявная двухслойная разностная схема с квадратурным приближением интеграла памяти. Получено дискретное энергетическое тождество, на основе которого устанавливается энергетическая устойчивость схемы при естественных ограничениях на шаг по времени. Нелинейность учитывается с помощью внутренней итерационной линеаризации; на каждой итерации возникает трёхдиагональная система линейных алгебраических уравнений, эффективно решаемая методом прогонки. Строго доказана сходимость схемы и получена оценка скорости сходимости в соответствующей энергетической норме. Численные эксперименты подтверждают теоретические погрешностные оценки и демонстрируют корректное воспроизведение эффектов долговременной памяти.

Ключевые слова: нелокальность по времени; память Вольтерра; нелинейная диффузия; неявная разностная схема; метод прогонки; энергетическая устойчивость; сходимость.

Introduction

Modeling diffusion and heat conduction in complex media is a central topic in modern physics and engineering. In many practically relevant situations, the current state of a medium depends not only on present conditions but also on its past evolution, a phenomenon usually referred to as memory. Such hereditary effects are observed, for instance, in viscoelastic and polymeric materials, in flow through porous structures, and in thermal systems with delayed response [1-5].

Classical diffusion and heat conduction models, written as parabolic partial differential equations with local-in-time operators, implicitly assume that the medium reacts instantaneously and has no memory. As a consequence, they cannot fully account for hereditary behavior and may lead to incomplete or inaccurate descriptions when memory effects are pronounced [6]. One widely used way to incorporate long-term dependence is to consider parabolic equations with temporal convolution terms, where the memory kernel describes how past states influence the present response [7].

Parabolic equations with memory provide a flexible framework for the description of anomalous diffusion and are capable of reproducing both subdiffusive and superdiffusive dynamics [8-11]. They are particularly useful for modeling fluid transport in porous media and a variety of non-Fickian propagation processes. At the same time, the nonlocal structure of the temporal convolution term introduces additional analytical difficulties and requires more advanced functional-analytic tools when studying well-posedness and stability of solutions, as well as when constructing reliable numerical approximations.

From the numerical standpoint, straightforward explicit schemes for equations with memory often suffer from very restrictive stability conditions and from the necessity to resolve the entire history of the solution. The presence of integral terms in time significantly increases storage requirements and complicates the stability analysis compared with standard parabolic problems. This motivates the

development and study of robust implicit or semi-implicit discretizations, for which stability and convergence can be justified using energy methods and a priori estimates [12-14].

There exists a substantial literature on numerical methods for PDEs with memory, including models based on fractional derivatives and Volterra-type integral operators. Various finite-difference and finite-element schemes have been proposed and rigorously analysed for time-fractional diffusion and diffusion-wave equations, with proven stability and convergence properties [12-14]. Similar techniques have also been applied to nonlinear integro-differential equations arising in viscoelasticity and in heat conduction with fading memory kernels [15,16].

In the present paper, we study a mixed initial-boundary value problem for a nonlinear diffusion equation with a Volterra-type memory term. The model combines a nonlinear source with memory effects represented by a temporal convolution with a general kernel. For this problem we construct an implicit finite-difference scheme in which the memory integral is approximated by a discrete convolution, while the nonlinear term is treated iteratively. We derive a discrete energy identity, prove energy stability of the scheme in the ℓ_2 -norm under natural constraints on the time step, and obtain convergence estimates consistent with the temporal approximation order. The theoretical results are supported by numerical experiments, which confirm the predicted error behavior and demonstrate the effectiveness of the proposed scheme for modeling diffusion processes with long-time memory.

Methodology of the study

The methodology of the present work is based on a rigorous formulation and analysis of a nonlinear diffusion equation with Volterra-type time memory and on the subsequent construction of a stable finite difference scheme for the corresponding mixed problem.

The problem is considered on the $\mathbb{R}^2$ plane of two independent variables t and x relative to the Cartesian coordinate system. In a half-strip $\Omega \subset \mathbb{R}^2$, consider a second-order parabolic equation with memory of the following form:

$$U_t = DU_{xx} + \int_0^t K(x,s)U(x,s)ds + f(U,x,t), \quad (1)$$

where $D > 0$ is the diffusion coefficient, $K(x,t)$ is a memory kernel describing the fading influence of past states, $f(U,x,t)$ represents nonlinear sources or sinks. In this equation (1), the diffusion coefficient describes the intensity of spatial transport, the memory kernel characterises hereditary (long-memory) effects in the medium, and the source term models distributed sources or sinks.

Initial and boundary conditions for the equation (1):

$$U(x,0) = \phi(x), \quad x \in (0,L). \quad (2)$$

$$U(0,t) = g_0(t), \quad U(L,t) = g_L(t), \quad t \in [0,T]. \quad (3)$$

where $\phi(x)$, $g_0(t)$, $g_L(t)$ are smooth functions.

Under these assumptions, we obtain a well-posed mixed initial-boundary value problem for the nonlinear parabolic equation with memory. The goal of the study, formulated in this framework, is to construct an implicit difference scheme for problem (1) - (3) and to justify its energy stability and convergence. All further analytical and numerical steps – derivation of a discrete energy identity, proof of stability, and verification of the convergence order on test problems – are carried out for this mathematically specified model.

Results of the study

In Ω build a difference grid with steps $h = \frac{L}{M}$ in spatial and $\tau = \frac{T}{N}$ temporal:

The nodal points of the differential grid (indicated by the intersections of the lines $t^n = n\tau$, $n = \overline{0, N}$; $x_i = ih$, $i = \overline{0, M}$.) are represented as (x_i, t^n) . The numerical solution values at the grid points are represented by.

$$u_i^n \approx U(x_i, t^n), \quad w_i^n \approx K(x_i, t^n), \quad \phi_i = \phi(x_i), \quad g_0^n = g_0(t^n), \quad g_L^n = g_L(t^n), \quad n = \overline{0, N}; \quad i = \overline{0, M}.$$

To find a numerical solution of the mixed problem (1)-(3) over the difference grid $\Omega_{h\tau} = \{(x_i, t^n)\}$, we suggest the following difference splitting scheme in the directions.

We propose the following implicit scheme incorporating memory via discrete convolution:

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\tau} = D\delta_x^2 u_i^{n+1} + \tau \sum_{k=1}^n w_i^k u_i^k + \frac{\tau}{2} (w_i^0 u_i^0 + w_i^{n+1} u_i^{n+1}) + f(u_i^{n+1}, x_i, t^{n+1}), \quad (4)$$

where: $\delta_x^2 u_i^n = \frac{u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n}{h^2}$ is the discrete Laplacian, w_i^k are weights approximating the memory kernel integral, Nonlinear term is treated implicitly for stability.

Initial (2) and boundary (3) conditions are incorporated at $n = 0$ and each time layer accordingly.

$$u_i^0 = \phi_i, \quad i = \overline{0..M}. \quad (5)$$

$$u_0^n = g_0^n, \quad u_M^n = g_L^n, \quad n = \overline{0..M} \quad (6)$$

Theorem 1. Assume the memory weights $\{w_i^k\}_k \geq 0$ are nonnegative, nonincreasing, and bounded, and f is Lipschitz. Then the implicit scheme is ℓ^2 -stable and satisfies

$$\|u^{n+1}\|_2^2 - \|u^n\|_2^2 + c_0 \tau \|\nabla_h u^{n+1}\|_2^2 \leq C \tau \|g^{n+1}\|_2^2,$$

for all n , with constants independent of τ , h .

Proof. Setting up the notation and inner products. Define the discrete inner product:

$$(u, v) = h \sum_{i=1}^{M-1} u_i v_i,$$

and norm $\|u\| = \sqrt{(u, u)}$.

Multiply the scheme by $2\tau u_i^{n+1}$ and sum over i . Multiply both sides of the scheme (4) by $2\tau u_i^{n+1}$, sum from $i = 1$ to $M - 1$, and write in inner product form:

$$2\tau \left(\frac{u^{n+1} - u^n}{\tau}, u^{n+1} \right) = 2\tau D(\delta_x^2 u^{n+1}, u^{n+1}) + 2\tau \left(\tau \sum_{k=1}^n w^k u^k + \frac{\tau}{2} (w^0 u^0 + w^{n+1} u^{n+1}), u^{n+1} \right) + 2\tau (f^{n+1}, u^{n+1})$$

where $f^{n+1} = (f(u_i^{n+1}, x_i, t^{n+1}))$.

Simplify the left-hand side, we get

$$2\tau \left(\frac{u^{n+1} - u^n}{\tau}, u^{n+1} \right) = 2(u^{n+1} - u^n, u^{n+1}) = \|u^{n+1}\|^2 - \|u^n\|^2 + \|u^{n+1} - u^n\|^2 \quad (7)$$

Estimate the diffusion term. Using discrete Green's formula [17] and boundary conditions (6):

$$\begin{aligned} (\delta_x^2 u^{n+1}, u^{n+1}) &= h \sum_{i=1}^{M-1} \frac{\Delta u_i^{n+1} - \Delta u_{i-1}^{n+1}}{h^2} u_i^{n+1} = \frac{1}{h} \sum_{i=0}^{M-1} \Delta u_i^{n+1} (u_i^{n+1} - u_{i+1}^{n+1}) + \frac{1}{h} [u_{M-1}^{n+1} \Delta u_{M-1}^{n+1} - u_0^{n+1} \Delta u_0^{n+1}] = \\ &= -\frac{1}{h} \sum_{i=0}^{M-1} (u_{i+1}^{n+1} - u_i^{n+1})^2 + \frac{1}{h} [u_M^{n+1} \Delta u_{M-1}^{n+1} - (\Delta u_{M-1}^{n+1})^2 - u_0^{n+1} \Delta u_0^{n+1}] \leq \\ &\leq -h \sum_{i=0}^{M-1} \left(\frac{u_{i+1}^{n+1} - u_i^{n+1}}{h^2} \right)^2 + \frac{1}{2h} [(u_M^{n+1})^2 - (\Delta u_{M-1}^{n+1})^2 + (u_0^{n+1})^2 + (\Delta u_0^{n+1})^2] \leq \\ &\leq -\|\nabla_h u^{n+1}\|^2 + \frac{1}{2h} [(u_M^{n+1})^2 + (u_0^{n+1})^2] = -\|\nabla_h u^{n+1}\|^2 + \frac{1}{2h} [(g_L^{n+1})^2 + (g_0^{n+1})^2] \end{aligned}$$

where the discrete gradient norm is

$$\|\nabla_h u^{n+1}\|^2 = h \sum_{i=0}^{M-1} \left(\frac{u_{i+1}^{n+1} - u_i^{n+1}}{h} \right)^2$$

Thus,

$$2\tau D(\delta_x^2 u^{n+1}, u^{n+1}) \leq -2\tau D\|\nabla_h u^{n+1}\|^2 + \frac{\tau D}{h} [(g_L^{n+1})^2 + (g_0^{n+1})^2] \quad (8)$$

Estimate the memory term. The memory term is

$$2\tau \left(\tau \sum_{k=1}^n w^k u^k + \frac{\tau}{2} (w^0 u^0 + w^{n+1} u^{n+1}), u^{n+1} \right) = 2\tau^2 \sum_{k=1}^n w^k (u^k, u^{n+1}) + \tau^2 w^0 (u^0, u^{n+1}) + \tau^2 w^{n+1} \|u^{n+1}\|^2$$

by summation by parts (discrete integration by parts).

Using the Cauchy–Schwarz inequality and boundedness of memory weights w_i^n , say $0 \leq w_i^k \leq W$, we get

$$\begin{aligned} |(u^k, u^{n+1})| &\leq \|u^k\| \|u^{n+1}\|, \quad |(u^0, u^{n+1})| \leq \|u^0\| \|u^{n+1}\| \\ 2\tau^2 \sum_{k=1}^n w^k (u^k, u^{n+1}) + \tau^2 w^0 (u^0, u^{n+1}) + \tau^2 w^{n+1} \|u^{n+1}\|^2 &\leq 2\tau^2 W \left(\sum_{k=1}^n \|u^k\| + \frac{1}{2} \|u^0\| \right) \|u^{n+1}\| + \tau^2 W \|u^{n+1}\|^2 \end{aligned}$$

We can rewrite this as

$$\begin{aligned} 2\tau^2 W \left(\sum_{k=1}^n \|u^k\| + \frac{1}{2} \|u^0\| \right) \|u^{n+1}\| &\leq \varepsilon \|u^{n+1}\|^2 + \frac{1}{\varepsilon} \left[\tau^2 W \left(\sum_{k=1}^n \|u^k\| + \frac{1}{2} \|u^0\| \right) \right]^2 \\ 2\tau^2 W \left(\sum_{k=1}^n \|u^k\| + \frac{1}{2} \|u^0\| \right) \|u^{n+1}\| + \tau^2 W \|u^{n+1}\|^2 &\leq \|u^{n+1}\|^2 (\varepsilon + \tau W) + \frac{\tau}{\varepsilon} \left[\tau W \left(\sum_{k=1}^n \|u^k\| + \frac{1}{2} \|u^0\| \right) \right]^2 \end{aligned}$$

for any $\varepsilon > 0$.

For last sum we can rewrite like this

$$\left(\sum_{k=1}^n \|u^k\| + \frac{1}{2} \|u^0\| \right)^2 = \left(\sum_{k=0}^n c_k \|u^k\| \right)^2, \quad c_k = \begin{cases} 0.5, & k=0 \\ 1, & k>0 \end{cases}$$

Now we can use Cauchy–Schwarz inequality again

$$\left(\sum_{k=0}^n c_k \|u^k\| \right)^2 \leq \sum_{k=0}^n (c_k)^2 \sum_{k=0}^n \|u^k\|^2 = \left(n + \frac{1}{4} \right) \sum_{k=0}^n \|u^k\|^2 \leq (n+1) \sum_{k=0}^n \|u^k\|^2$$

Finally,

$$2\tau \left(\tau \sum_{k=1}^n w^k u^k + \frac{\tau}{2} (w^0 u^0 + w^{n+1} u^{n+1}), u^{n+1} \right) \leq \|u^{n+1}\|^2 (\varepsilon + \tau W) + \frac{W^2 \tau^3}{\varepsilon} (n+1) \sum_{k=0}^n \|u^k\|^2 \quad (9)$$

Estimate the nonlinear term. Assuming $f(U, x, t)$ satisfies a Lipschitz bound in U , i.e.,

$$|f(U, x, t)| \leq L|U| + C_f, \quad (10)$$

for constants L, C_f .

Then,

$$|2\tau (f^{n+1}, u^{n+1})| \leq 2\tau (L \|u^{n+1}\| + C_f) \|u^{n+1}\| = 2\tau L \|u^{n+1}\|^2 + 2\tau C_f \|u^{n+1}\|,$$

where we applied Young's inequality again.

$$2\tau L \|u^{n+1}\|^2 + 2\tau C_f \|u^{n+1}\| \leq 2\tau L \|u^{n+1}\|^2 + \tau C_f^2 + \|u^{n+1}\|^2 = \tau (2L+1) \|u^{n+1}\|^2 + \tau C_f^2 \quad (11)$$

Combine all estimates. Putting all (7) - (9), (11) together:

$$\begin{aligned} \|u^{n+1}\|^2 - \|u^n\|^2 + \|u^{n+1} - u^n\|^2 &\leq -2\tau D \|\nabla_h u^{n+1}\|^2 + \frac{\tau D}{h} \left[(g_M^{n+1})^2 + (g_0^{n+1})^2 \right] - \\ &+ \|u^{n+1}\|^2 (\varepsilon + \tau W) + \frac{\tau^3 W^2 (n+1)}{\varepsilon} \sum_{k=0}^n \|u^k\|^2 + \tau (2L+1) \|u^{n+1}\|^2 + \tau C_f^2 \end{aligned} \quad (12)$$

Notice that $\|u^{n+1} - u^n\|^2 \geq 0$ and $-2\tau D \|\nabla_h u^{n+1}\|^2 < 0$:

$$(\beta - \tau \varepsilon) \|u^{n+1}\|^2 - \|u^n\|^2 \leq \tau \left[\frac{\tau^3 W^2 (n+1)}{\varepsilon} \sum_{k=0}^n \|u^k\|^2 + \frac{D}{h} \left[(g_M^{n+1})^2 + (g_0^{n+1})^2 \right] + C_f^2 \right]$$

where $\beta = 1 - \tau(2L+1) - \tau^2 W$.

Choosing that $\varepsilon = \frac{\beta}{2\tau}$, we need that $\beta > 0 \Leftrightarrow \tau(2L+1) + \tau^2 W < 1$

$$\frac{\beta}{2} \|u^{n+1}\|^2 - \|u^n\|^2 \leq \tau \left[\frac{2\tau^3 W^2 (n+1)}{\beta} \sum_{k=0}^n \|u^k\|^2 + \frac{D}{h} \left[(g_M^{n+1})^2 + (g_0^{n+1})^2 \right] + C_f^2 \right]$$

Simplify $\frac{2}{\beta}$

$$\|u^{n+1}\|^2 \leq \frac{2}{\beta} \|u^n\|^2 + \frac{4\tau^3 W^2}{\beta^2} (n+1) \tau \sum_{k=0}^n \|u_i^k\|^2 + \frac{2}{\beta} \tau \frac{D}{h} \left[(g_M^{n+1})^2 + (g_0^{n+1})^2 + C_f^2 \right]$$

Use discrete Gronwall with a "triangular" core [18]

$$\|u^{n+1}\|^2 \leq \underbrace{\frac{2}{\beta} \|u^n\|^2}_a + \underbrace{\frac{4\tau^3 W^2}{\beta^2} (n+1) \tau \sum_{k=0}^n \|u_i^k\|^2}_b + \underbrace{\frac{2}{\beta} \tau \frac{D}{h} \left[(g_L^{n+1})^2 + (g_0^{n+1})^2 + C_f^2 \right]}_{F^{n+1}}$$

When $a \geq 1$, we get

$$\|u^{n+1}\|^2 \leq e^{\gamma t^{n+1} + \delta (t^{n+1})^2} \left[\|\phi\|^2 + \frac{D}{h} \sum_{j=1}^{n+1} \tau \left[(g_L^j)^2 + (g_0^j)^2 \right] + t^{n+1} C_f^2 \right] \quad (13)$$

where $\gamma = \frac{1}{\tau} \ln \frac{2}{\beta}$, $\delta = \frac{4\tau^2 W^2}{\beta^2}$, $\beta = 1 - \tau(2L+1) - \tau^2 W > 0$ and ϕ - initial (5) condition.

Demonstrating boundedness (stability) of the numerical solution in ℓ_2 -norm.

Corollary (energy stability with positive dissipation). Assume the hypotheses of the short ℓ_2 -stability theorem and, in addition, $W_\infty = \sum_{k \geq 0} w_k < D^2$. Then there exist $c_0 = D - \frac{W_\infty}{D} > 0$ such that for all $t^n = n\tau \leq T$,

$$\|u^n\|^2 + c_0 \tau \sum_{j=1}^n \|\nabla_h u^j\|^2 \leq e^{\gamma t^n + \delta (t^n)^2} \left(\|\phi\|^2 + \frac{D}{h} \sum_{j=1}^n \tau \left[(g_0^j)^2 + (g_L^j)^2 \right] + C_f^2 t^n \right),$$

where $\gamma = \frac{1}{\tau} \ln \frac{2}{\beta}$, $\delta = \frac{4\tau^2 W^2}{\beta^2}$ and $\beta = 1 - \tau(2L+1) - \tau^2 W > 0$ are the constants from the

theorem. If the Dirichlet data (6) vanish, the boundary sum disappears.

Theorem 2. If the assumptions of Theorem 1 hold, then the scheme (4)-(6) converges with order $O(\tau + h^2)$ in the ℓ_2 -norm.

Proof. Let us introduce consideration $z_i^n = u_i^n - U(x_i, t^n)$. Substitute $u_i^n = z_i^n + U(x_i, t^n)$ into (4)-(6) and subtracting the discrete equation satisfied by, we obtain:

$$\begin{aligned} \frac{z_i^{n+1} - z_i^n}{\tau} &= D \delta_x^2 z_i^{n+1} + \frac{\tau}{2} (w_i^0 z_i^0 + w_i^{n+1} z_i^{n+1}) + \tau \sum_{k=1}^n w_i^k z_i^k + \\ &+ \left[f(z_i^{n+1} + U_i^{n+1}, x_i, t^{n+1}) - f(U_i^{n+1}, x_i, t^{n+1}) \right] + \Phi_i^{n+1}, \\ \Phi_i^{n+1} &= -\frac{U_i^{n+1} - U_i^n}{\tau} + D \delta_x^2 U_i^{n+1} + \frac{\tau}{2} (w_i^0 U_i^0 + w_i^{n+1} U_i^{n+1}) + \tau \sum_{k=1}^n w_i^k U_i^k + f(U_i^{n+1}, x_i, t^{n+1}) \end{aligned}$$

with homogeneous error data $z_0^n = z_M^n = 0$ and $z_i^0 = 0$. Here Φ_i^{n+1} is local truncation error and $\|\Phi^{n+1}\| \leq C(\tau + h^2)$.

Taking the h -inner product with z^{n+1} and using the polarization identity, discrete Green's identity for diffusion, Cauchy-Schwarz and Young for the memory term, and the Lipschitz bound for, we obtain the analogue of (12):

$$\|z^{n+1}\|^2 - \|z^n\|^2 + \|z^{n+1} - z^n\|^2 \leq -\tau D \|\nabla_h z^{n+1}\|^2 + \frac{\tau W}{D} \sum_{k=0}^n \|z^k\|^2 + \tau(2L+1)\|z^{n+1}\|^2 + \tau \|\Phi^{n+1}\|^2$$

Using $\|\Phi^{n+1}\| \leq C(\tau + h^2)$ and Young's inequality gives $\tau \|\Phi^{n+1}\|^2 \leq \tau \|z^{n+1}\|^2 + C\tau(\tau + h^2)^2$ the first part is absorbed on the left. A discrete Gronwall argument (under the step-size condition $\beta = 1 - \tau(2L+1) - \tau^2 W > 0$) yields

$$\|z^n\| \leq C_T(\tau + h^2), \quad 0 \leq t^n \leq T,$$

which proves first-order temporal and second-order spatial convergence in ℓ_2 .

Throughout we assume that the source term is Lipschitz in the unknown,

$$|f(u_1, x, t) - f(u_2, x, t)| \leq L|u_1 - u_2|, \quad (L \geq 0)$$

In the present experiment we take

$$K(x, t) = xt, \quad D = 10, \quad T = 1, \quad L = 1, \quad f(x, t) = 2Dt^2 - 2tx(x-1) + \frac{t^4 x^2 (x-1)}{4}.$$

Which does not depend on u ; hence it is Lipschitz with constant $L = 0$. This case, the exact solution of the problem:

$$u(x, t) = t^2 x(1-x)$$

For the trapezoidal memory discretization, the stability estimate yields the condition

$$\tau^2 W + \tau(2L+1) - 1 < 0$$

where $W = \sup_{x \in [0,1], t^n \leq T} \sum_{k=0}^n \tau w^k \approx \sup_{x \in [0,1], t^n \leq T} \int_0^t K(x, s) ds$. For $K(x, s) = xs$ one has

$$\int_0^t K(x, s) ds = \frac{t^2}{2} x \leq \frac{T^2}{2} \Rightarrow W \leq \frac{T^2}{2}. \text{ Hence gives the explicit bound:}$$

$$\tau < \tau_{\max}(L, W) = \begin{cases} \frac{1}{2L+1}, & W = 0 \\ \frac{-(2L+1) + \sqrt{(2L+1)^2 + 4W}}{2W}, & W > 0 \end{cases}$$

With the parameters of our test $T = 1 \Rightarrow W \leq \frac{1}{2}$. Therefore, for the actual nonlinearity here ($L = 0$):

$$\tau < \frac{-1 + \sqrt{1+2}}{1} \approx 0.732. \text{ All time steps used below satisfy this constraint.}$$

Below are the results describing two different parts with different strategies for changing parameters, namely, a space step and a time step.

The empirical order of convergence over the time step is determined by the formula

$$P_{k+1} = \frac{\ln(e_{k+1}) - \ln(e_k)}{\ln(\tau_{k+1}) - \ln(\tau_k)}, \quad P_{k+1} = \frac{\ln(e_{k+1}) - \ln(e_k)}{\ln(h_{k+1}) - \ln(h_k)},$$

where e_i is the error in the ℓ_2 -norm, τ_k is the time step and h_k is the time step in the k experiment. In the first case, we leave the space step $h = 0.05$ unchanged, changing only the time step by half (Table 1).

Table 1. Temporal refinement with fixed $h = 0.05$.

Experiment number, k	Step in the t variable, τ_k	Step in the x variable, $h = 0.05$	
		Error, e_k	Order, P_{k+1}
1	0.05	$9.3231 \cdot 10^{-5}$	-
2	0.025	$4.6474 \cdot 10^{-5}$	1.00
3	0.0125	$2.3202 \cdot 10^{-5}$	1.00
4	0.00625	$1.1592 \cdot 10^{-5}$	1.00

In the second case, on the contrary, the time step remains constant $\tau = 0.01$, and only the space step changes by half (Table 2).

Table 2. Spatial refinement with fixed $\tau = 0.01$

Experiment number, k	Step in the x variable, h_k	Step in the t variable, $\tau = 0.01$	
		Error, e_k	Order, P_{k+1}
1	0.05	$5.72772 \cdot 10^{-4}$	-
2	0.025	$1.51376 \cdot 10^{-4}$	$1.91(\approx 2.00)$
3	0.0125	$3.841 \cdot 10^{-5}$	$1.98(\approx 2.00)$
4	0.00625	$9.6 \cdot 10^{-6}$	$2.0003(\approx 2.00)$

These data obtained with the help of experimental calculations show (Fig. 1-3) that the numerical solutions of equations (1)-(3) are stable and converge.

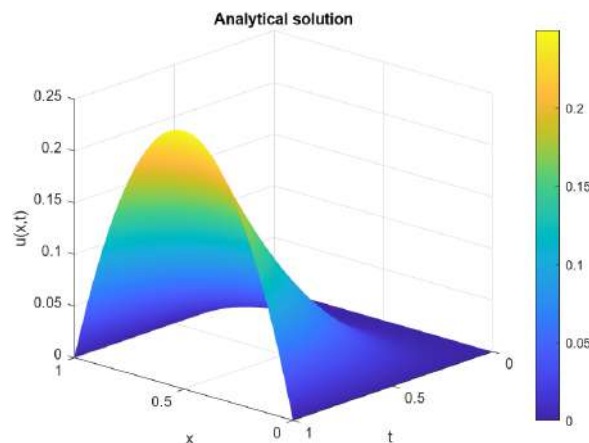


Figure 1. Analytical solution $u(t, x) = t^2 x(1 - x)$.

Results in Tables 1-2 demonstrate stability and convergence consistent with theoretical rates. Plots compare numerical and exact solutions at selected times, confirming accuracy.

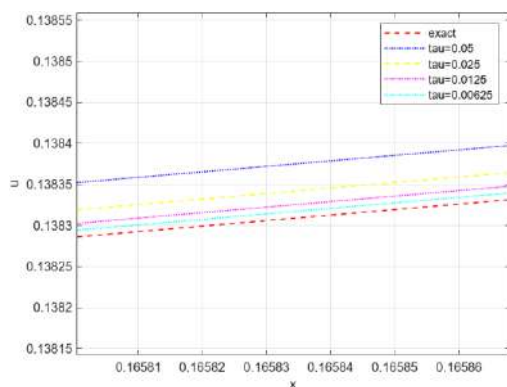


Figure 2. Results of analytical and numerical solution for $h = 0.05$.

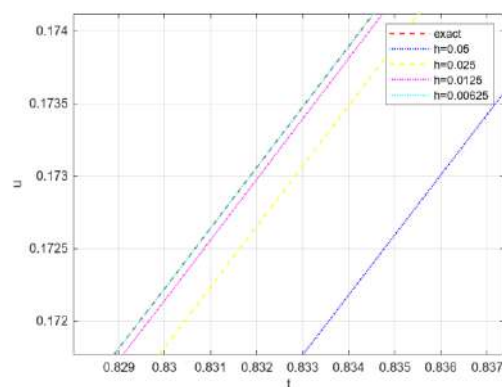


Figure 3. Results of analytical and numerical solution for $\tau = 0.01$

Discussion

The obtained results show that the proposed implicit scheme with Volterra-type memory is a reliable tool for modelling diffusion processes in media with hereditary properties. In contrast to classical schemes for equations without memory and to some explicit methods for equations with integral terms, the constructed algorithm possesses a rigorously proven energy stability and does not require excessively restrictive conditions on the time step. In this respect, it is comparable in theoretical robustness to modern schemes for problems with fractional derivatives and integral memory operators, while preserving a relatively simple implementation (tridiagonal structure and the sweep method). The numerical experiments indicate that the scheme adequately reproduces long-memory effects: the solution is not only stable, but also correctly captures slowed propagation and long-range influence (“tails”) of past states. Prospects for further research include the extension of the approach to multidimensional problems, adaptive time stepping that takes into account the shape of the memory kernel, and the study of a more general class of nonlinearities and possibly degenerate coefficients.

Conclusion

An implicit finite-difference scheme is developed for a nonlinear diffusion equation with Volterra-type memory; a discrete energy identity is derived that guarantees energy stability under natural restrictions on the time step. Convergence of order $O(\tau + h^2)$ is proved for sufficiently smooth solutions and data; the constants in the estimates are independent of τ and h . The nonlinearity is handled by iterative linearization; at each step a tridiagonal linear system is solved by the Thomas algorithm with linear complexity in the number of grid points. Numerical experiments confirm the claimed orders and stability on tests with smooth and non-smooth data, accurately reproducing long-memory effects. The applicability range covers nonnegative decaying Volterra kernels and standard boundary conditions (Dirichlet/Neumann). Future work includes multidimensional computations, adaptive time stepping, and extending the class of admissible nonlinearities.

Acknowledgement

This research was funded by Abai Kazakh National Pedagogical University (Contract No. 05-04/250 Dated 30.04.2025).

Data Availability Statement

Dataset available on request from the author.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflicts of interest.

References

- [1] Hasan, M., Jahan, L. N., Zaman, T.-U., Imtiaz, S., Hossain, M. E.: Modelling of fluid flow through porous media using memory approach: A review. *Math. Comput. Simul.*, 177 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2020.05.026>
- [2] Ferreira, J. A., Pinto, L.: An integro-differential model for non-Fickian tracer transport in porous media: validation and numerical simulation. *Math. Methods Appl. Sci.*, 39 (2015). <https://doi.org/10.1002/mma.3446>
- [3] Zhou, H. W., Yang, S., Zhang, S. Q.: Modeling non-Darcian flow and solute transport in porous media with the Caputo-Fabrizio derivative. *Appl. Math. Model.*, 68 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.apm.2018.09.042>
- [4] Carpinteri, A., Mainardi, F.: *Fractals Calculus: Integral and Differential Equations of Fractional Order*. CISM Lect. Notes, FRACALMO Prepr. (2008). <https://doi.org/10.48550/arXiv.0805.3823>
- [5] Diethelm, K.: *The Analysis of Fractional Differential Equations*. Lecture Notes in Mathematics, Springer Berlin, Heidelberg (2010). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-14574-2>
- [6] Brunner, H.: *Collocation Methods for Volterra Integral and Related Functional Differential Equations*. Cambridge Univ. Press (2004). <https://doi.org/10.1017/CBO9780511543234>
- [7] Yuldashev, T.K.: On a Boundary-Value Problem for a Fourth-Order Partial Integro-Differential Equation with Degenerate Kernel. *J. Math. Sci.*, 245 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10958-020-04707-2>
- [8] Metzler, R., Klafter, J.: The random walk's guide to anomalous diffusion: a fractional dynamics approach. *Phys. Rep.*, 339 (2000). [https://doi.org/10.1016/S0370-1573\(00\)00070-3](https://doi.org/10.1016/S0370-1573(00)00070-3)
- [9] Caputo, M., Mainardi, F.: A new dissipation model based on memory mechanism. *Pure Appl. Geophys.*, 91 (1971). <https://doi.org/10.1007/BF00879562>
- [10] Baigereyev, D., Omariyeva, D., Temirbekov, N., Yergaliyev, Y., Boranbek, K.: Numerical method for a filtration model involving a nonlinear partial integro-differential equation. *Math.*, 10 (2022). <https://doi.org/10.3390/math10081319>
- [11] Berdyshev, A., Aloev, R., Abdiramanov, Z., Ovlayeva, M.: An Explicit–Implicit Upwind Difference Splitting Scheme in Directions for a Mixed Boundary Control Problem for a Two-Dimensional Symmetric t -Hyperbolic System. *Symmetry*, 15 (2023). <https://doi.org/10.3390/sym15101863>
- [12] Samarskii, A.A.: *The theory of difference schemes*. CRC Press, Boca Raton (2001). <https://doi.org/10.1201/9780203908518>
- [13] Xian-Ming G., Hai-Wei S., Young-Liang Zh., Xiangcheng Zh.: An implicit difference scheme for time-fractional diffusion equations with a time-invariant type variable order. *Appl. Math. Lett.*, 120 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.aml.2021.107270>
- [14] Zhi-Zhong, S., Xiaonan, W.: A fully discrete difference scheme for a diffusion-wave system. *Appl. Numer. Math.*, 56 (2006). <https://doi.org/10.1016/j.apnum.2005.03.003>
- [15] Lions, J.-L.: *Quelques méthodes de résolution des problèmes aux limites non linéaires*. Dunod, Gauthier-Villars, Paris (1969)
- [16] Alikhanov, A.: A priori estimates for solutions of boundary value problems for fractional - order equations. *Differ. Equ.*, 46 (2010). <https://doi.org/10.1134/S0012266110050058>
- [17] Strauss, W.A.: *Partial Differential Equations: An Introduction*, 2nd Edition. Wiley, (2007) <https://www.wiley.com/en-au/Partial+Differential+Equations:+An+Introduction,+2nd+Edition-p-9781119496694>
- [18] Université Paris-Dauphine: Chapter 0 - On the Gronwall lemma. An introduction to evolution PDEs. Paris, (2019) <https://www.ceremade.dauphine.fr/~mischler/Enseignements/M2evol2018/chap0.pdf>

B.K. Abdrakhman¹, A.R. Ryskan^{*2}, M.N. Jabayeva¹,
U.E. Makhambetiyarova¹, T.G. Ergashev^{3,4}

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

²Narxoz University, Almaty, Kazakhstan

³TIAME National Research University, Tashkent, Uzbekistan

⁴Ghent University, Ghent, Belgium

*e-mail: ryskan.a727@gmail.com

SOLVING SYSTEMS OF SECOND-ORDER DIFFERENTIAL EQUATIONS FOR SOME MULTIDIMENSIONAL HYPERGEOMETRIC FUNCTIONS

Abstract

In this paper, we study the problem of finding solutions to a system of second-order partial differential equations related to hypergeometric functions of four variables F_{16} , F_{18} , F_{19} , F_{20} and F_{31} . Currently, mathematical modeling of physical processes and forecasting their dynamics are becoming increasingly important in science and technology. Most of these processes are described by differential equations or their systems, but only a few of them, those that reflect real physical phenomena, allow analytical solutions expressed in terms of elementary functions. This fact makes it particularly relevant to study more general classes of functions, in particular hypergeometric functions of many variables. Hypergeometric functions are solutions of certain systems of differential equations and belong to the category of special or transcendental functions. Due to their properties, they are widely used in solving multidimensional problems, and the study of their analytical structure is important both for the development of theoretical mathematics and for practical calculations. Within the framework of this study, linearly independent solutions of these systems were constructed for the functions under consideration, as well as their structural features and main characteristics were analyzed. The results obtained form the theoretical basis for further study of hypergeometric functions of a higher number of variables and open up prospects for their effective use in solving applied problems. The work contributes to the development of the theory of special functions and offers new approaches to solving fundamental problems of mathematical physics and applied mathematics.

Keywords: hypergeometric function of four variables, hypergeometric type differential equation, linearly independent solutions of the system.

Б.Қ. Абдрахман¹, А.Р. Рысқан², М.Н. Джабаева¹, Ұ. Е. Махамбетиярова¹, Т.Г. Эргашев^{3,4}

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Нархоз Университеті, Алматы қ., Қазақстан

³«ИИАШМТИ» Ұлттық зерттеу университеті, Ташкент қ., Өзбекстан

⁴Гент университеті, Гент қ., Бельгия

КЕЙБІР КӨП ӨЛШЕМДІ ГИПЕРГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ФУНКЦИЯЛАР ҮШІН ЕКІНШІ РЕТТІ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕНДЕУЛЕР ЖҮЙЕСІН ШЕШУ

Аңдатпа

Бұл мақалада төрт айнымалы гипергеометриялық F_{16} , F_{18} , F_{19} , F_{20} және F_{31} және функциялары үшін дербес туындылы екінші ретті дифференциалдық теңдеулер жүйесін шешу мәселесі қарастырылады. Қазіргі таңда физикалық процестерді математикалық модельдеу және олардың нәтижелерін болжау мәселелері өзекті болып отыр. Мұндай модельдер көбінесе дифференциалдық теңдеулер немесе олардың жүйелері арқылы сипатталады. Алайда, нақты физикалық құбылыстарды сипаттайтын бұл теңдеулердің тек аз бөлігі ғана элементар функциялармен өрнектелетін шешімдерге ие болады. Осы себепті жаңа функцияларды, соның ішінде көп айнымалы гипергеометриялық функцияларды зерттеу ерекше маңызға ие. Гипергеометриялық функциялар дифференциалдық теңдеулер жүйесінің шешімдері ретінде анықталып, арнайы немесе трансценденттік функциялар класына жатады. Бұл функциялар көп айнымалы есептерде кеңінен қолданылады және олардың аналитикалық қасиеттерін

зерттеу теориялық қана емес, практикалық тұрғыдан да маңызды. Зерттеу барысында аталған функциялар үшін қарастырылған дифференциалдық жүйелердің сызықтық тәуелсіз шешімдері табылып, олардың құрылымдық ерекшеліктері мен қасиеттері талданды. Алынған нәтижелер гипергеометриялық функциялардың жоғары өлшемді кеңейтулерін әрі қарай зерттеуге негіз болады және оларды қолданбалы есептерге тиімді қолдануға жол ашады. Бұл зерттеу арнайы функциялар теориясын тереңдетіп, математикалық физика мен қолданбалы математиканың маңызды мәселелерін шешуде жаңа бағыттар ұсынады.

Түйін сөздер: төрт айнымалы гипергеометриялық функция, екінші ретті дербес туындылы дифференциалдық теңдеу, жүйенің сызықтық тәуелсіз шешімдері.

Б.К. Абдрахман¹, А.Р. Рыскан², М.Н. Джабаева¹, У.Е. Махамбетиярова¹, Т.Г. Эргашев^{3,4}

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г.Алматы, Казахстан

²Университет Нархоз, г.Алматы, Казахстан

³Национальный исследовательский университет «ТИИИМСХ», г.Ташкент, Узбекистан

⁴Гентский университет, г.Гент, Бельгия

РЕШЕНИЕ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА ДЛЯ НЕКОТОРЫХ МНОГОМЕРНЫХ ГИПЕРГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

Аннотация

В данном исследовании рассматривается решение системы дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка, соответствующих гипергеометрическим функциям с четырьмя переменными F_{16} , F_{18} , F_{19} , F_{20} и F_{31} . В современной науке математическое моделирование физических процессов и прогнозирование их поведения играют решающую роль. Многие такие процессы описываются дифференциальными уравнениями или системами уравнений; однако лишь ограниченное число из них те, которые описывают реальные физические явления, могут быть решены в терминах элементарных функций. Это ограничение подчеркивает важность исследования более широких классов функций, в частности гипергеометрических функций нескольких переменных. Гипергеометрические функции возникают как решения конкретных систем дифференциальных уравнений и относятся к классу специальных или трансцендентных функций. Они находят широкое применение в задачах, связанных с несколькими переменными, и понимание их аналитической структуры важно как для теоретических, так и для практических целей. В настоящей работе были построены линейно независимые решения исследуемых систем для вышеупомянутых функций, а также исследована их внутренняя структура и ключевые свойства. Полученные результаты создают основу для разработки многомерных обобщений гипергеометрических функций и указывают на новые возможности их практического использования при решении прикладных задач. Это исследование обогащает теорию специальных функций и открывает новые перспективы для решения фундаментальных задач математической физики и прикладной математики.

Ключевые слова: гипергеометрическая функция четырёх переменных, дифференциальное уравнение гипергеометрического типа, линейно-независимые решения системы.

Introduction

In such fields of science as thermal conductivity and mechanics, electromagnetic oscillations, aerodynamics, quantum mechanics and potential theory, transcendental functions, the so-called hypergeometric series, are widely used in solving applied problems [1, 2]. These functions, traditionally called special functions of mathematical physics, naturally arise when solving differential equations analyzed by means of harmonic analysis. An in-depth study of multidimensional hypergeometric functions is of particular importance due to their wide application possibilities in various fields of science. The need to solve complex problems of quantum chemistry [3, 4], the study of superstring theory [5], as well as numerous problems of gas dynamics have stimulated the active development of the theory of special functions of one and several variables. In particular, in gas dynamics, many formulations are reduced to the study of independent second-order differential equations, the solutions of which are expressed in terms of hypergeometric functions of many variables [6, 7]. In this regard, when studying boundary value problems for such

equations, it becomes necessary to construct systems of hypergeometric functions and find their explicit linearly independent solutions [3, 8-10].

A significant contribution to the development of this field was made by Exton [11], who proposed a four-dimensional hypergeometric function of class $K_{-1}K_{-21}$. Subsequently, Sharma and Parihar [12] extended these results by defining a family of hypergeometric functions of four variables with 83 different parametric variants.

Each four-dimensional hypergeometric function has the following form:

$$F^{(4)}(\cdot) = \sum_{m,n,p,q} \Delta(m,n,p,q) \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!}, \quad (1)$$

here $\Delta(m,n,p,q)$ is some sequence of complex parameters, and each function has twelve parameters. Consider the hypergeometric functions $F_{16}^{(4)}$, $F_{18}^{(4)}$, $F_{19}^{(4)}$, $F_{20}^{(4)}$, $F_{31}^{(4)}$:

$$F_{16}^{(4)}(a_1, a_2, b_1, b_2; c_1, c_2, c_3; x, y, z, t) = \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1)_{m+n+p} (a_2)_q (b_1)_{m+n+q} (b_2)_p}{(c_1)_m (c_2)_n (c_3)_{p+q}} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!}, \quad (2)$$

$$F_{18}^{(4)}(a_1, a_2, b_1, b_2; c_1, c_2, c_3; x, y, z, t) = \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1)_{m+n+p} (a_2)_q (b_1)_{m+n} (b_2)_{p+q}}{(c_1)_{m+q} (c_2)_n (c_3)_p} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!}, \quad (3)$$

$$F_{19}^{(4)}(a_1, a_2, b_1, b_2; c_1, c_2, c_3; x, y, z, t) = \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1)_{m+n+p} (a_2)_q (b_1)_{m+n} (b_2)_{p+q}}{(c_1)_m (c_2)_n (c_3)_{p+q}} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!}, \quad (4)$$

$$F_{20}^{(4)}(a_1, a_2, b_1, b_2, b_3; c_1, c_2, c_3; x, y, z, t) = \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1)_{m+n+p} (a_2)_q (b_1)_{m+n} (b_2)_p (b_3)_q}{(c_1)_{m+q} (c_2)_n (c_3)_p} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!}, \quad (5)$$

$$F_{31}^{(4)}(a_1, a_1, a_2, a_2, b_1, b_2, b_1, b_3; c_1, c_1, c_2, c_3; x, y, z, t) = \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1)_{m+n} (a_2)_{p+q} (b_1)_{m+q} (b_2)_p (b_3)_q}{(c_1)_{m+n} (c_2)_p (c_3)_q} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!}. \quad (6)$$

Methodology

This paper presents methodological approaches to solving a system of second-order differential equations with partial derivatives describing hypergeometric functions of four variables of the form $F(a,b,c,d;x,y,z,t)$. Since such systems define special functions depending on multivariate arguments, their solutions possess a complex analytical structure. The results demonstrate that these functions, being solutions of special differential systems, can serve as an effective tool for solving a wide range of problems in physics and applied mathematics. The analysis provides a basis for further study of their symmetries, analytical properties, and structural features.

The solutions are interpreted as multivariate generalizations of hypergeometric functions and compared with classical Gauss, Appell, and Lauricella functions. However, the study has certain limitations. In particular, issues of convergence of the obtained solutions and their stability under boundary conditions require a more detailed analysis. Additional research is also needed to verify the applicability of these solutions within the framework of real physical models. All this opens up promising avenues for a deeper understanding of the internal structure of the theory of special functions of many variables and the search for new analytical forms.

Solution of a system of independent differential equations of functions $F_{16}^{(4)}, F_{18}^{(4)}, F_{19}^{(4)}, F_{20}^{(4)}, F_{31}^{(4)}$

Let's consider the hypergeometric function (2) $F_{16}^{(4)}$:

$$F_{16}^{(4)}(a_1, a_2, b_1, b_2; c_1, c_2, c_3; x, y, z, t) = \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1)_{m+n+p} (a_2)_q (b_1)_{m+n+q} (b_2)_p}{(c_1)_m (c_2)_n (c_3)_{p+q}} \frac{x^m}{m!} \frac{y^n}{n!} \frac{z^p}{p!} \frac{t^q}{q!},$$

where $c \neq 0, -1, -2, -3, \dots$; here $i=1, \dots, 3$.

First we use the Kampe de Fariet series [13],

$$\begin{aligned} A_{m,n,p,q} &= \frac{(a_1)_{m+n+p} (a_2)_q (b_1)_{m+n+q} (b_2)_p}{(c_1)_m (c_2)_n (c_3)_{p+q} m! n! p! q!}, \\ A_{m+1,n,p,q} &= \frac{(a_1)_{m+n+p+1} (a_2)_q (b_1)_{m+n+q+1} (b_2)_p}{(c_1)_{m+1} (c_2)_n (c_3)_{p+q} (m+1)! n! p! q!}, \\ A_{m,n+1,p,q} &= \frac{(a_1)_{m+n+p+1} (a_2)_q (b_1)_{m+n+q+1} (b_2)_p}{(c_1)_m (c_2)_{n+1} (c_3)_{p+q} m! (n+1)! p! q!}, \\ A_{m,n,p+1,q} &= \frac{(a_1)_{m+n+p+1} (a_2)_q (b_1)_{m+n+q} (b_2)_{p+1}}{(c_1)_m (c_2)_n (c_3)_{p+q+1} m! n! (p+1)! q!}, \\ A_{m,n,p,q+1} &= \frac{(a_1)_{m+n+p} (a_2)_{q+1} (b_1)_{m+n+q+1} (b_2)_p}{(c_1)_m (c_2)_n (c_3)_{p+q+1} m! n! p! (q+1)!}. \end{aligned} \quad (7)$$

Here $A_{m,n,p,q}$ are the coefficients of the Kampe de Fariet series, and $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2, c_3$ are the parameters [14].

$$\begin{aligned} A_{m+1,n,p,q} &= \frac{(a_1)_{m+n+p+1} (a_2)_q (b_1)_{m+n+q+1} (b_2)_p}{(c_1)_{m+1} (c_2)_n (c_3)_{p+q} (m+1)! n! p! q!} \frac{(c_1)_m (c_2)_n (c_3)_{p+q} m! n! p! q!}{(a_1)_{m+n+p} (a_2)_q (b_1)_{m+n+q} (b_2)_p}, \\ A_{m,n+1,p,q} &= \frac{(a_1)_{m+n+p+1} (a_2)_q (b_1)_{m+n+q+1} (b_2)_p}{(c_1)_m (c_2)_{n+1} (c_3)_{p+q} m! (n+1)! p! q!} \frac{(c_1)_m (c_2)_n (c_3)_{p+q} m! n! p! q!}{(a_1)_{m+n+p} (a_2)_q (b_1)_{m+n+q} (b_2)_p}, \\ A_{m,n,p+1,q} &= \frac{(a_1)_{m+n+p+1} (a_2)_q (b_1)_{m+n+q} (b_2)_{p+1}}{(c_1)_m (c_2)_n (c_3)_{p+q+1} m! n! (p+1)! q!} \frac{(c_1)_m (c_2)_n (c_3)_{p+q} m! n! p! q!}{(a_1)_{m+n+p} (a_2)_q (b_1)_{m+n+q} (b_2)_p}, \\ A_{m,n,p,q+1} &= \frac{(a_1)_{m+n+p} (a_2)_{q+1} (b_1)_{m+n+q+1} (b_2)_p}{(c_1)_m (c_2)_n (c_3)_{p+q+1} m! n! p! (q+1)!} \frac{(c_1)_m (c_2)_n (c_3)_{p+q} m! n! p! q!}{(a_1)_{m+n+p} (a_2)_q (b_1)_{m+n+q} (b_2)_p}. \end{aligned} \quad (8)$$

From the series (8) we obtain a one-sided recurrence relation (9) of coefficients depending on m, n, p, q :

$$\begin{aligned}\frac{A_{m+1,n,p,q}}{A_{m,n,p,q}} &= \frac{(a_1 + m + n + p)(b_1 + m + n + q)}{(c_1 + m)(m + 1)}, \\ \frac{A_{m,n+1,p,q}}{A_{m,n,p,q}} &= \frac{(a_1 + m + n + p)(b_1 + m + n + q)}{(c_2 + n)(n + 1)}, \\ \frac{A_{m,n,p+1,q}}{A_{m,n,p,q}} &= \frac{(a_1 + m + n + p)(b_2 + p)}{(c_3 + p + q)(p + 1)}, \\ \frac{A_{m,n,p,q+1}}{A_{m,n,p,q}} &= \frac{(a_2 + q)(b_1 + m + n + q)}{(c_3 + p + q)(q + 1)}.\end{aligned}\quad (9)$$

Where $m = x \frac{\partial}{\partial x}, n = y \frac{\partial}{\partial y}, p = z \frac{\partial}{\partial z}, q = t \frac{\partial}{\partial t}$ are defined as differential operators.

According to the theory of multidimensional hypergeometric functions, the system of independent differential equations for the hypergeometric function $F_{16}^{(4)}$ is given as follows:

$$\begin{aligned}\left(c_1 + x \frac{\partial}{\partial x}\right)\left(x \frac{\partial}{\partial x} + 1\right)x^{-1}u - \left(a_1 + x \frac{\partial}{\partial x} + y \frac{\partial}{\partial y} + z \frac{\partial}{\partial z}\right)\left(b_1 + x \frac{\partial}{\partial x} + y \frac{\partial}{\partial y} + t \frac{\partial}{\partial t}\right)u &= 0, \\ \left(c_2 + y \frac{\partial}{\partial y}\right)\left(y \frac{\partial}{\partial y} + 1\right)y^{-1}u - \left(a_1 + x \frac{\partial}{\partial x} + y \frac{\partial}{\partial y} + z \frac{\partial}{\partial z}\right)\left(b_1 + x \frac{\partial}{\partial x} + y \frac{\partial}{\partial y} + t \frac{\partial}{\partial t}\right)u &= 0, \\ \left(c_3 + z \frac{\partial}{\partial z} + t \frac{\partial}{\partial t}\right)\left(z \frac{\partial}{\partial z} + 1\right)z^{-1}u - \left(a_1 + x \frac{\partial}{\partial x} + y \frac{\partial}{\partial y} + z \frac{\partial}{\partial z}\right)\left(b_2 + z \frac{\partial}{\partial z}\right)u &= 0, \\ \left(c_3 + z \frac{\partial}{\partial z} + t \frac{\partial}{\partial t}\right)\left(t \frac{\partial}{\partial t} + 1\right)t^{-1}u - \left(a_2 + t \frac{\partial}{\partial t}\right)\left(b_1 + x \frac{\partial}{\partial x} + y \frac{\partial}{\partial y} + t \frac{\partial}{\partial t}\right)u &= 0.\end{aligned}\quad (10)$$

Applying simple calculations to (10), we obtain the following system of independent second order differential equations:

$$\begin{cases} x(1-x)u_{xx} - 2xyu_{xy} - xtu_{xt} - xzu_{xz} - y^2u_{yy} - ytu_{yt} - yzu_{yz} - ztu_{zt} + [c_1 - (a_1 + b_1 + 1)x]u_x \\ - (a_1 + b_1 + 1)yu_y - a_1tu_t - b_1zu_z - a_1b_1u = 0, \\ y(1-y)u_{yy} - x^2u_{xx} - 2xyu_{xy} - xzu_{xz} - yzu_{yz} - ytu_{yt} - xtu_{xt} - ztu_{zt} - (a_1 + b_1 + 1)xu_x \\ + [c_2 - (a_1 + b_1 + 1)y]u_y - a_1tu_t - b_1zu_z - a_1b_1u = 0, \\ z(1-z)u_{zz} - xzu_{xz} - yzu_{yz} + tu_{tz} - b_2xu_x - b_2yu_y + [c_3 - (a_1 + b_2 + 1)z]u_z - a_1b_2u = 0, \\ t(1-t)u_{tt} - xtu_{xt} - ytu_{yt} + zu_{tz} - a_2xu_x - a_2yu_y + [c_3 - (a_2 + b_1 + 1)t]u_t - a_2b_1u = 0. \end{cases}\quad (11)$$

Here $u(x, y, z, t) := F_{16}^{(4)}(a_1, a_2, b_1, b_2; c_1, c_2, c_3; x, y, z, t)$.

We seek linearly independent solutions as follows:

$$u = x^\alpha y^\beta z^\gamma t^\delta w, \quad (12)$$

where w is the unknown function and $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ are constants to be determined. Introducing new variables $x^\alpha y^\beta z^\gamma t^\delta w$ and replacing (11), we obtain the following system of differential equations:

$$\left\{ \begin{aligned} & x(1-x)w_{xx} - 2xyw_{xy} - xtw_{xt} - xzw_{xz} - y^2w_{yy} - ytw_{yt} - yzw_{yz} - ztw_{zt} + [C_1 - (A_1 + B_1 + 1)x]w_x \\ & - (A_1 + B_1 + 1)yw_y - B_1zw_z - A_1tw_t + [\alpha(c_1 + \alpha - 1)x^{-1} - A_1B_1]w = 0, \\ & y(1-y)w_{yy} - x^2w_{xx} - 2xyw_{xy} - xzw_{xz} - xtw_{xt} - yzw_{yz} - ytw_{yt} - ztw_{zt} - (A_1 + B_1 + 1)xw_x \\ & + [C_2 - (A_1 + B_1 + 1)y]w_y - B_1zw_z + [\beta(c_2 + \beta - 1)y^{-1} - A_1B_1]w - A_1tw_t = 0, \\ & z(1-z)w_{zz} - xzw_{xz} - yzw_{yz} + tw_{zt} + [(A_1 + B_2 - 1)z + C_3]w_z - B_2xw_x - B_2yw_y + \gamma tz^{-1}w_t \\ & + [\gamma(\gamma + \delta + c_3 - 1)z^{-1} - A_1B_2]w = 0, \\ & t(1-t)w_{tt} - xtw_{xt} - ytw_{yt} + zw_{zt} + [C_4 - (A_2 + B_1 + 1)t]w_t - A_2xw_x - A_2yw_y + \delta zt^{-1}w_z \\ & + [\delta(c_3 + \gamma + \delta - 1)t^{-1} - A_2B_1]w = 0, \end{aligned} \right. \quad (13)$$

here

$$\begin{aligned} A_1 &= a_1 + \alpha + \beta + \gamma, \quad A_2 = a_2 + \delta, \\ B_1 &= \alpha + \beta + \delta + b_1, \quad B_2 = \gamma + b_2, \\ C_1 &= c_1 + 2\alpha, \quad C_2 = c_2 + 2\beta, \quad C_3 = c_3 + 2\delta + \gamma, \quad C_4 = c_3 + 2\gamma + \delta. \end{aligned} \quad (14)$$

System (11) is similar to system (13). Therefore, the following conditions must be met:

$$\left\{ \begin{aligned} & \gamma = 0, \\ & \delta = 0, \\ & \alpha(c_1 + \alpha - 1) = 0, \\ & \beta(c_2 + \beta - 1) = 0, \\ & \gamma(c_3 + \gamma + \delta - 1) = 0, \\ & \delta(c_3 + \gamma + \delta - 1) = 0. \end{aligned} \right. \quad (15)$$

The solutions of system (15) can be written in the form of four combinations:

	1	2	3	4
α	0	$1 - C_1$	0	$1 - C_1$
β	0	0	$1 - C_2$	$1 - C_2$
γ	0	0	0	0
δ	0	0	0	0

(16)

Thus, substituting the solutions (16) of system (15) into equations (12) and performing the necessary simplifications, we obtain linearly independent solutions of the system of second-order partial differential equations (13) in the form of the following four hypergeometric functions:

$$u_1(x, y, z, t) = F_{16}^{(4)}(\alpha + \beta + \gamma + a_1, \delta + a_2, \alpha + \beta + \delta + b_1, \gamma + b_2; 2\alpha + c_1, 2\beta + c_2, 2\gamma + \delta + c_3, 2\delta + \gamma + c_3; x, y, z, t) = \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(\alpha + \beta + \gamma + a_1)_{m+n+p} (\delta + a_2)_q (\alpha + \beta + \delta + b_1)_{m+n+q} (\gamma + b_2)_p}{(2\alpha + c_1)_m (2\beta + c_2)_n (2\gamma + \delta + c_3)_{p+q}} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!},$$

$$u_2(x, y, z, t) = x^{1-c_1} F_{16}^{(4)}(a_1 + 1 - c_1, a_2, b_1 + 1 - c_1, b_2; 2 - c_1, c_2, c_3; x, y, z, t) \\ = x^{1-c_1} \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1 + 1 - c_1)_{m+n+p} (a_2)_q (1 - c_1 + b_1)_{m+n+q} (b_2)_p}{(2 - c_1)_m (c_2)_n (c_3)_{p+q}} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!},$$

$$u_3(x, y, z, t) = y^{1-c_2} F_{16}^{(4)}(a_1 + 1 - c_2, a_2, 1 - c_2 + b_1, b_2; c_1, 2 - c_2, c_3, c_3; x, y, z, t) \\ = y^{1-c_2} \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1 + 1 - c_2)_{m+n+p} (a_2)_q (1 - c_2 + b_1)_{m+n+q} (b_2)_p}{(c_1)_m (2 - c_2)_n (c_3)_{p+q}} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!},$$

$$u_4(x, y, z, t) = x^{1-c_1} y^{1-c_2} F_{16}^{(4)}(a_1 + 2 - c_1 - c_2, a_2, 2 - c_1 - c_2 + b_1, b_2; 2 - c_1, 2 - c_2, c_3, c_3; x, y, z, t) \\ = x^{1-c_1} y^{1-c_2} \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1 + 2 - c_1 - c_2)_{m+n+p} (a_2)_q (2 - c_1 - c_2 + b_1)_{m+n+q} (b_2)_p}{(2 - c_1)_m (2 - c_2)_n (c_3)_{p+q}} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!}.$$

Proceeding in the same way as with function $F_{16}^{(4)}$, we can write out solutions for the remaining functions considered in this study: $F_{18}^{(4)}$, $F_{19}^{(4)}$, $F_{20}^{(4)}$, $F_{31}^{(4)}$ functions.

Hypergeometric function (3) $F_{18}^{(4)}$ that depends on four variables (4) satisfies the following system of equations:

$$\left\{ \begin{aligned} & x(1-x)u_{xx} - 2xyu_{xy} - xzu_{xz} + tu_{xt} + [c_1 - (a_1 + b_1 + 1)x]u_x - y^2u_{yy} - yzu_{yz} \\ & - (a_1 + b_1 + 1)yu_y - b_1zu_z - a_1b_1u = 0, \\ & y(1-y)u_{yy} - 2xyu_{xy} - x^2u_{xx} - xzu_{xz} - yzu_{yz} - (a_1 + b_1 + 1)xu_x + [c_2 - (a_1 + b_1 + 1)y]u_y \\ & - b_1zu_z - a_1b_1u = 0, \\ & z(1-z)u_{zz} - xzu_{xz} - xtu_{xt} - yzu_{yz} - ztu_{zt} + [c_3 - (a_1 + b_2 + 1)z]u_z \\ & - a_1tu_t - b_2xu_x - b_2yu_y - a_1b_2u = 0, \\ & t(1-t)u_{tt} + xu_{xt} - tzu_{tz} + [c_1 - (a_2 + b_2 + 1)t]u_t - a_2zu_z - a_2b_2u = 0. \end{aligned} \right. \quad (17)$$

where is the function $u(x, y, z, t) = F_{18}^{(4)}(a_1, a_2, b_1, b_2; c_1, c_2, c_3; x, y, z, t)$. The system of differential equations (17) has four linearly independent solutions:

$$u_1(x, y, z, t) = F_{18}^{(4)}(a_1, a_2, b_1, b_2; c_1, c_2, c_3; x, y, z, t) \\ = \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1)_{m+n+p} (a_2)_q (b_1)_{m+n} (b_2)_{p+q}}{(c_1)_{m+q} (c_2)_n (c_3)_p} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!},$$

$$u_2(x, y, z, t) = y^{1-c_2} F_{18}^{(4)}(a_1 + 1 - c_2, a_2, b_1 + 1 - c_2, b_2; c_1, 2 - c_2, c_3; x, y, z, t) \\ = y^{1-c_2} \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1 + 1 - c_2)_{m+n+p} (a_2)_q (1 - c_2 + b_1)_{m+n} (b_2)_{p+q}}{(c_1)_{m+q} (2 - c_2)_n (c_3)_p} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!},$$

$$\begin{aligned}
 u_3(x, y, z, t) &= z^{1-c_3} F_{18}^{(4)}(a_1 + 1 - c_3, a_2, b_1, b_2 + 1 - c_3; c_1, c_2, 2 - c_3; x, y, z, t) \\
 &= z^{1-c_3} \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1 + 1 - c_3)_{m+n+p} (a_2)_q (b_1)_{m+n} (b_2 + 1 - c_3)_{p+q}}{(c_1)_{m+q} (c_2)_n (2 - c_3)_p} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!}, \\
 u_4(x, y, z, t) &= y^{1-c_2} z^{1-c_3} F_{18}^{(4)}(a_1 + 2 - c_2 - c_3, a_2, 1 - c_2 + b_1, b_2 + 1 - c_3; c_1, 2 - c_2, 2 - c_3; x, y, z, t) \\
 &= y^{1-c_2} z^{1-c_3} \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1 + 2 - c_2 - c_3)_{m+n+p} (a_2)_q (1 - c_2 + b_1)_{m+n} (1 - c_3 + b_2)_{p+q}}{(c_1)_{m+q} (2 - c_2)_n (2 - c_3)_p} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!}.
 \end{aligned}$$

The hypergeometric function (4) $F_{19}^{(4)}$ satisfies the following system of equations:

$$\begin{cases}
 x(1-x)u_{xx} - yyu_{yy} - zzu_{zz} - 2xyu_{xy} - yzu_{yz} + [c_1 - (a_1 + b_1 + 1)x]u_x - (a_1 + b_1 + 1)yu_y - b_1zu_z - a_1b_1u = 0, \\
 y(1-y)u_{yy} - xzu_{xz} - 2xyu_{xy} - yzu_{yz} - (a_1 + b_1 + 1)xu_x + [c_2 - (a_1 + b_1 + 1)y]u_y - b_1zu_z - a_1b_1u = 0, \\
 z(1-z)u_{zz} + t(1-z)u_{zt} - xzu_{xz} - xtu_{xt} - zyu_{yz} - ytu_{yt} - xb_2u_x - yb_2u_y + [c_3 - (a_1 + b_2 + 1)z]u_z - a_1b_2u - a_1tu_t = 0, \\
 t(1-t)u_{tt} + z(1-t)u_{zt} - a_2zu_z + [c_3 - (a_2 + b_2 + 1)t]u_t - a_2b_2u = 0.
 \end{cases} \quad (18)$$

where the function $u(x, y, z, t) = F_{19}^{(4)}(a_1, a_2, b_1, b_2; c_1, c_2, c_3; x, y, z, t)$. The system of differential equations (18) has following linearly independent solutions:

$$\begin{aligned}
 u_1(x, y, z, t) &= F_{19}^{(4)}(a_1, a_2, b_1, b_2; c_1, c_2, c_3; x, y, z, t) \\
 &= \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1)_{m+n+p} (a_2)_q (b_1)_{m+n} (b_2)_{p+q}}{(c_1)_m (c_2)_n (c_3)_{p+q}} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!}, \\
 u_2(x, y, z, t) &= x^{1-c_1} F_{19}^{(4)}(a_1 + 1 - c_1, a_2, b_1 + 1 - c_1, b_2; 2 - c_1, c_2, c_3; x, y, z, t) \\
 &= x^{1-c_1} \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1 + 1 - c_1)_{m+n+p} (a_2)_q (1 - c_1 + b_1)_{m+n} (b_2)_{p+q}}{(2 - c_1)_m (c_2)_n (c_3)_{p+q}} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!}, \\
 u_3(x, y, z, t) &= y^{1-c_2} F_{19}^{(4)}(a_1 + 1 - c_2, a_2, 1 - c_2 + b_1, b_2; c_1, 2 - c_2, c_3, c_3; x, y, z, t) \\
 &= y^{1-c_2} \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1 + 1 - c_2)_{m+n+p} (a_2)_q (1 - c_2 + b_1)_{m+n} (b_2)_{p+q}}{(c_1)_m (2 - c_2)_n (c_3)_{p+q}} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!}, \\
 u_4(x, y, z, t) &= x^{1-c_1} y^{1-c_2} F_{19}^{(4)}(a_1 + 2 - c_1 - c_2, a_2, 2 - c_1 - c_2 + b_1, b_2; 2 - c_1, 2 - c_2, c_3, c_3; x, y, z, t) \\
 &= x^{1-c_1} y^{1-c_2} \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1 + 2 - c_1 - c_2)_{m+n+p} (a_2)_q (2 - c_1 - c_2 + b_1)_{m+n} (b_2)_{p+q}}{(2 - c_1)_m (2 - c_2)_n (c_3)_{p+q}} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!}.
 \end{aligned}$$

The hypergeometric function $F_{20}^{(4)}$ given in (5) satisfies the following system of equations:

$$\begin{cases} x(1-x)u_{xx} - y^2u_{yy} - xzu_{xz} - 2xyu_{xy} - yzu_{yz} - (a_1 + b_1 + 1)yu_y + [c_1 - (a_1 + b_1 + 1)x]u_x \\ - b_1zu_z - a_1b_1u + tu_{xt} = 0, \\ y(1-y)u_{yy} - x^2u_{xx} - xzu_{xz} - 2xyu_{xy} - yzu_{yz} - (a_1 + b_1 + 1)xu_x + [c_2 - (a_1 + b_1 + 1)y]u_y \\ - b_1zu_z - a_1b_1u = 0, \\ z(1-z)u_{zz} - xzu_{xz} - yzu_{yz} + [c_3 - (a_1 + b_2 + 1)z]u_z - (xu_x + yu_y + a_1u)b_2 = 0, \\ (1-t)tu_{tt} + xu_{xt} + [c_1 - (a_2 + b_3 + 1)t]u_t - a_2b_3u = 0. \end{cases} \quad (19)$$

Here $u(x, y, z, t) = F_{20}^{(4)}(a_1, a_2, b_1, b_2, b_3; c_1, c_2, c_3; x, y, z, t)$. The system of differential equations (19) has four linearly independent solutions of the form:

$$\begin{aligned} u_1(x, y, z, t) &= F_{20}^{(4)}(a_1, a_2, b_1, b_2, b_3; c_1, c_2, c_3; x, y, z, t) \\ &= \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1)_{m+n+p} (a_2)_q (b_1)_{m+n} (b_2)_p (b_3)_q}{(c_1)_{m+q} (c_2)_n (c_3)_p} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_2(x, y, z, t) &= y^{1-c_2} F_{20}^{(4)}(1-c_2 + a_1, a_2, b_1 + 1 - c_2, b_2, b_3; c_1, 2 - c_2, c_3; x, y, z, t) \\ &= \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(1-c_2 + a_1)_{m+n+p} (a_2)_q (b_1 + 1 - c_2)_{m+n} (b_2)_p (b_3)_q}{(c_1)_{m+q} (2-c_2)_n (c_3)_p} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_3(x, y, z, t) &= z^{1-c_3} F_{20}^{(4)}(1-c_3 + a_1, a_2, b_1, b_2 + 1 - c_3, b_3; c_1, c_2, 2 - c_3; x, y, z, t) \\ &= \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(1-c_3 + a_1)_{m+n+p} (a_2)_q (b_1)_{m+n} (b_2 + 1 - c_3)_p (b_3)_q}{(c_1)_{m+q} (c_2)_n (2-c_3)_p} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_4(x, y, z, t) &= y^{1-c_2} z^{1-c_3} F_{20}^{(4)}(2-c_2 - c_3 + a_1, a_2, b_1 + 1 - c_2, b_2 + 1 - c_3, b_3; c_1, 2 - c_2, 2 - c_3; x, y, z, t) \\ &= \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(2-c_2 - c_3 + a_1)_{m+n+p} (a_2)_q (b_1 + 1 - c_2)_{m+n} (b_2 + 1 - c_3)_p (b_3)_q}{(c_1)_{m+q} (2-c_2)_n (2-c_3)_p} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!}. \end{aligned}$$

The hypergeometric function $F_{31}^{(4)}$ given in (6) satisfies the following system of equations:

$$\begin{cases} (1-x)u_{xx} - xtu_{xt} - ytu_{yt} + yu_{xy}(1-x) - xu_x(a_1 + b_1 + 1) - a_1tu_t - b_1yu_y + c_1u_x - a_1b_1u = 0, \\ y(1-y)u_{yy} + x(1-y)u_{xy} - yu_y(a_1 + b_2 + 1) - b_2xu_x + c_1u_y - a_1b_2u = 0, \\ z(1-z)u_{zz} - xzu_{xz} - xtu_{xt} - ztu_{zt} - u_z(a_2z + b_1z + z - c_2) - a_2xu_x - a_2b_1u = 0, \\ t(1-t)u_{tt} - ztu_{zt} + c_3tu_t - tu_t(b_3 + 1 + a_2) - b_3zu_z - a_2b_3u = 0. \end{cases} \quad (20)$$

Where the function $u(x, y, z, t) = F_{(31)}^{(4)}(a_1, a_1, a_2, a_2, b_1, b_2, b_1, b_3; c_1, c_1, c_2, c_3; x, y, z, t)$. The system of differential equations (20) has four linearly independent solutions of the form:

$$\begin{aligned} u_1(x, y, z, t) &= F_{(31)}^{(4)}(a_1, a_1, a_2, a_2, b_1, b_2, b_1, b_3; c_1, c_1, c_2, c_3; x, y, z, t) \\ &= \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1)_{m+n} (a_2)_{p+q} (b_1)_{m+q} (b_2)_p (b_3)_q}{(c_1)_{m+n} (c_2)_p (c_3)_q} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m! n! p! q!}, \end{aligned}$$

$$u_2(x, y, z, t) = y^{(1-c_2)} F_{31}^{(4)}(a_1 + 1 - c_2, a_1 + 1 - c_2, a_2, a_2, b_1 + 1 - c_2, b_2, b_1 + 1 - c_2, b_3; c_1, c_1, 2 - c_2, c_3; x, y, z, t) = y^{1-c_2} \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1 + 1 - c_2)_{m+n} (a_2)_{p+q} (b_1 + 1 - c_2)_{m+q} (b_2)_p (b_3)_q}{(c_1)_{m+n} (2 - c_2)_p (c_3)_q} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m!n!p!q!},$$

$$u_3(x, y, z, t) = y^{(1-c_3)} F_{31}^{(4)}(a_1, a_1, a_2 + 1 - c_3, a_2 + 1 - c_3, b_1 + 1 - c_3, b_2, b_1 + 1 - c_3, b_3; c_1, c_1, c_2, 2 - c_3; x, y, z, t) = \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1)_{m+n} (a_2 + 1 - c_3)_{p+q} (b_1 + 1 - c_3)_{m+q} (b_2)_p (b_3)_q}{(c_1)_{m+n} (c_2)_p (2 - c_3)_q} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m!n!p!q!},$$

$$u_4(x, y, z, t) = y^{(1-c_2)} t^{(1-c_3)} F_{31}^{(4)}(a_1 + 1 - c_2, a_1 + 1 - c_2, a_2 + 1 - c_3, a_2 + 1 - c_3, b_1 + 2 - c_2 - c_3, b_2, b_1 + 2 - c_2 - c_3, b_3, c_1, c_1, 2 - c_2, 2 - c_3; x, y, z, t) = \sum_{m,n,p,q=0}^{\infty} \frac{(a_1 + 1 - c_2)_{m+n} (a_2 + 1 - c_3)_{p+q} (b_1 + 2 - c_2 - c_3)_{m+q} (b_2)_p (b_3)_q}{(c_1)_{m+n} (2 - c_2)_p (2 - c_3)_q} \frac{x^m y^n z^p t^q}{m!n!p!q!}.$$

Discussion

The results of this work demonstrate that hypergeometric functions of four variables have not only theoretical but also applied potential. They can be used to describe multidimensional wave processes, heat conduction, and potential fields. Of particular interest are problems related to the analytical continuation of solutions, determining their regions of convergence, and studying stability under boundary conditions, all of which have direct implications for physical modeling.

However, existing limitations must also be considered. The radius of convergence of general solutions, their asymptotic behavior, and the properties of functions in the vicinity of singular points for real parameter values have not yet been sufficiently studied. Conducting such an analysis will not only expand our understanding of the theory of special functions but also yield new results in the fields of spectral analysis and function spaces.

In the future, an important area of research could be the search for integral representations of the functions under consideration, the study of their orthogonal properties, and the development of numerical methods for constructing approximate solutions. Furthermore, the extension of the obtained results to q -hypergeometric analogs, multicomponent systems, and operator equations appears promising, opening up significant opportunities for further theoretical and applied developments.

Thus, the presented work not only describes new classes of multidimensional hypergeometric functions but also forms the basis for improving analytical and computational methods for their study. The obtained results make a significant contribution to the development of the theory of special functions, spectral analysis, and mathematical physics, deepening the understanding of their role in solving applied problems.

Conclusion

This study investigates the solution of a system of second-order partial differential equations governing four-variable hypergeometric functions, specifically: $F_{16}^{(4)}$, $F_{18}^{(4)}$, $F_{19}^{(4)}$, $F_{20}^{(4)}$ and $F_{31}^{(4)}$. Linearly independent solutions for these systems have been derived, accompanied by an in-depth analysis of their structural and analytical characteristics.

The findings underscore the significance of hypergeometric functions not only in theoretical contexts but also in practical applications. These functions prove essential for analyzing complex multidimensional systems and can be applied in areas such as mathematical physics, engineering, and computational modeling.

By representing these functions as solutions to differential systems, one can achieve a deeper understanding of their solution structures. Moreover, the current results highlight the importance of exploring multidimensional generalizations of hypergeometric functions. Solutions obtained for the four-variable case lay the groundwork for extending the theory to functions of more variables and facilitate the identification of new classes of special functions.

Future research should address the stability of these solutions under various boundary conditions, their asymptotic behavior, and potential integral representations. Such work will enhance the applicability of hypergeometric functions and their derivatives in spatial modeling, spectral analysis, and broader areas of mathematical study.

In summary, this research contributes substantially to the theory of multivariable functions and provides insights into their theoretical and practical relevance.

Список использованных источников

- [1] Appell P., Kampe de Fériet J. *Fonctions Hypergeometriques et Hyperspheriques; Polynomes d'Hermite*. – Paris: Gauthier-Villars, 1926. – 440 p. DOI: <https://doi.org/10.1088/0305-4470/35/9/311>
- [2] Erdelyi A, Magnus W, Oberhettinger F, et al. *Higher transcendental functions*. Vol. I. New York–Toronto-London: McGraw-Hill Book Company, Inc. 1953. DOI: <https://doi.org/10.1090/S0025-5718-1971-0414948-5>
- [3] [Hasanov A. The solution of the Cauchy problem for generalized Euler-Poisson-Darboux equation // Intern. J. of Appl. Math. Stat. – 2007. – Vol. 8, No. M07. – P. 30–43. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aml.2005.03.009](#)
- [4] Niukkanen A.W. Generalised hypergeometric series arising in physical and quantum chemical applications // *J. Phys. A: Math. Gen.* – 1983. – Vol. 16. – P. 1813–1825.
- [5] Candelas P., de la Ossa X., Greene P., Parkes L. A pair of Calabi-Yau manifolds as an exactly soluble super conformal theory // *Nucl. Phys.* – 1991. – Vol. B539. – P. 21–74. DOI: [https://doi.org/10.1016/0550-3213\(91\)90292-6](https://doi.org/10.1016/0550-3213(91)90292-6)
- [6] Bers L. *Mathematical Aspects of Subsonic and Transonic Gas Dynamics*. – New York: Wiley, 1958. – 176 p.
- [7] Бейтмен Г., Эрдейи А. *Высшие трансцендентные функции. Гипергеометрические функции. Функции Лежандра*. – М.: Наука, 1973. – 296 с.
- [8] Bin-Saad, MG., Hasanov, A. Linear Independent Solutions and Operational Representations for Hypergeometric Functions of Four Variables. *Hindawi Publishing Corporation, Chinese Journal of Mathematics*, – Vol.2014, (Article ID 273064), 6 p., 2014. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/273064>
- [9] Hasanov A. Fundamental solutions for degenerated elliptic equation with two perpendicular lines of degeneration // *International Journal of Applied Mathematics and Statistics*, V. 13, N. 8, 2008, pp. 41-49. DOI: <https://doi.org/10.1002/mma.9236>
- [10] [Salakhitdinov M.S., Hasanov A. A solution of the Neumann–Dirichlet boundary-value problem for generalized biaxially symmetric Helmholtz equation, ComplexVar. EllipticEqu. – 2008. – V.53. №4. – P. 355–364. DOI: https://doi.org/10.1080/17476930701769041](#)
- [11] Exton, H. *Multiple Hypergeometric Functions and Applications*. London.: Halsted Press, 1976. DOI: <https://doi.org/10.3390/sym15061132>
- [12] Sharma C., Parihar C.L. Hypergeometric functions of four variables (I) // *J. Indian Acad. Math.* – 1989. – Vol. 11, No. 2. – P. 121–133. DOI: <https://doi.org/10.12691/tjant-8-6-1>
- [13] Kampe de Fériet J. *La fonction hypergeometrique*. Paris: Gauthier-Villars, 1937. DOI: <https://doi.org/10.18514/MMN.2011.312>
- [14] Srivastava H.M., Karlsson P.W. *Multiple Gaussian Hypergeometric Series*, Halsted Press, Ellis Horwood, Chichester, UK; JohnWiley & Sons, New York, 1985. DOI: <https://doi.org/10.1155/IJMMS.2005.143>

References

- [1] Appell P., Kampe de Fériet J. *Fonctions Hypergeometriques et Hyperspheriques; Polynomes d'Hermite*. – Paris: Gauthier-Villars, 1926. – 440 p. DOI: <https://doi.org/10.1088/0305-4470/35/9/311>

- [2] Erdelyi A, Magnus W, Oberhettinger F, et al. *Higher transcendental functions*. Vol. I. New York–Toronto–London: McGraw-Hill Book Company, Inc. 1953. DOI: <https://doi.org/10.1090/S0025-5718-1971-0414948-5>
- [3] Hasanov A. The solution of the Cauchy problem for generalized Euler-Poisson-Darboux equation // *Intern. J. of Appl. Math. Stat.* – 2007. – Vol. 8, No. M07. – P. 30–43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aml.2005.03.009>
- [4] Niukkanen A.W. Generalised hypergeometric series arising in physical and quantum chemical applications // *J. Phys. A: Math. Gen.* – 1983. – Vol. 16. – P. 1813–1825.
- [5] Candelas P., de la Ossa X., Greene P., Parkes L. A pair of Calabi-Yau manifolds as an exactly soluble super conformal theory // *Nucl. Phys.* – 1991. – Vol. B539. – P. 21–74. DOI: [https://doi.org/10.1016/0550-3213\(91\)90292-6](https://doi.org/10.1016/0550-3213(91)90292-6)
- [6] Bers L. *Mathematical Aspects of Subsonic and Transonic Gas Dynamics*. -New York: Wiley, 1958. – 176 p.
- [7] Bateman G., Erdelyi A. *Vyshshie transcendentnye funktsii. Gipergeometricheskie funktsii. Funktsii Lezhandra*. [Higher transcendental functions. Hypergeometric functions. Legendre functions] Moscow: Nauka, 1973. – 296 p. (In Russian)
- [8] Bin-Saad, MG., Hasanov, A. Linear Independent Solutions and Operational Representations for Hypergeometric Functions of Four Variables. *Hindawi Publishing Corporation, Chinese Journal of Mathematics*, – Vol.2014, (Article ID 273064), 6 p., 2014. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/273064>
- [9] Hasanov A. Fundamental solutions for degenerated elliptic equation with two perpendicular lines of degeneration // *International Journal of Applied Mathematics and Statistics*, V. 13, N. 8, 2008, pp. 41-49. DOI: <https://doi.org/10.1002/mma.9236>
- [10] Salakhitdinov M.S., Hasanov A. A solution of the Neumann–Dirichlet boundary-value problem for generalized biaxially symmetric Helmholtz equation, *ComplexVar. EllipticEqu.* – 2008. – V.53. №4. – P. 355–364. DOI: <https://doi.org/10.1080/17476930701769041>
- [11] Exton, H. *Multiple Hypergeometric Functions and Applications*. London.: Halsted Press, 1976. DOI: <https://doi.org/10.3390/sym15061132>
- [12] Sharma C., Parihar C.L. Hypergeometric functions of four variables (I) // *J. Indian Acad. Math.* – 1989. – Vol. 11, No. 2. – P. 121–133. DOI: <https://doi.org/10.12691/tjant-8-6-1>
- [13] Kampe de Fariet J. *La fonction hypergeometrique*. Paris: Gauthier-Villars, 1937. DOI: <https://doi.org/10.18514/MMN.2011.312>
- [14] Srivastava H.M., Karlsson P.W. *Multiple Gaussian Hypergeometric Series*, Halsted Press, Ellis Horwood, Chichester, UK; JohnWiley & Sons, New York, 1985. DOI: <https://doi.org/10.1155/IJMMS.2005.143>

С.Д. Алпар¹ * , Р.Н. Файзулин¹ , Ф.К. Токмухамедова¹ 

¹Международный университет информационных технологий, г. Алматы, Казахстан

*e-mail: s.alpar@iitu.edu.kz

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-ИНФОРМИРОВАННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И МЕТОДА РУНГЕ-КУТТЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОДНОМЕРНЫХ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА

Аннотация

Данное исследование представляет из себя модель, описывающую физический процесс, связанный с движением газа по трубопроводам при помощи системы одномерных уравнений Эйлера. В работе будет использоваться численное решение системы уравнений Эйлера через физико-информированные нейронные сети, метод, который объединяет современные подходы моделей глубокого обучения вместе с физическими условиями задачи, которые задают дифференциальные уравнения, начальные и граничные условия. Для валидации модели будет использоваться аналитическое решение системы одномерных уравнений Эйлера, которое будет сравниваться с численным решением, полученным при помощи модели глубокого обучения в виде сравнения графиков и расчета метрик. Также для относительного сравнения этой модели будет проведено сравнение с классическим численным методом Рунге-Кутты 4 порядка, где метод глубокого обучения показал более высокое качество в сравнении с классическим методом. Полученная модель имеет высокое качество и может быть использована в моделировании газовых потоков, причем качество модели глубокого обучения было значительно выше в относительном сравнении с классическим методом Рунге-Кутты 4 порядка, что подчеркивает эффективность и новизну использования методов глубокого обучения в сравнении с классическими методами.

Ключевые слова: глубокое обучение, уравнения Эйлера, физико-информированные нейронные сети, вычислительная гидродинамика.

С.Д. Алпар¹, Р.Н. Файзулин¹, Ф.К. Токмухамедова¹

¹Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы қ., Қазақстан

ЭЙЛЕРДІҢ БІР ӨЛШЕМДІ ТЕНДЕУЛЕРІН ШЕШУ ҮШІН ФИЗИКА-АҚПАРАТТАНДЫРЫЛҒАН НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІЛЕР МЕН РУНГЕ-КУТТА ӘДІСІНІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ

Аңдатпа

Бұл зерттеу бір өлшемді Эйлер тендеулер жүйесін қолдана отырып, құбырлар арқылы газдың қозғалысымен байланысты физикалық процесті сипаттайтын модель болып табылады. Бұл жұмыста физика-ақпараттандырылған нейрондық желілер арқылы Эйлер тендеулер жүйесінің сандық шешімі қолданылады, бұл әдіс дифференциалдық тендеулерді, бастапқы және шекаралық шарттарды белгілейтін есептердің физикалық жағдайларымен бірге терең оқыту модельдерінің заманауи тәсілдерін біріктіреді. Модельді тексеру үшін Эйлердің бір өлшемді тендеулер жүйесінің аналитикалық шешімі қолданылады, ол графиктерді салыстыру және метрикаларды есептеу түрінде терең оқыту моделінің көмегімен алынған сандық шешіммен салыстырылады. Сондай-ақ, осы модельді салыстырмалы салыстыру үшін классикалық 4-ші ретті Рунге-Кутта (РК4) сандық әдісімен салыстыру жүргізіледі, мұнда терең оқыту әдісі классикалық әдіспен салыстырғанда жоғары сапаны көрсетті. Алынған модель жоғары сапаға ие және оны газ ағындарын модельдеуде қолдануға болады, ал терең оқыту моделінің сапасы классикалық РК4 әдісімен салыстырғанда анағұрлым жоғары болды, бұл классикалық әдістермен салыстырғанда терең оқыту әдістерін қолданудың тиімділігі мен жаңалығын көрсетеді.

Түйін сөздер: терең оқыту, Эйлер тендеулері, физика-ақпараттандырылған нейрондық желілер, есептеу гидродинамикасы.

S.D. Alpar¹, R.N. Faizulin¹, F.K. Tokmukhamedova¹

¹International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

COMPARATIVE ANALYSIS OF PHYSICS-INFORMED NEURAL NETWORKS AND THE RUNGE-KUTTA METHOD FOR SOLVING ONE-DIMENSIONAL EULER EQUATIONS

Abstract

This study presents a model describing the physical process associated with gas flow through pipelines using a system of one-dimensional Euler equations. In this work the numerical solution of the system of Euler equations through physically informed neural networks is used, a method that combines modern approaches of deep learning models together with the physical conditions of the problem, which specify the differential equations, initial and boundary conditions. For the validation of the model, the analytical solution of the system of one-dimensional Euler equations will be used and compared with the numerical solution obtained by the deep learning model in the form of graph comparison and metrics calculation. Also, for the relative comparison of this model will be compared with the classical 4-th order Runge-Kutta (RK4) numerical method, where the deep learning method showed higher quality compared to the classical method. The obtained model is of high quality and can be used in gas flow modeling, and the quality of the deep learning model was significantly higher in relative comparison with the classical RK4 method, which emphasizes the effectiveness and novelty of using deep learning methods in comparison with classical methods.

Keywords: deep learning, Euler equations, physically informed neural networks, computational fluid dynamics.

Введение

Основные положения. В исследовании разработана модель для описания движения газа по трубопроводам на основе системы одномерных уравнений Эйлера с использованием физико-информированных нейронных сетей (PINN). Для валидации модели проведено сравнение численного решения, полученного с помощью PINN, с аналитическим решением и классическим методом Рунге-Кутты 4-го порядка. Результаты показали, что метод глубокого обучения обеспечивает более высокое качество моделирования по сравнению с традиционными численными методами, так как учитывает физические условия задачи. Это подтверждает эффективность использования PINN в вычислительной гидродинамике и демонстрирует их преимущество перед классическими подходами.

Прогноз поведения газа в трубопроводах при помощи моделей глубокого обучения и вычислительной гидродинамики способствует эффективному распределению и транспортировке газа, оказывая эффект на оптимизацию инфраструктуры и различных отраслей промышленности, связанных с транспортными системами.

Математическая модель, которая способна описывать физический процесс связан с движением газа по трубопроводам, с учетом сохранения массы, импульса и энергии движения жидкости, представляет из себя систему одномерных уравнений Эйлера [1,2] в частных производных. При помощи современных численных методов [3-5] можно с высокой точностью смоделировать основные физические величины, такие как плотность, давление и скорость, принимая во внимание эффекты турбулентности и распространение ударных волн в трубопроводах.

В данной статье физико-информированные нейронные сети [6-10] будут использоваться в качестве численной модели, решающей систему одномерных уравнений Эйлера. Архитектура модели представляет из себя полносвязанные нейронные сети, где в качестве функции потерь используется взвешенная сумма [11] среднеквадратичных ошибок от физического уравнения и ошибок начальных и граничных условий. Эффективность модели оценена при помощи валидации с аналитическим решением в виде расчета метрик и графического сравнения графиков, где модель показала высокое качество. Также было проведено сравнение с классическим численным методом Рунге-Кутты 4 порядка (РК4), где метод глубокого обучения смог показать более высокие показатели в относительном сравнении для метрики L_∞ , что является нормой, измеряющей точность и определяется следующим образом:

$$L_{\infty} = \|\hat{u} - u\|$$

где $\hat{u}$ и u — аналитическое и численное решения соответственно.

Методология исследования

Система одномерных уравнений Эйлера описывает физический процесс, связанный с движением газа в трубопроводах. Физический процесс наблюдается на временном множестве $t \in [0, 0.1]$ и пространственном множестве $x \in [0, 1]$. Уравнение неразрывности в системе описывает сохранение общей массы в объеме жидкости в течение всего времени и записывается в следующем виде:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

где ρ [кг/м³] – плотность газа, u [м/с] – компонент скорости потока.

Уравнение импульса в системе, объясняемое законами движения Ньютона, формирует ударную волну и влияет на ускорение потока газа и записывается в следующем виде:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2 + p)}{\partial x} = 0, \quad (2)$$

где p - давление, [кг/мс²].

Последним уравнением в системе является уравнение энергии, вытекающее из принципов сохранения энергии, и описывающее сохранение энергии в потоках жидкости и имеющее вид:

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial[u(E + p)]}{\partial x} = 0, \quad (3)$$

где E - энергия, [Дж/м³], и γ – удельная теплоемкость равная 1.4:

$$E = \frac{p}{\gamma - 1} + \frac{1}{2}\rho u^2, \quad (4)$$

Начальные условия задаются в виде следующей системы, граничные условия принимают те же значения в обоих концах отрезка:

$$(\rho, u, p)_{t=0} = \begin{cases} (1, 0, 1), & 0 \leq x \leq 0.5, \\ (0.125, 0, 0.1), & 0.5 \leq x \leq 1, \end{cases} \quad (5)$$

Систему в общей форме можно переписать в следующем виде для дальнейшего моделирования:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \mathcal{N}[U; \lambda] = 0, \quad x \in \Omega, t \in [0, t_f], \quad (6)$$

$$U(x, 0) = \mathcal{I}(x), \quad x \in \Omega, \quad (7)$$

$$U(x, t) = \mathcal{B}(t), \quad x \in \partial\Omega, t \in [0, t_f], \quad (8)$$

где операторы $\mathcal{I}(\cdot)$, $\mathcal{B}(\cdot)$, $\mathcal{N}(\cdot)$ представляют из себя операторы начального условия, граничного условия и оператор пространственных производных уравнения, соответственно.

Вместе с λ - параметром дифференциального уравнения и t_f - общим временем физического эксперимента, где начальные условия определены в области Ω , а граничные условия в области $\partial\Omega$.

Для физико-информированных нейронных сетей обозначим функцию $f(x, t)$ в следующем виде:

$$f(x, t) = \frac{\partial U}{\partial t} + \mathcal{N}[U; \lambda] = \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{\rho}{E} u \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\rho u}{u(E + p)} \right] = 0, \quad (9)$$

где функция потерь, представляющая из себя взвешенную среднеквадратичную сумму ошибок, будет иметь вид:

$$\mathcal{L} = (1 - \alpha)(\mathcal{L}_I + \mathcal{L}_B) + \alpha \mathcal{L}_F, 0 \leq \alpha \leq 1, \quad (10)$$

где отдельные функции потерь для начального $\mathcal{L}_I$ и граничных условий $\mathcal{L}_B$ вместе с физической функцией потерь $\mathcal{L}_F$, соответственно, принимают вид:

$$\mathcal{L}_I = \frac{1}{N_I} \sum_{i=1}^{N_I} (\mathcal{I}(x_I^i) - U(x_I^i, t_I^i))^2, \quad (11)$$

$$\mathcal{L}_B = \frac{1}{N_B} \sum_{i=1}^{N_B} (\mathcal{B}(t_B^i) - U(x_B^i, t_B^i))^2, \quad (12)$$

$$\mathcal{L}_F = \frac{1}{N_F} \sum_{i=1}^{N_F} f(x_F^i, t_F^i)^2. \quad (13)$$

Далее, при помощи алгоритма оптимизации ADAM параметры модели будут находиться в следующем виде:

$$\theta^* = \arg \min_{\theta} \mathcal{L}(\theta), \quad (14)$$

Для классического численного метода использован метод РК4 для интегрирования по времени, для уравнения вида:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \mathcal{N}[U], \quad (15)$$

Шаги для метода РК4 записываются в виде:

$$\begin{aligned} U^{(1)} &= U^n + \frac{\Delta t}{2} \mathcal{N}^n \\ U^{(2)} &= U^n + \frac{\Delta t}{2} \mathcal{N}^{(1)} \\ U^{(3)} &= U^n + \Delta t \mathcal{N}^{(2)} \\ U^{n+1} &= U^n + \frac{\Delta t}{6} (\mathcal{N}^n + 2\mathcal{N}^{(1)} + 2\mathcal{N}^{(2)} + \mathcal{N}^{(3)}), \end{aligned} \quad (16)$$

Так как, схема РК4 аппроксимирует только время, необходимы схемы для аппроксимации конвективных и вязких пространственных производных, которые обеспечат второй порядок по пространству.

Схема “против потока” для конвективных слагаемых:

$$-u \frac{\partial \xi_i^t}{\partial x} = -\frac{u_R \xi_R - u_L \xi_L}{\Delta x}, \quad (17)$$

Где значения u_R и u_L определяются как среднее между узловыми точками:

$$u_R = \frac{u_i^t + u_{i+1}^t}{2}, u_L = \frac{u_i^t + u_{i-1}^t}{2}, \quad (18)$$

Функции ξ_R и ξ_L , зависящие от знаков u_R и u_L , определяются следующим образом:

$$\xi_R = \begin{cases} \xi_i^t, u_R \geq 0 \\ \xi_{i+1}^t, u_R < 0 \end{cases}, \xi_L = \begin{cases} \xi_{i-1}^t, u_L \geq 0 \\ \xi_i^t, u_L < 0 \end{cases}, \quad (19)$$

Центральная разностная схема для вязких слагаемых:

$$\frac{\Delta F(u)_i^t}{\Delta x} = \frac{F(u)_{i+1}^t - F(u)_{i-1}^t}{2\Delta x}, \quad (20)$$

Для обеспечения устойчивости по времени используется условие Куранта-Фридрихса-Леви (CFL), которое пересчитывается на каждой итерации по времени n :

$$s_{max}^{(n)} = \max_i \left[|u_i^n| + \sqrt{\frac{\gamma p_i^n}{\rho_i^n}} \right], \quad \Delta t^{(n)} = \frac{CFL \Delta x}{s_{max}^{(n)}}, \quad (21)$$

Результаты исследования

Для обучения модели глубокого обучения были использованы следующие гиперпараметры: конфигурация нейронной сети, количество итераций, скорость обучения, коэффициент α для балансировки функций ошибок, функция активации σ , количество точек для физической ошибки, начальных и граничных условий, N_F , N_I , N_B , соответственно и количество точек для пространства и времени N_x , N_t . Список гиперпараметров и их значения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Входные значения для модели глубокого обучения

Конфигурация Н.С.	Кол-во итераций	Скорость обучения	α	$\sigma(\cdot)$	N_F	N_I	N_B	N_x	N_t
[9 × 20]	42500	$3,25 \times 10^{-4}$	5×10^{-4}	Tanh	14000	40	60	256	256

Поиск гиперпараметров был реализован через grid search [7, 11], наиболее лучшие результаты для скорости обучения и коэффициента α дают маленькие значения (10^{-3} , 10^{-4} и т.д.), что обеспечивает более устойчивое решение и снижает переобучение, для функции активации практически всегда наилучшим выбором является Tanh. В качестве конфигурации нейронной сети лучше всего использовать большее количество слоев (от 5 до 10 слоев), с небольшим количеством нейронов в слоях (от 20 до 32 нейронов). На рисунке 1 изображено решение системы уравнений Эйлера в аналитическом виде, и численном видах для методов

глубокого обучения и метода РК4 для временных значений $t = 0.08, 0.09, 0.1$ для физических характеристик плотности ρ , скорости u , и давления p .

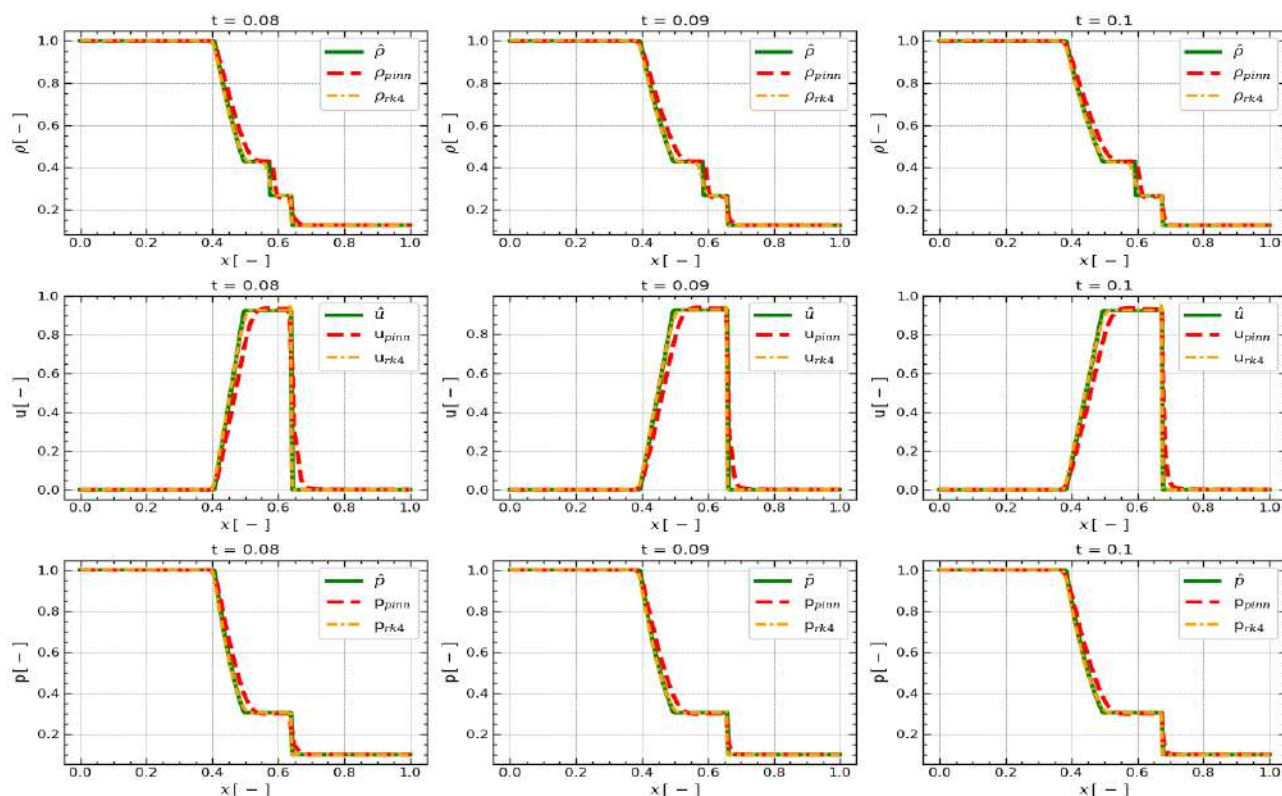


Рисунок 1. Решение уравнений Эйлера для временных значений $t = 0.08, 0.09, 0.1$, где (ρ, u, p) численные решения и $(\hat{\rho}, \hat{u}, \hat{p})$ точное решение

Данные графики иллюстрируют эффективность метода глубокого обучения в основных профилях физических характеристик для разных временных значений и способность модели описывать физический процесс. Также в сравнении с методом РК4 модель глубокого обучения показывает более гладкие профили для скорости и давления, уменьшая колебания. В таблице 2 приведены расчеты метрик L_∞ для методов глубокого обучения и РК4.

Таблица 2. Сравнительный анализ метрик для моделей

Модель	Плотность L_∞	Скорость L_∞	Давление L_∞
Физико-информированная нейронная сеть	0,019	0,163	0,026
РК4	0,089	0,447	0,121

Дискуссия

Исходя из этих расчетов, модель глубокого обучения превосходит модель РК4, имея более низкие показатели для метрики L_∞ для физических характеристик плотности, скорости и давления. В относительном сравнении с РК4 для показателей плотности, скорости и давления значения метрик L_∞ меньше на 78.62 %, 63.47 %, 78.47 % для модели глубокого обучения.

Для данной задачи и набора параметров метод PINN показал более высокую точность в сравнении с классическим методом РК4. Преимущества PINN – лучшая обобщающая способность и возможность напрямую адаптировать функцию потерь под граничные условия. Однако в сравнении с методом РК4, который является более простым в реализации, метод PINN требует анализа в выборе архитектуры модели и настройки гиперпараметров.

Заключение

В данной статье был рассмотрен физический процесс движения газа в трубопроводе. Была приведена математическая модель системы одномерных уравнений Эйлера, где было описано каждое уравнение и его физический смысл относительно всей системы и общего физического процесса, также был приведен общий вид этой проблемы.

Физико-информированные нейронные сети были использованы в качестве метода для моделирования задачи, где была описана методология использования полносвязанных нейронных сетей для решения уравнений в частных производных. Была описана функция потерь, необходимая для настройки параметров модели, которая представляет из себя взвешенную сумму среднеквадратичных ошибок, совмещающую в себе физическую ошибку и ошибки начальных и граничных условий, также были приведены входные данные необходимые для обучения модели. В ходе сравнительного анализа графиков и расчета метрик с аналитическим решением и численным решением метода РК4 было установлено высокое качество модели, где модель глубокого обучения имела более низкие ошибки по сравнению с РК4 и более гладкие профили.

Тем самым результаты моделирования одномерных уравнений Эйлера при помощи модели глубокого обучения дает важное представление о поведении и общей физики процесса, связанного с движением газа в трубопроводе, отражая распространение ударных волн и динамические характеристики потока для плотности, скорости и давления.

References

- [1] Lora-Clavijo, F. D., Cruz-Pérez, J. P., Guzmán, F. S., González, J. A. Exact solution of the 1D riemann problem in Newtonian and relativistic hydrodynamics // *Revista Mexicana De Física E.* – 2013. – Vol. 59(1). – P. 28–50. URL: http://rmf.smf.mx/pdf/rmf-e/59/1/59_1_28.pdf
- [2] Endres, E. E., Jenssen, H. K. COMPRESSIBLE 1D EULER EQUATIONS WITH LARGE DATA: a CASE STUDY // *Journal of Hyperbolic Differential Equations.* – 2009. – Vol. 06(02). – P. 389–406. <https://doi.org/10.1142/s0219891609001800>
- [3] Teixeira, F. L., Sarris, C., Zhang, Y., Na, D., Berenger, J., Su, Y., Okoniewski, M., Chew, W. C., Backman, V., Simpson, J. J. Finite-difference time-domain methods // *Nature Reviews Methods Primers* – 2023. – Vol. 3(1). <https://doi.org/10.1038/s43586-023-00257-4>
- [4] High-Order Numerical Schemes for Compressible Flows // *TU Delft Repository* – 2016. [Tudelft.nl. URL: https://repository.tudelft.nl/record/uuid:e4297489-60e2-403e-a246-1b1ea4c4ea63](https://repository.tudelft.nl/record/uuid:e4297489-60e2-403e-a246-1b1ea4c4ea63)
- [5] Droniou, J. Finite volume schemes for diffusion equations: Introduction to and review of modern methods // *Mathematical Models and Methods in Applied Sciences.* – 2014. – Vol. 24(08). – P. 1575–1619. <https://doi.org/10.1142/s0218202514400041>
- [6] T. Rabczuk, K.-J. Bathe (Eds.). *Machine Learning in Modeling and Simulation. In Computational Methods in Engineering & the Sciences.* Springer International Publishing. – 2023. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-36644-4>
- [7] Raissi, M., Perdikaris, P., Karniadakis, G. E. Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations // *Journal of Computational Physics.* – 2019. – Vol. 378. – P. 686–707. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2018.10.045>
- [8] Markidis, S. The Old and the New: Can Physics-Informed Deep-Learning Replace Traditional Linear Solvers? // *Frontiers in Big Data.* – 2021. – Vol. 4. <https://doi.org/10.3389/fdata.2021.669097>
- [9] Faroughi, S. A., Ramin Soltanmohammadi, Datta, P., Seyed Kourosh Mahjour, Shirko Faroughi. Physics-Informed Neural Networks with Periodic Activation Functions for Solute Transport in Heterogeneous Porous Media // *Mathematics.* – 2023. – Vol. 12(1). P.63. <https://doi.org/10.3390/math12010063>
- [10] Wang, Y., Zhong, L. NAS-PINN: Neural architecture search-guided physics-informed neural network for solving PDEs // *Journal of Computational Physics.* – 2024. – Vol. 496. – P. 112603. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2023.112603>
- [11] de Wolff, T., Carrillo, H., Martí, L., Sanchez-Pi, N. Towards Optimally Weighted Physics-Informed Neural Networks in Ocean Modelling // *ArXiv.org.* – 2021. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.08747>

Т.С. Картбаев¹, А.Е. Исмаилов³, А.А. Тұрғынбаева^{2,3}, В.Ж. Керімбаева³

¹Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

³Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: turgunbayeva.aliza@mail.ru

ЦИФРЛЫҚ ЖОБАЛАРҒА АРНАЛҒАН ИНВЕСТИЦИЯЛЫҚ ШЕШІМДЕРДІ ҚОЛДАУ ЖҮЙЕСІНДЕГІ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ОЙЫНДАРДЫ ҚОЛДАНУ

Аңдатпа

Мақалада кәсіпорындарды цифрландыру жобаларына инвестиция салуда шешім қабылдауды қолдау жүйесінің моделі ұсынылған. Модельдің негізі ретінде сызықтық емес дифференциалдық ойындар теориясы алынған, бұл инвесторлар арасындағы белгісіздік пен бәсекелестік жағдайындағы қарсы әрекет ету процесін формализациялауға мүмкіндік береді. Өзірленген тәсіл Рунге–Кутта әдісі арқылы сандық шешім қолдану арқылы қаржыландырудың ұтымды стратегияларын табуға жол ашады. Тұрақты және айнымалы параметрлері бар модельдер үшін есептеу эксперименттері жүргізілді. Нәтижелер ұсынылған модельдің кәсіпорындардың цифрлық трансформациясы саласында инвестициялық шешімдерді қолдау үшін тиімділігін растады. Бұл мақалада көп факторды ескере отырып, кәсіпорынды цифрландыру саласындағы жобаларға тұрақты инвестициялар салу мүмкіндігі қарастырылады. Аталған мәселені шешуге бағытталған мақала ғылыми да, тәжірибелік тұрғыдан да өзекті болып табылады. Көпфакторлылықты ескере отырып, сызықтық емес дифференциалдық ойындар класы қарастырылды, бұл кәсіпорындарды цифрландыру жобаларындағы инвестициялық процесті дәл сипаттауға мүмкіндік берді. Бұл инвесторға инвестициялық стратегияларды талдап, ұтымды шешімдер қабылдауға жағдай жасайды.

Түйін сөздер: цифрлық технологиялар, инвестор, инвестициялық жоба, бисызықтық дифференциалдық ойындар, Рунге-Кутте әдісі.

Т.С. Қартбаев¹, А.Е. Исмаилов³, А.А. Тұрғынбаева^{2,3}, В.Ж. Керимбаева³

¹Казахский национальный женский педагогический университет, г.Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан

³Алматинский технологический университет, г.Алматы, Казахстан

ПРИМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ИГР В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ ПО ЦИФРОВЫМ ПРОЕКТАМ

Аннотация

В статье представлена модель системы поддержки принятия решений при инвестициях в проекты цифровизации предприятий с учётом множества факторов. Основой модели выступает теория нелинейных дифференциальных игр, что позволяет формализовать процесс противодействия между инвесторами, принимающими решения в условиях неопределённости и конкуренции. Разработанный подход позволяет находить рациональные стратегии финансирования с применением численного решения через метод Рунге-Кутта. Проведены вычислительные эксперименты для моделей с постоянными и переменными параметрами. Результаты подтверждают эффективность предложенной модели для поддержки инвестиционных решений в области цифровых трансформаций предприятий. В данной статье с учетом множества факторов рассматривается возможность осуществления постоянных инвестиций в проекты в области цифровизации предприятия. Статья, направленная на решение данной проблемы, представляет актуальный научный и практический интерес. С учетом многофакторности рассмотрен класс нелинейных дифференциальных игр, который позволил точно описать инвестиционный процесс в проектах в области цифровизации предприятий. Это позволяет инвестору анализировать и находить рациональные инвестиционные стратегии.

Ключевые слова: цифровые технологии, инвестор, инвестиционный проект, нелинейные дифференциальные игры, метод Рунге-Кутте.

T. Kartbaev¹, A. Ismailov³, A. Turgynbaeva^{2,3}, V.Zh. Kerimbaeva³

¹Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

²Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan

³Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

THE APPLICATION OF DIFFERENTIAL GAMES IN THE SYSTEM OF SUPPORTING INVESTMENT DECISIONS FOR DIGITAL PROJECTS

Abstract

The article presents a model of a decision support system for investments in enterprise digitalization projects, taking into account multiple factors. The model is based on the theory of nonlinear differential games, which makes it possible to formalize the process of opposition between investors making decisions under conditions of uncertainty and competition. The developed approach allows for finding rational financing strategies using a numerical solution through the Runge–Kutta method. Computational experiments were carried out for models with constant and variable parameters. The results confirm the effectiveness of the proposed model for supporting investment decisions in the field of enterprise digital transformations. In this article, considering multiple factors, the possibility of implementing continuous investments in enterprise digitalization projects is examined. The paper, aimed at solving this problem, is of both scientific and practical relevance. Taking into account the multifactorial nature, a class of nonlinear differential games was considered, which made it possible to accurately describe the investment process in enterprise digitalization projects. This enables the investor to analyze and identify rational investment strategies.

Keywords: digital technologies, investor, investment project, nonlinear differential games, Runge-Kutte method.

Кіріспе

Қазақстанның қоғамдық өмірінің барлық салаларында қазіргі заманғы ақпараттық-коммуникациялық технологияларды енгізу процесін арттыру, цифрлық экономиканы және Ұлттық ақпараттық инфрақұрылымды дамыту, оны әлемдік ақпараттық кеңістікке интеграциялау «Цифрлық Қазақстан» мемлекеттік бағдарламасының басым міндеттері болып табылады. Сонымен қатар, соңғы жылдары инвесторлар, АТ кәсіпорындары, мемлекеттік құрылымдар және басқа да қатысушылардың қатысуымен ақпараттық технологиялар саласындағы ұйымдардың өзара байланысының жаңа ұйымдастыру нысандарын құру процесін белсенділендіру тенденциясы бақылануда.

Цифрлық технологиялар – бұл ақпараттық қоғамдағы өмірге бейімделген тұлғаны тәрбиелеуді, тәрбиелеуді қарқындату және оңтайландыру мәселелерін табысты шешетін құрал. Цифрлық әлемге өту соңғы екі онжылдықтан аса уақытта қарқынды дамып келеді. Бүгінгі күні цифрлық технологиялар жаһандық экономикалық дамудың негізгі факторларының біріне айналып отыр.

Отандық цифрландыру саласындағы инвестициялық жобаларды бағалауға арналған ШҚҚЖ-рі аз не жоқ деп айтуға болады, сондықтанда осындай жобаларды бағалаудың тиімділігі мен нәтижесін арттыру үшін әртүрлі ШҚҚ-дың компьютерлік жүйелерін енгізу керекпіз [1].

Демек, инвестициялық жобаларды, атап айтқанда кәсіпорындарды цифрландыру саласында бағалау үшін шешім қабылдауға қолдау көрсетудің компьютерлік жүйелерін құрудың модельдері мен әдістерін дамыту өзекті міндет болып қала береді. Мақаланың өзектілігі кәсіпорындарды цифрландыру үдерісінің жедел қарқынмен дамуы және осы саладағы инвестициялық шешімдердің күрделенуімен байланысты. Инвестициялық жобаларды іске асыру барысында белгісіздік, тәуекел және инвесторлар арасындағы бәсекелестік факторлары шешім қабылдауды ғылыми тұрғыдан негіздеуді талап етеді. Осы тұрғыдан алғанда, көпфакторлы инвестициялық процестерді сипаттауда сызықтық емес дифференциалдық ойындар теориясын қолдану маңызды ғылыми мәнге ие. Ұсынылып отырған зерттеу цифрлық жобаларға инвестиция салуда ұтымды стратегияларды анықтауға мүмкіндік беретін шешім қабылдауды қолдау жүйелерін дамытуға бағытталған.

Кәсіпорынды цифрландрумен байланысты жобаларды инвестициялауға тырысатын екі инвесторлар тобы болды. Инвесторлардың әрбір тобы біртұтас ретінде әрекет етеді, осы ретте, топтағы әрбір инвестор белгілі цифрлық технологияны қаржыландырады деп есептеуге болады. Біздің ойымызша, бірінші топ бірінші инвестор, ал екінші топ екінші инвестор, біз қойылым үшін инвесторлардың қаржы ағындарының өзгерісін белгілейтін көп өлшемді кеңістіктердегі динамикалық жүйені басқарады. Жүйе тәуелді қозғалыстары бар бисызықтық көп сатылы теңдіктер жүйесімен берілген. (U) және (V) инвесторларының стратегияларының жиынтығы анықталып, S_0, F_0 терминалды беттері беріледі. Бірінші инвестордың мақсаты (қатарына инвестициялау объектісі компаниясының басшылығын да жатқызуға болатын инвесторлар тобы, одан кейін – $Inv1$) екінші инвестор қалай әрекет етпесін ($Inv2$) S_0 терминалды бетіне өзінің басқару стратегияларының көмегімен динамикалық жүйені келтіру. Екінші инвестордың $Inv2$ (немесе инвесторлар тобының) мақсаты $Inv1$ қалай әрекет етпесін, динамикалық жүйенің өзінің басқару стратегиясының көмегімен F_0 -ге алып келу.

Мақалада бірінші инвестор-одақтастың көзқарасы тұрғысынан болатын мәселе қарастырылады. Екінші инвестор-одақтастың көзқарасы тұрғысынан болатын мәселені қарастырмаймыз, себебі, оның шешімі ұқсас, симметриялық салдарынан болады. Шешімі объектілерге жүйені қандай да болмасын бетіне келтіруге мүмкіндік беретін инвесторлардың және оның стратегияларының бастапқы күйлерінің жиынтығын табуда негізделеді.

Бірінші инвестор $(h_1(t), h_2(t))$ қаржылық ресурстардың екі өлшемді векторымен берілетін, ал екінші инвестор $f(t)$ қаржы ресурстарының бір өлшемді векторымен берілетін инвестициялау процесін басқаратын дифференциалдық теңдеулер жүйесі екі дифференциалдық теңдеуден тұратын шартқа арналған мысалды келтіреміз.

Зерттеу мақсаты бірінші және екінші инвестор-одақтас тараптардың көзқарастары тұрғысынан екі есепті қалыптастырудан тұрады [2]. Молюков В.П. еңбектеріне сәйкес, (1) теңдеуімен берілетін динамикалық жүйе келесі түрде жазылады:

$$\begin{cases} dh_1(t)/dt = -h_1(t) + (1 - u_1(t)) \cdot h_1(t) - 2 \cdot v(t) \cdot f(t), \\ dh_2(t)/dt = -h_2(t) + (1 - u_2(t)) \cdot h_2(t) - 2 \cdot v(t) \cdot f(t), \\ df(t)/dt = -f(t) + (1 - v(t)) \cdot 2 \cdot f(t) - u_1(t) \cdot h_1(t) - u_2(t) \cdot h_2(t); \end{cases} \quad (1)$$

Зерттеу әдіснамасы

Красовский Н.Н. еңбектеріне сүйене отырып, аяқталу уақыты алдын ала берілген T және функционалы φ анықталған дифференциалдық ойынды қарастырайық. Мұндай ойынды кеңейтілген $\{t, x^*\} = \{t, x, x_{n+1}\}$ кеңістігінде φ^* функционалы бар минимакс–максимин типті функционалдық ойынға келтіруге болады.

Осыдан кейін $t_0 \leq t \leq T$ аралығында шектік шартты қанағаттандыратын үздіксіз функцияның бар екенін ұйғарайық. Бұл жағдайда кеңейтілген кеңістікте анықталатын $E(t, x^*)$ функциясын табу талап етіледі, ал ол функция үшін шектік шарт белгілі бір түрде беріледі.

$$E^*(T, x^*) = \sigma^*(x^*) = \sigma(x) + x_{n+1} \quad (2)$$

$E^*(t, x^*)$ функциясын құру барысында x_{n+1} координатасы аддитивтік түрде енгізіледі. Осыған байланысты кеңейтілген кеңістіктегі $E^*(t, x^*)$ функциясын бастапқы айнымалылар бойынша жіктеп көрсетуге болады. Нәтижесінде, аталған функция аддитивтік құрылымға ие болып, оны тиісті түрде келесі функционалдық өрнек түрінде анықтауға мүмкіндік туады.

$$E^*(t, x^*) = E(t, x) + x_{n+1} \quad (3)$$

Н.Н. Красовскийдің тиісті теоремасына сәйкес, $U^0 \div u^0(t, x)$ және $V^0 \div v^0(t, x)$ оңтайлы стратегияларының жеткілікті шарттарын тұжырымдауға болады.

Теорема 1. $E(t, x) = \sigma(t, x)$ аралығында берілген шектік $t_0 \leq t \leq T$ шартын қанағаттандыратын үздіксіз $E(t, x)$ функциясы бар деп ұйғарайық. Сонымен қатар, $t_0 < t < T$ аймағында бұл функцияның барлық айнымалылар бойынша үздіксіз жеке туындылары бар және ол аталған облыста қойылған қажетті шарттарды орындайды деп есептейік.

$$\min_{u \in P} \max_{v \in Q} \left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial E}{\partial x_i} M_i(t, x, u, v) + \aleph(t, x, u, v) + \frac{\partial E}{\partial t} \right) = \\ = \max_{v \in Q} \min_{u \in P} \left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial E}{\partial x_i} M_i(t, x, u, v) + \aleph(t, x, u, v) + \frac{\partial E}{\partial t} \right) = 0 \quad (4)$$

$t_0 \leq t < T$ аймағында анықталған, берілген шарттарды қанағаттандыратын $U^0 \div u^0(t, x)$ және $V^0 \div v^0(t, x)$ стратегиялары болсын.

Онда берілген $\{t_0, x_0\}$ бастапқы позиция үшін U^0, V^0 стратегиялары φ минимакс–максимин функционалының дифференциалды ойынның $\{U^0, V^0\}$ тең нүктесін құрайды.

$E(t, x)$ функциясын $E^*(t, x^*) = E(t, x) + x_{n+1}$ алмастыруға болады, егер $x_{n+1,0} = 0$ болғанда.

Біз қарастырып отырған дифференциалды теңдеудің $E^*(t, x^*) = E^*, x, x_{n+1}$ функциясы үшін жеке туындысы келесі теңдеу болады.

$$\min_{u \in P} \max_{v \in Q} \left(\sum_{i=1}^{n+1} \frac{\partial E^*}{\partial h_i f_i} M_i(t, h, f, u, v) + \frac{\partial E^*}{\partial t} \right) = 0, \quad (5)$$

қажетті шеткі шартпен бірге

$$E^*(T, x^*) = \sigma(h, f) + x, x_{n+1}, \quad (6)$$

ауысымды түрлендіруге мүмкіндік берді.

$$\tilde{E} = E + \alpha, \quad \widetilde{x_{n+1}} = x_{n+1} + \alpha.$$

$$\dot{x} = A(t)x + B(t)u + C(t)v \quad (7)$$

Дифференциалды теңдеудің шешімін табы үшін динамикалық бағдарламау әдісі қолданылады. Функцияналы келесі түрдегідей беріледі

$$\varphi = \int_{t_0}^T (\|x[t]\|^2 + \|u[t]\|^2 - \|v[t]\|^2) dt + \sum_{i,j}^n \sigma_{i,j} x_i [T] x_j [T]. \quad (8)$$

Мұнда $A(t), B(t)$ және $C(t)$ — сәйкес өлшемді функциялардың үздіксіз матрицалары.

Теорема 1-дің шарттарын қанағаттандыратын $E(t, x)$ функциясын анықтау мақсат етіледі. Бұл функция квадраттық форма түрінде іздестіріліп, сол түрде табылатын болады.

$$E(t, x) = \sum_{i,j=1}^n \alpha_{i,j}(t) x_i x_j. \quad (9)$$

Аяқталу уақыты шекті (яғни T уақытымен аяқталатын) күрделі ойынға сәйкес.

$$\left(\frac{dE^*}{dt} \right)_{u,v} = \left(\frac{dE}{dt} \right)_{u,v} + \aleph(t, x, u, v) = \sum_{i=1}^n \frac{dE}{dx_i} M_i(t, x, u, v) + \aleph(t, x, u, v) + \frac{dE}{dt} = \\ \sum_{i=1}^n \frac{dE}{dx_i} [\sum_{j=1}^n a_{ij} x + \sum_{j=1}^r b_{ij} u_j + \sum_{j=1}^s c_{ij} v_j] + \sum_{i=1}^n x_i^2 + \sum_{i=1}^r u_i^2 - \sum_{i=1}^s v_i^2 + \frac{dE}{dt} =$$

$$2 \sum_{i,k=1}^n a_{ik} [\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + \sum_{j=1}^r b_{ij} u_j + \sum_{j=1}^s c_{ij} v_j] + \sum_{i=1}^n x_i^2 + \sum_{i=1}^r u_i^2 + \sum_{i=1}^s v_i^2 + \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j. \quad (10)$$

Минимакс шартына (10) сәйкес, төменде қажет болатын екі есептің шешімін анықтаймыз: олардың біріншісі – берілген өрнектің u айнымалысы бойынша минимумын табу есебі.

$$\beta^{(1)}(u) = 2 \sum_{i,k=1}^n a_{ik} x_k \sum_{j=1}^r b_{ij} u_j + \sum_{i=1}^r u_i^2 \quad (11)$$

Екінші тапсырма — берілген өрнектің v айнымалысы бойынша максимумын табу есебі.

$$\beta^{(2)}(v) = 2 \sum_{i,k=1}^n a_{ik} x_k \sum_{j=1}^s c_{ij} v_j - \sum_{i=1}^s v_i^2 \quad (12)$$

u^* және v^* қажетті мәндері үшін келесі өрнектерді табайық:

$$u^* = \{u_j^* = -\sum_{i,k=1}^n a_{ik} b_{ij} x_k, \quad j = 1, \dots, r\}, \quad (13)$$

$$v^* = \{v_j^* = \sum_{i,k=1}^n a_{ik} c_{ij} x_k, \quad j = 1, \dots, s\}. \quad (14)$$

Осы табылған мәндерді u және v үшін (9) өрнегіне қойып, әрі (4) теңестіру шартына сәйкес алынған өрнектің нөлге тең екенін ескерсек, төмендегі теңдеуге келеміз:

$$2 \sum_{i,j,k=1}^n a_{ki} a_{kj} f_i x_j - \sum_{j=1}^r \sum_{i,j,k,p=1}^n a_{ki} a_{pj} b_{kl} b_{pl} x_i x_j + \sum_{i=1}^s \sum_{i,j,k,p=1}^n a_{ki} a_{pj} c_{kl} c_{pl} x_i x_j + \sum_{i=1}^n h_i^2 f_i^2 + \sum_{i,j=1}^n \dot{K}_{i,j} x_i x_j = 0 \quad (15)$$

Соңында (15) тең $x_i x_j$ көбейтінділерінің коэффициенттерін нөлге теңестіріп, қажетті функциялар үшін қарапайым дифференциалдық теңдеулерді аламыз:

$$\begin{aligned} \dot{K}_{ij} = & -2 \sum_{k=1}^n a_{ki} a_{kj} + \sum_{j=1}^r \sum_{k,p=1}^n a_{ki} a_{pj} b_{kl} b_{pl} - \\ & - \sum_{i=1}^s \sum_{k,p=1}^n a_{ki} a_{pj} c_{kl} c_{pl} - \delta_{i,j}, \end{aligned} \quad (16)$$

мұндағы $\delta_{i,j}$ — Кронекер таңбасы, яғни $i \neq j$ үшін $\delta_{i,j} = 1$, $\delta_{i,j} = 0$.

$E(T, x) = \sigma(x)$ шектік шартты да қанағаттандыру үшін (16) теңдігін сәйкес (8) және (9) теңдеулер шарты бойынша интегралдануы керек.

$$\alpha_{ij}(T) = \sigma_{ij} \quad (17)$$

(16) формуласы Риккати теңдеулер жүйесін анықтайды. Қалай болғанда да, бұл жүйенің τ_*, T уақыт аралығында $t = T$ нүктесіне сол жақтан іргелес (яғни T -ге жақындағанда сол жақ шектен анықталатын) шешімі бар [3-7].

Есептің қойылымы. (7) теңдеуіне сүйене отырып, (1) бойынша үзіліссіз дифференциалдық теңдеуді келесі формада жазамыз:

$$\begin{cases} \dot{h}_1 = -h_1 u_1 - 2vf \\ \dot{h}_2 = -h_2 u_2 - 2vf \\ \dot{f} = f - 2vf - u_1 h_1 - u_2 h_2 \end{cases} \quad (18)$$

мұнда максимум мәнін беретін h_1, h_2 мен f_1 басқарушы параметрлерінің мәндерін табу керек.

$$\dot{x} = Ax + B(x)u + C(x)v, \quad (19)$$

$$x(0) = x_0,$$

Содан кейін (7) теңдеуіне сүйене отырып, (18) теңдеуін матрицалық түрге келтіріп аламыз.

$$A_f = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} f, B_u = \begin{pmatrix} -h_1 & 0 \\ 0 & -h_2 \\ -h_1 & -h_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix}, c_v = \begin{pmatrix} -2f \\ -2f \\ f \end{pmatrix} v.$$

Басқару сапасы келесі квадраттық функционалмен беріледі.

$$J = \frac{1}{2} \int_{t_0}^T (x^* Q_{(x)} x + u^* R_1 u - v^* R_2 v) dt + \frac{1}{2} x^*(T) F x(T) \quad (20)$$

Мұнда Q, R_1, R_2, F тиісінше $(n \times n)$ және $(m \times m)$ өлшемді берілген матрицалар; олар симметриялық, үздіксіз әрі шектелген болады және $Q(t) \geq 0$ (теріс емес анықталған), $R(t) > 0$ (біртекті оң анықталған) шарттарын қанағаттандырады.

Сондай-ақ $x^* = (h_1, h_2, f)$, «*» мұндағы «*» белгісі матрицаны (векторды) транспозициялау (transpose) операциясын білдіреді.

$$Q_i = \begin{pmatrix} q_1 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 \\ 0 & 0 & q_3 \end{pmatrix} > 0, R_1 = \begin{pmatrix} r_{11} & 0 \\ 0 & r_{12} \end{pmatrix} > 0, R_2 > 0,$$

$$F = \begin{pmatrix} 5 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 5 \end{pmatrix}.$$

Гамильтон-Якоби-Беллман теңдеуі келесі түрде болады.

$$\min_u \max_v \left\{ \frac{\partial E}{\partial t} + \left(\frac{\partial E}{\partial x} \right)^* (Ax + Bu + Cv) + \frac{1}{2} x^* Q_{(x)} x + \frac{1}{2} u^* R_1 u - \frac{1}{2} v^* R_2 v \right\} = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial t} + \left(\frac{\partial E}{\partial x} \right)^* \left(Ax + BR_1^{-1} B^* \frac{\partial E}{\partial x} + CR_1^{-1} C^* \frac{\partial E}{\partial x} \right) + \frac{1}{2} u^* R_1 u - \frac{1}{2} v^* R_2 v + \frac{1}{2} x^* Q_{(x)} x = \\ = \frac{\partial E}{\partial t} + \left(\frac{\partial E}{\partial x} \right)^* Ax - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial E}{\partial x} \right)^* (BR_1^{-1} B^* - CR_1^{-1} C^*) \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{1}{2} x^* Q_{(x)} x = 0 \end{aligned}$$

u және v қажетті мәндері үшін келесі өрнектерді табамыз:

$$\begin{cases} u = -R_1^{-1} B_{(x)}^* \frac{\partial E}{\partial x}, \\ v = R_2^{-1} C_{(x)}^* \frac{\partial E}{\partial x} \end{cases} \quad (21)$$

Теорема 1-дің шарттарын қанағаттандыратын $E(t, x)$ функциясын табу талап етіледі. Бұл функция квадраттық форма түрінде, яғни

$$E(t, x) = \frac{1}{2} x^* K x \quad (22)$$

түрінде іздестірілсін.

$$\text{Онда} \quad \frac{1}{2} x^* (\dot{K} + KA + A^* K + KBR_1^{-1} B^* K + KCR_2^{-1} C^*) K + Q_{(x)} x = 0$$

$$\dot{K} = -KA - A^* K + K(BR_1^{-1} B^* - CR_2^{-1} C^*) K - Q_{(x)}, K(T) = F$$

мұндағы $K \rightarrow 3 \times 3$, $K = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix} > 0$ үш өлшемді квадраттық матрица

болады.

$$KA = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -K_{11} & -K_{12} & -K_{13} \\ -K_{21} & -K_{22} & -K_{23} \\ -K_{31} & -K_{32} & -K_{33} \end{pmatrix};$$

$$KA^* = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix};$$

$$\dot{K} = 2 \begin{pmatrix} -K_{11} & -K_{12} & -K_{13} \\ -K_{21} & -K_{22} & -K_{23} \\ -K_{31} & -K_{32} & -K_{33} * 2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{pmatrix};$$

$$K(T) = F = \begin{pmatrix} 5 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 5 \end{pmatrix}, t = 0.5, T = 5.$$

Алдымен K матрицасын анықтап, оны (21) және (22) теңдеулеріне қоямыз. Нәтижесінде u, v және E шамаларының мәндері табылады. Бұдан кейін алынған u және v мәндерін (19) өрнегіне қоямыз. Осылайша (18) жүйесі Рунге–Кутта әдісі арқылы сандық түрде шешіледі [7–10].

Жүргізілген есептеу эксперименттері:

Тұрақты функциялар үшін келесі мәндер берілді.

$$A = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}, F = \begin{pmatrix} 5 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 5 \end{pmatrix}, Q = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{pmatrix},$$

$$B = \begin{pmatrix} -20 & 0 \\ 0 & -15 \\ -20 & -15 \end{pmatrix}, C = (-10, -10, -5), R_1 = \begin{pmatrix} 400 & 0 \\ 0 & 400 \end{pmatrix}, R_2 = 1/500,$$

$$x = \begin{pmatrix} 20 \\ 15 \\ 10 \end{pmatrix}, K = \begin{pmatrix} 5.5e^{2T}e^{-2t} - \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 6e^{2T}e^{-2t} - 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{13}{2}e^{2T}e^{-2t} - \frac{3}{2} \end{pmatrix}.$$

$$R_1^{-1} = \begin{pmatrix} 0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 \end{pmatrix}, B^T = \begin{pmatrix} -20 & 0 & -20 \\ 0 & -15 & -15 \end{pmatrix}.$$

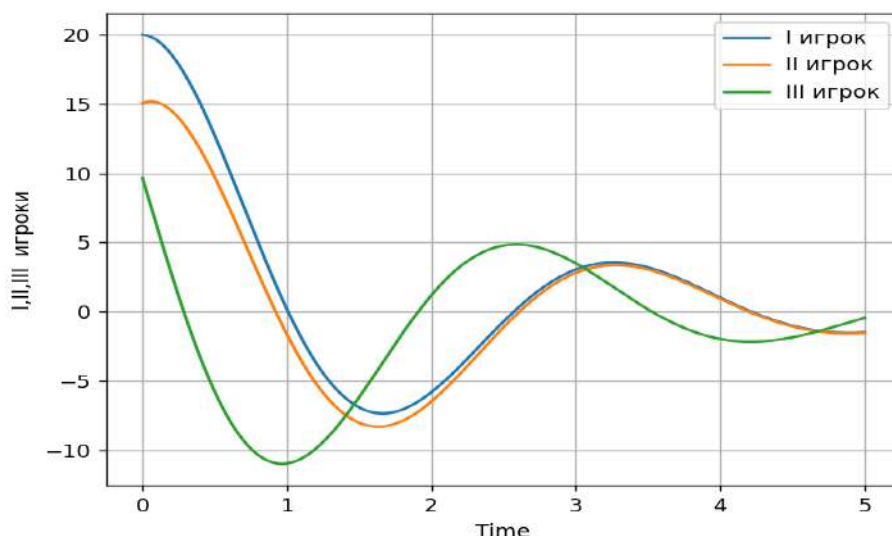
$$R_1^{-1} B^T = \begin{pmatrix} 0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -20 & 0 & -20 \\ 0 & -15 & -15 \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} -10 & 0 & -10 \\ 0 & -7.5 & -7.5 \end{pmatrix}.$$

$$Kx = \begin{pmatrix} 5 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 20 \\ 15 \\ 10 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 100 \\ 75 \\ 50 \end{pmatrix}.$$

$$u = R_1^{-1} B^T K x = \begin{pmatrix} 10 & 0 & 10 \\ 0 & 7,5 & 7,5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 100 \\ 75 \\ 50 \end{pmatrix} = (7.5 \ 4.69), \quad v = -4.5.$$

$$u > 1, u = 1, v > -1, u = -1, \quad u_1 = 1, u_2 = 1, v = -1.$$

Осы табылған мәндерді Рунге–Кутта әдісі арқылы сандық түрде есептеу нәтижесінде төменде келтірілген график алынады.

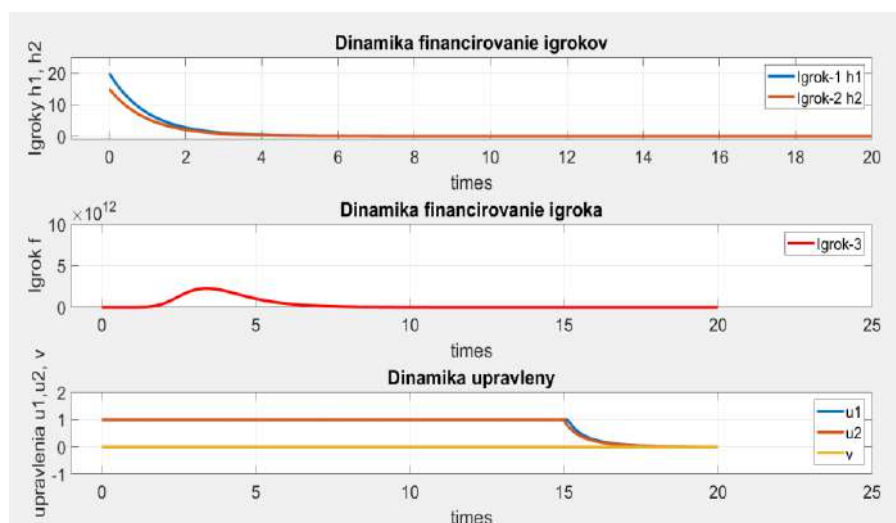


Сурет 1. Инвесторлардың инестициалық жобаларды қаржыландыру траекториясы

Айнымалы функциялар үшін алынған нәтижелер.

$$X = (20, 15, 30), R_1 = \begin{pmatrix} 400 & 0 \\ 0 & 400 \end{pmatrix}, R = 500, T = 5, K = \begin{pmatrix} 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 3/2 \end{pmatrix}.$$

Осы табылған мәндерді Рунге–Кутта әдісі арқылы сандық түрде анықтау нәтижесінде төменде келтірілген график алынады.



Сурет 2. Инвесторлардың инестициалық жобаларды қаржыландыруларының өзгеру динамикасы

Қорытынды

Зерттеу барысында кәсіпорындарды цифрландыруға бағытталған инвестициялық жобаларды бағалауға арналған шешім қабылдауды қолдау моделі ұсынылды. Модель тұрақты және айнымалы параметрлер жағдайында төртінші ретті Рунге–Кутта әдісі арқылы есептеліп, Python және Matlab орталарында тексерілді. Алынған нәтижелер ұсынылған тәсілдің инвестициялық шешімдерді негіздеуде тиімді әрі практикалық тұрғыдан қолдануға жарамды екенін көрсетті. Сонымен қатар модель инвестициялық процестің динамикасын талдауға және әртүрлі сценарийлер жағдайында инвесторлардың стратегияларын бағалауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері цифрлық жобаларды жоспарлау мен басқаруда қолданбалы маңызға ие.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

- [1] <https://www.bugin.kz/18839-tsifrlyq-tekhnologiyalar>.
- [2] Isaacs, R. *Differential Games: A Mathematical Theory with Applications to Warfare and Pursuit, Control and Optimization*. — New York: John Wiley & Sons, 1965. — 384 p.
- [3] Başar, T., Olsder, G. J. *Dynamic Noncooperative Game Theory*. — SIAM, 1999.
- [4] Dockner, E., Jørgensen, S., Van Long, N., Sorger, G. *Differential Games in Economics and Management Science*. — Cambridge University Press, 2000.
- [5] Krasovskii, N. N., Subbotin, A. I. *Game-Theoretical Control Problems*. — Springer, 1988.
- [6] Akhmetov, B. B., Lakhno, V. A., Akhmetov, B. S., & Malyukov, V. P. *The Choice of Protection Strategies During the Bilinear Quality Game On Cyber Security Financing*. *Bulletin of The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, (3), - 2018. -P.6–14.
- [7] Malyukov, V.P. (1993). *Discrete-approximation method for solving a bilinear differential game*, *Cybernetics and Systems Analysis*, 29(6), pp. 879 - 888. DOI: [https://doi.org/10.1016/0041-5553\(89\)90001-3](https://doi.org/10.1016/0041-5553(89)90001-3)
- [8] Akhmetov, B., Lakhno, V., Akhmetov, B., Alimseitova, Z. *Development of sectoral intellectualized expert systems and decision making support systems in cybersecurity*, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 860. - 2019. -P. 162-171. - DOI: [10.1007/978-3-030-00184-1_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00184-1_15)
- [9] Smit, H. T., & Trigeorgis, L. (2015). *Flexibility and games in strategic investment*.
- [10] Arasteh, A. (2017). *Considering the investment decisions with real options games approach*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, pp. 1282-1294. - DOI: [10.1016/j.rser.2016.10.043](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.043)

References

- [1] <https://www.bugin.kz/18839-tsifrlyq-tekhnologiyalar>.
- [2] Isaacs, R. *Differential Games: A Mathematical Theory with Applications to Warfare and Pursuit, Control and Optimization*. — New York: John Wiley & Sons, 1965. — 384 p.
- [3] Başar, T., Olsder, G. J. *Dynamic Noncooperative Game Theory*. — SIAM, 1999.
- [4] Dockner, E., Jørgensen, S., Van Long, N., Sorger, G. *Differential Games in Economics and Management Science*. — Cambridge University Press, 2000.
- [5] Krasovskii, N. N., Subbotin, A. I. *Game-Theoretical Control Problems*. — Springer, 1988.
- [6] Akhmetov, B. B., Lakhno, V. A., Akhmetov, B. S., & Malyukov, V. P. *The Choice of Protection Strategies During the Bilinear Quality Game On Cyber Security Financing*. *Bulletin of The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, (3), - 2018. -P.6–14.
- [7] Malyukov, V.P. (1993). *Discrete-approximation method for solving a bilinear differential game*, *Cybernetics and Systems Analysis*, 29(6), pp. 879-888. - DOI: [https://doi.org/10.1016/0041-5553\(89\)90001-3](https://doi.org/10.1016/0041-5553(89)90001-3)
- [8] Akhmetov, B., Lakhno, V., Akhmetov, B., Alimseitova, Z. *Development of sectoral intellectualized expert systems and decision making support systems in cybersecurity*, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 860. - 2019. -P. 162-171. - DOI: [10.1007/978-3-030-00184-1_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00184-1_15)
- [9] Smit, H. T., & Trigeorgis, L. (2015). *Flexibility and games in strategic investment*.
- [10] Arasteh, A. (2017). *Considering the investment decisions with real options games approach*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, pp. 1282-1294. - DOI: [10.1016/j.rser.2016.10.043](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.043)

С.Қ. Сағынғалиева^{1*}, М.С. Тунгатарова^{2,1}¹әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., Қазақстан² К. Сатпаев атындағы Қазақ Ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: sagingaliyeva.samal@mail.ru

ҚАПТАМАЛЫ-ҚҰБЫРЛЫ ЖЫЛУАЛМАСТЫРҒЫШТАҒЫ ЖЫЛУ АЛМАСУ ПРОЦЕСІН ЖӘНЕ ҚҰБЫРЛАРДЫҢ ЛАСТАНУ ҚАБАТЫНЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ*Аңдатпа*

Қаптамалы-құбырлы жылуалмастырғыштар жылу энергетикасында, мұнай-газ өнеркәсіптерінде және химиялық инженерияда салқындату, қыздыру, булану процестерінде қолданылады. Бұл мақалада қаптамалы-құбырлы жылуалмастырғыштағы жылу алмасу процесі зерттелді. Модельде құбырлар және қаптамадағы турбулентті ағын RANS (Reynolds-Averaged Navier–Stokes) теңдеулері арқылы сипатталды. Орташалаңдандырылғаннан кейін, пайда болатын белгісіздерді шешу үшін, яғни жүйені тұйықтау мақсатында k - ε турбуленттік моделі қолданып, турбулентті параметрлер тәжірибелік деректер негізінде алынды. Алынған нәтижелер тәжірибелік нәтижелермен салыстырып, орташа салыстырмалы қате 1,59-1,68 % аралығында анықталып, модельдің есептеу дәлдігі және де физикалық процесті нақты сипатталғанына көз жеткізілді. Верификацияланған модель негізінде қаптамалы-құбырлы жылуалмастырғыштағы құбырларда судағы тұздар мен бөлшектердің шөгуінен және коррозия өнімдерінің жиналуы нәтижесінде түзілетін ластану қабаты зерттелді. Нәтижелер көрсеткендей, ластану қабатының қалыңдауы жылуөткізгіштік коэффициентінің төмендеуіне, құбыр температураларының өсуіне және де жылуалмасу процесін тежеуіне алып келді. Алынған нәтижелер қаптамалы-құбырлы жылуалмастырғыштардың тиімділігін арттыру және конструкциясын жетілдіру үшін, сонымен қатар энергетика және өнеркәсіп салаларында энергияны үнемдеу мақсатында және ластану процестерін азайту стратегияларын дайындау үшін қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: қаптамалы-құбырлы жылуалмастырғыш, жылу алмасу, термиялық кедергі, COMSOL Multiphysics, сандық талдау, верификация.

S.K. Sagyngaliyeva¹, M.C. Tunggatarova^{2,1}¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan²Satbayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan**INVESTIGATION OF THE HEAT TRANSFER PROCESS IN A SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGER AND THE EFFECT OF TUBE FOULING LAYER***Abstract*

Shell-and-tube heat exchangers are used in the power generation, oil and gas, and chemical industries for cooling, heating, and evaporation. This article examines the heat transfer process in a shell-and-tube heat exchanger. Turbulent flow in the tubes and shell is described in a model using the Reynolds-averaged Navier–Stokes (RANS) equations. After averaging, turbulent parameters were obtained from experimental data using the k - ε turbulence model to solve the unknowns, i.e., to close the system. The obtained results were compared with experimental data, and the average relative error was 1,59 – 1,68%, confirming the accuracy of the model and an accurate description of the physical process. Using the validated model, a fouling layer formed on the tubes of a shell-and-tube heat exchanger due to the deposition of salts and particles in water and the accumulation of corrosion products was studied. The results showed that a thickening of the fouling layer led to a decrease in the thermal conductivity coefficient, an increase in the tube temperature, and a slowdown in the heat transfer process. The results obtained can be used to improve the efficiency and design of shell-and-tube heat exchangers, as well as to develop energy conservation and pollution reduction strategies in the energy and industrial sectors.

Keywords: shell-and-tube heat exchanger, heat transfer, thermal resistance, COMSOL Multiphysics, numerical analysis, verification.

С.Қ. Сағынғалиева^{*1}, М.С. Тунгатарова^{2, 1}

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан

²Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. Сатпаева,
г.Алматы, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В КОЖУХОТРУБНОМ ТЕПЛООБМЕННОМ АППАРАТЕ И ВЛИЯНИЯ СЛОЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТРУБЫ

Аннотация

Кожухотрубные теплообменники используются в теплоэнергетике, нефтегазовой промышленности и химической промышленности для охлаждения, нагрева и испарения. В данной статье исследуется процесс теплопередачи в кожухотрубном теплообменнике. Турбулентное течение в трубах и кожухе описывается в модели с использованием уравнений RANS (усредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса). После усреднения турбулентные параметры были получены на основе экспериментальных данных с использованием k-ε модели турбулентности для решения возникающих неизвестных, т.е. для замыкания системы. Полученные результаты были сопоставлены с экспериментальными данными, и средняя относительная погрешность составила 1,59-1,68%, что подтверждает точность модели и точное описание физического процесса. На основе проверенной модели исследован слой загрязнения, образующийся на трубах кожухотрубного теплообменника вследствие отложения солей и частиц в воде и накопления продуктов коррозии. Результаты показали, что утолщение слоя загрязнений привело к снижению коэффициента теплопроводности, повышению температуры труб и замедлению процесса теплопередачи. Полученные результаты могут быть использованы для повышения эффективности и улучшения конструкции кожухотрубных теплообменников, а также для разработки стратегий энергосбережения и снижения загрязнения в энергетическом и промышленном секторах.

Ключевые слова: кожухотрубный теплообменник, теплопередача, тепловое сопротивление, COMSOL Multiphysics, численный анализ, верификация.

Кіріспе

Қазіргі таңда энергия шығыны – әр саланың өзекті мәселесі болып отыр. Энергия шығынының көздері мен туындау себептерін білу, тиімділікті арттыруға, шығындарды азайтуға және әртүрлі салалардағы қоршаған ортаға әсерді азайту үшін өте маңызды. Өнеркәсіпте тұтынылатын энергияның шамамен 20–50 %-ы әртүрлі жылу жоғалтулары арқылы жоғалады [1]. Өндіріс, химиялық өңдеу және электр энергиясын өндіру сияқты термиялық процестерге сүйенетін салалар жылудың таралуына байланысты энергия шығындарына ұшырайды. Бұл тиімсіз жану, жылуалмастырғыштардағы жылу беру шығындары және қалдық жылуды пайдаланбау салдарынан болуы мүмкін. Қазіргі заманғы жылуды қалпына келтіру жүйелері және оңтайландырылған жылу басқару әдістері бұл шығындарды азайта алады [2]. Бұл жүйелердің тиімді жұмысы, ең алдымен жылу алмасу процесімен тікелей байланысты болып келеді. Оның қарқындылығына, сонымен қатар құрылғылардың сипаттамаларына байланысты.

Жылу алмасу процесі энергетика саласында аса маңызды рөл атқарады, өйткені жылу энергиясын тиімді басқару жаңартылатын энергия технологияларын әзірлеу мен оңтайландыру үшін өмірлік маңызға ие [3]. Жылу алмасу – дененің өзіне ешқандай жұмыс жасамай, оның ішкі энергиясын өзгерту процесі. Жылу алмасу әрқашан белгілі бір бағытта жүреді: температурасы жоғары денелерден температурасы төмен денелерге қарай. Денелердің температурасы теңескенде, жылу алмасу тоқтайды [4].

Энергетика саласындағы жылуалмасу құрылғылары түрлі аппараттардың жиынтығы болып табылады, олардың негізгі бөлігін жылуалмастырғыштар құрайды. Тұтастай жүйенің тиімділігі, ең алдымен, негізгі жылуалмастырғыштардың конструкциясына және жылу беру коэффициентіне тәуелді [5]. Жылуалмастырғыштар бірнеше түрге бөлініп, ажыратылады. Оларға пластиналы жылуалмастырғыштар, спиральді жылуалмастырғыштар, қаптамалы-құбырлы жылуалмастырғыштар және т.б. жатады [6]. Мұнай өңдеу зауыттарында және басқа ірі химиялық процестерде көп таралған түрі - қаптамалы-құбырлы жылуалмастырғыш болып

табылады. Бұл жылуалмастырғыш ішінде құбырлар шоғыры бар қаптамадан тұрады. Бір сұйықтық құбырлар арқылы өтеді, ал екінші сұйықтық қаптама арқылы өтеді, яғни сұйықтықтар бір-бірімен араласпайды [7].

Қаптамалы-құбырлы жылуалмастырғыштың жұмыс істеу принципі келесідей: Бірінші сұйықтық құбырлар арқылы, екінші сұйықтық құбырлардың сыртын, яғни қаптама кеңістігін ағып өтеді. Екі орта арасындағы жылуөткізгіш қабырға арқылы жылу беріледі. Егер қаптама кеңістігінде ыстық сұйықтық болған жағдайда ол қабырға арқылы жылуын береді, ал салқын сұйық сол жылууды қабылдайды. Қаптамалы-құбырлы жылуалмастырғыштардың негізгі бірнеше түрі бар, олардың қатарында: бекітілген құбыр торлары бар, температура компенсаторымен, қалқымалы басымен, иілген пішінді (U-тәрізді) және т.б. [8]. Бұл мақалада қалқымалы басты қаптамалы-құбырлы жылуалмастырғыш қарастырылады.

Сонымен қатар қаптама ішінде қалақшалар орналасады, олар ағындарда турбуленттіліктің пайда болуына септігін тигізіп, ағынды бағыттап отырады. Конструкциясына келетін болсақ, қалақшалардың саны жылуалмасу процесіне айтарлықтай әсер етеді. Қосымша қалақшаларды пайдалану, бастапқы көлденең бөгеттердің санын азайтуға мүмкіндік береді, осылайша салқындатқыш сұйықтық ағынының жылдамдығын және құбыраралық кеңістіктегі гидравликалық кедергіні төмендетеді. Сонымен қатар ағынның тиімді таралуына қол жеткізіледі [9]. Қалақшалардың саны ғана емес, геометриялық ерекшеліктері де жылуалмасу процесіне айтарлықтай әсер етеді. Түрлеріне қарай сегменттік, екі сегментті және бұрандалы болып ажыратылады. Мысалы, [10] мақаласында зерттеу нәтижелері қалқалар саны мен түрінің қысымның төмендеуіне және ағын құрылымына елеулі әсер ететінін көрсетті.

Бүгінгі таңда ластану көптеген салалардағы ең өзекті мәселелердің бірі. Бірқатар алдыңғы дамыған елдер үшін ластанудың жалпы құны 4,4 млрд АҚШ долларын құрайды деп бағаланады. Әдеби деректерге сүйенсек, индустриялық елдерде жылуалмастырғыштардың ластануынан болатын шығындар олардың ЖІӨ-нің 0,25%-дан 30%-ға дейінін құрайды [11]. Pritchard and Thackery (Harwell Laboratories) мәліметтері бойынша, технологиялық жабдықтарды күтіп ұстау шығындарының шамамен 15 %-ы жылуалмастырғыштар мен қазандықтарға жатады және олардың жартысы ластануға байланысты болуы мүмкін. Пластиналардың ластану жылдамдығы пайдаланылатын ресурстардың сапасына және қондырғыдағы ағын жолының параметрлеріне тікелей байланысты. Ластану қабаттары – қақ, майлы, органикалық немесе тұздық қоспалардан пайда болатын жұқа қабықшалар.

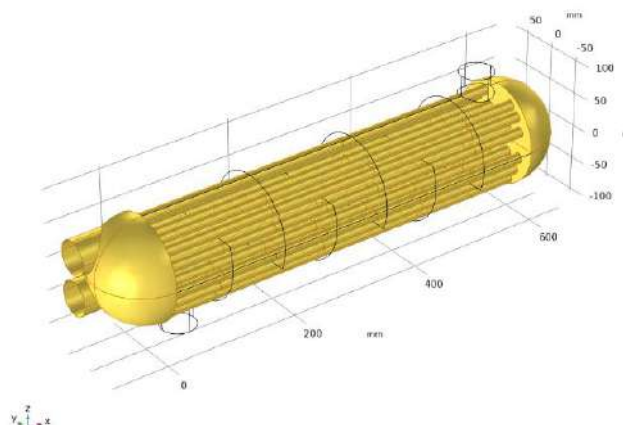
Мұндай шөгінділер мен қабықтардың пайда болуы қаптамалы-құбырлы жылуалмастырғыштардың оңтайлы жұмыс істеуіне елеулі кері әсерін тигізеді. Сонымен қатар ресурстардың жұмсалуды көбейіп, қызмет көрсету шығындары арта түседі [12]. Бұл жұмыста құбырлардағы ластанудың қаптамалы-құбырлы жылуалмастырғыштың жылуөткізгіштігіне қалай әсер ететіндігі қарастырылды. Мұндай ластанулар жылуөткізгіштік бетінде қосымша термиялық кедергі тудырып, соның нәтижесінде жылуалмасу коэффициенті айтарлықтай төмендейді.

Зерттеу әдіснамасы

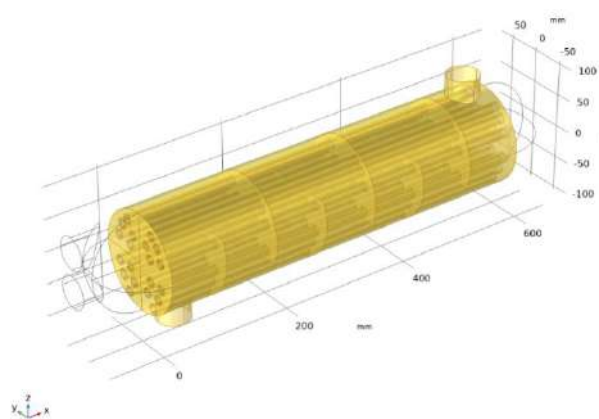
Есептің физикалық қойылымы.

Есепте қаптамалы-құбырлы жылуалмастырғыштың қалқымалы басы бар түрі қолданылады. Модельдеу барысында екі тәжірибе қарастырылады. Жылу алмасу процесі екі механизм арқылы жүзеге асырылады. Ыстық орта өзінің жылуын металл қабырғаға береді, ол жылу содан соң металл қабырғасы арқылы жылуөткізгіштік арқылы беріліп, салқын ортаның температурасын жоғарылатады. Жылуалмастырғыштың конструкциялық материалы ретінде болат таңдап алынды. Болаттың физикалық және жылулық қасиеттері: меншікті жылу сыйымдылығы $c_p = 475 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$, тығыздығы $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$, жылуөткізгіштігі $k = 44,5 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$. Сұйықтықтың құбыр бойымен ағып өтуі 1-суретте (а), ал қаптама бөлігінде ағып өтуі 1-суретте (ә) көрсетілген.

а)



ә)



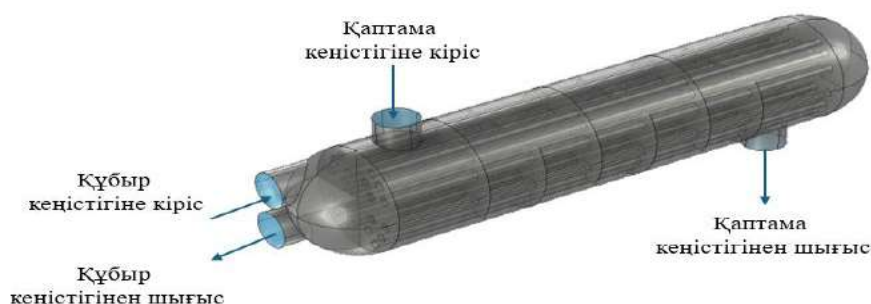
Сурет 1. Қаптамалы-құбырлы жылуалмастырғыштың құбырлар (а) және қаптама (ә) бөлімі

Есепте [9] мақалаға сәйкес, бірінші тәжірибеде құбыр бойымен салқын су, ал қаптама бойымен ыстық су берілсе, екінші тәжірибеде құбыр бойымен ыстық су, қаптама бойымен салқын су беріледі. Қаптамалы-құбырлы жылуалмастырғыштың параметрлері 1-кестеде және кірісіндегі ағынның сипаттамалары 2-кестеде көрсетілген.

Кесте 1. Қаптамалы-құбырлы жылуалмастырғыштың геометриялық параметрлері

Параметр атауы	Мәндері және өлшем бірліктері
Қаптаманың ішкі диаметрі	147 мм
Қаптама қабырғасының қалыңдығы	6 мм
Құбырлардың сыртқы диаметрі	16,5 мм
Құбыр қабырғасының қалыңдығы	2 мм
Құбырлардың ұзындығы	578 мм
Құбырлардың саны	20 шт
Құбыр жағындағы жүрістер саны	4
Көлденең қалақшалар арасындағы арақашықтық	71 мм
Қалақша ойығының биіктігі	31,6 мм
Қалқалар саны	6 шт
Жылуалмасу бетінің ауданы	0,56 м ²
Қалақша мен қаптаманың ішкі беті арасындағы радиалды саңылау	0,8 мм
Қалақша тесіктері мен құбырлар арасындағы радиалды саңылау	0,4 мм

Сандық есептеу жүргізілетін қаптамалы-құбырлы жылуалмастырғыштың геометриясы және жұмыс орталары 2-суретте көрсетілген. Ағынның бағыты – қарсы ағынды.



Сурет 2. Қаптамалы-құбырлы жылуалмастырғыштың жұмыс орталары

Есептің математикалық қойылымы

Бұл модель массаның, импульстің және энергия сақталу заңдарына негізделген. Сығылмайтын сұйық үшін, масса сақталу заңы (1) келесі түрде жазылады:

$$\begin{aligned}\rho &= \text{const} \\ \nabla \cdot u &= 0\end{aligned}\tag{1}$$

мұндағы:

ρ – сұйықтықтың тығыздығы, кг/м³

u – жылдамдық векторы, м/с

Сұйықтықтың қозғалысын анықтайтын негізгі динамикалық теңдеу, импульстің сақталу заңы Навье-Стокс теңдеуі (2) арқылы өрнектеледі.

$$\rho(u \cdot \nabla)u = -\nabla p + \mu \nabla^2 u + \rho f\tag{2}$$

мұндағы:

p – қысым, Па

μ – динамикалық тұтқырлық коэффициенті, Па · с

f – сыртқы күштер (көлемдік күштер), Н/м³

Бұл теңдеу сұйықтың қозғалысы кезіндегі тұтқырлық, қысым, сонымен қатар сыртқы күштер тепе-теңдігін сипаттайды.

Турбулентті қозғалыс кезінде жылдамдық пен қысым тұрақты болмайды, сондықтан да олар орташа және ауытқу бөліктеріне жіктеледі.

$$\begin{aligned}u &= \bar{u} + u' \\ p &= \bar{p} + p'\end{aligned}$$

Бұларды Навье-Стокс теңдеуіне (2) қойып, орташа алатын болсақ, теңдеу келесідей өрнектеледі:

$$\rho(\bar{u} \cdot \nabla)\bar{u} = -\nabla \bar{p} + \mu \nabla^2 \bar{u} - \nabla \cdot (\overline{\rho u' u'}) + \rho f\tag{3}$$

(3)-теңдеуінде $-\nabla \cdot (\overline{\rho u' u'})$ жаңа мүше, яғни Рейнольдс кернеу тензоры пайда болады, нәтижесінде жүйе тұйықталмаған күйге өтеді. Жүйені тұйықтау мақсатында Буссинеск гипотезасы енгізіліп, ондағы турбулентті кернеулер орташа жылдамдық градиенттеріне пропорционал деп есептеледі.

$$-\nabla \cdot (\overline{\rho u' u'}) \approx \nabla \cdot [\mu_t (\nabla u + (\nabla u)^T)] - \frac{2}{3} \rho \nabla k\tag{4}$$

$$\mu \nabla^2 u \approx \nabla \cdot [\mu (\nabla u + (\nabla u)^T)] - \nabla \cdot \left(\frac{2}{3} \mu \nabla \cdot u \right)\tag{5}$$

(4) және (5) теңдеулерін (3) теңдеуге енгізіп, (1) теңдеуді ескеретін болсақ, Навье-Стокс теңдеуі келесі түрде жазылады:

$$\rho(u \cdot \nabla)u = -\nabla \bar{p} + \nabla \cdot [(\mu + \mu_t) (\nabla u + (\nabla u)^T)] - \frac{2}{3} \rho \nabla k + \rho f\tag{6}$$

Осылайша турбуленттілік тұтқырлық μ_t енгізіліп, Рейнольдс кернеу тензоры келесі түрде өрнектеледі және μ_t - сандық түрде есептеу үшін, k - ε моделін қолданамыз.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}\tag{7}$$

мұндағы:

k – турбуленттік кинетикалық энергия, $\text{м}^2/\text{с}^2$

ε – турбуленттік диссипация жылдамдығы

k және ε (8) және (9) теңдеулерінен табылады.

$$\rho(u \cdot \nabla)k = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + P_k - \rho \varepsilon \quad (8)$$

$$\rho(u \cdot \nabla)\varepsilon = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \rho \quad (9)$$

Температураның кеңістік бойынша таралуы жылу тасымалы теңдеуімен сипатталады:

$$\rho c_p (u \cdot \nabla T) = \nabla \cdot [(k + k_t) \nabla T] \quad (10)$$

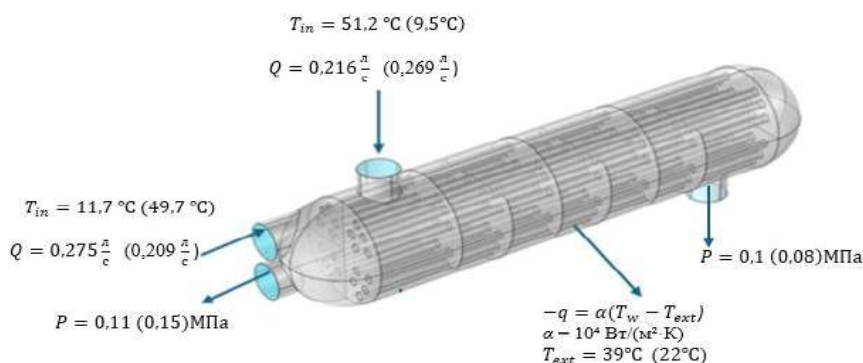
$$k_t = \frac{\mu_t c_p}{Pr_t} \quad (11)$$

Бастапқы шарттары: 1 және 2 тәжірибелерде келесідей бастапқы шарттар қабылданған:

$$T_0 = 27^\circ\text{C}$$

$$P_0 = 0,1 \text{ МПа}$$

Шекаралық шарттары: Модельдің геометриялық параметрлері, бастапқы және шекаралық шарттары 3-суретте көрсетілді, мәндері толығымен [9] мақаладан алынды.



Сурет 3. Есептің шекаралық шарттары

Зерттеу нәтижелері

Математикалық модельге сәйкес, жылуалмастырғыштағы және құбырлардағы жылуалмасу процесі бірінші және екінші режимдер бойынша есептелді (2-кесте). Бұл есептеулерде әртүрлі ағын шарттары, температура айырмашылықтары және жылуөткізгіштік қасиеттері ескерілді. Тәжірибелік және сандық модель нәтижелерінің айырмашылығын бағалау мақсатында орташа квадраттық ауытқу (RMSD) формуласы қолданылды. Сонымен қатар модельдің дәлдігін бағалау үшін орташа салыстырмалы қателік $\delta_{average}$ формуласы қолданылды.

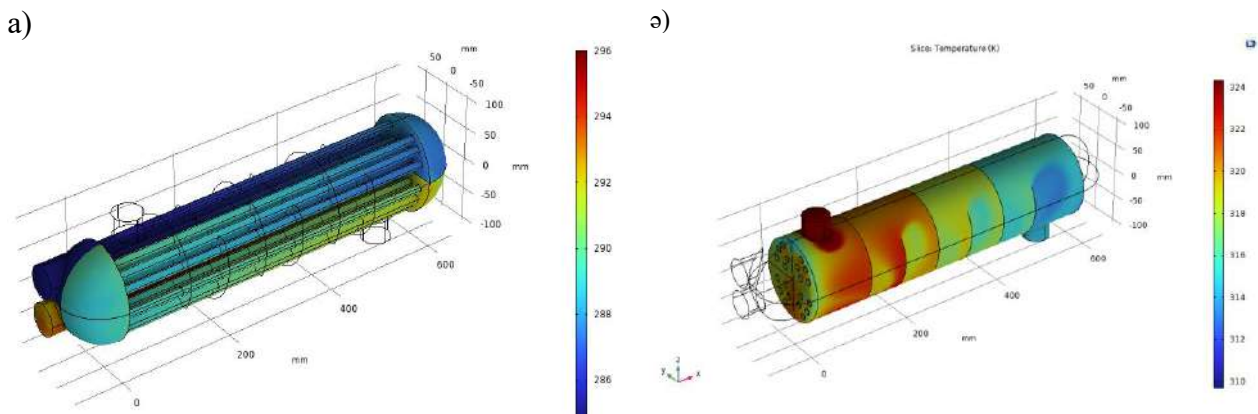
$$\text{RMSD} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{num,i} - T_{exp,i})^2}$$

$$\delta_{average} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{T_{num,i} - T_{exp,i}}{T_{exp,i}} \right| \times 100\%$$

$T_{num,i}$ – сандық нәтижелер

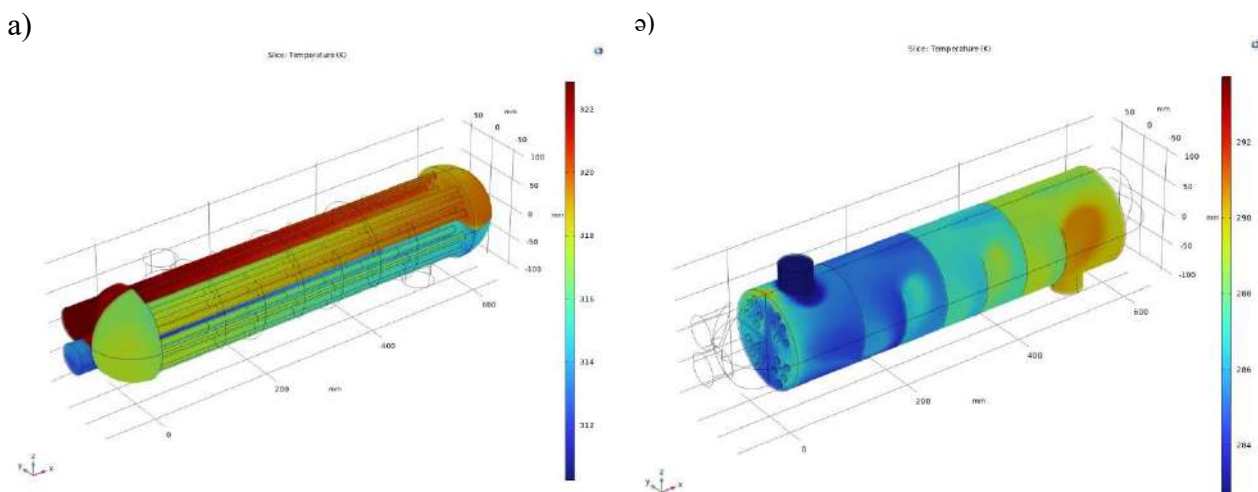
$T_{exp,i}$ – тәжірибе нәтижелері

1 тәжірибе бойынша бастапқы шарттарды ыстық су қаптама арқылы 324,32 К, салқын су құбыр арқылы 284,32 К температурамен берілген. Құбыр және қаптама бойымен ағып өтетін судың температура өрісі сәйкесінше 4-суретте (а) және (ә) белгіленіп көрсетілген. Нәтижесінде қаптама шығысында температура 313,98 К құраса, құбыр арқылы 293,04 К құрады.



Сурет 4. Құбыр (а) және қаптама (ә) бойымен ағып өтетін судың температура өрісі

2 тәжірибедегі ыстық су құбыр арқылы 322,85 К, салқын су қаптама арқылы 282,65 К температурамен берілген. Нәтижесінде қаптама шығысында температура 292,15 К құраса, құбыр арқылы 310,65 К құрады. 2 тәжірибедегі құбыр және қаптама бойымен ағып өтетін судың температура өрісі сәйкесінше 5-суретте (а) және (ә) белгіленіп көрсетілген.



Сурет 5. Құбыр (а) және қаптама (ә) бойымен ағып өтетін судың температура өрісі

Тәжірибелік және сандық модель нәтижелерін бағалау мақсатында орташа квадраттық ауытқу (RMSD) және салыстырмалы қателік есептелді. Бірінші тәжірибе нәтижесінде RMSD = 0,43 °C және салыстырмалы қателік 1,68 %, ал екінші тәжірибе үшін RMSD = 0,47 °C және салыстырмалы қателік 1,59 % құрады. Бұл көрсеткіштер тәжірибелік және сандық модельдің

жақсы сәйкестігін көрсетеді. Айырмашылықтың пайда болу себебі, тордың тығыздығы, элементтер саны және сандық бағдарламадағы дискретизация ерекшеліктерінен болуы ықтимал.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер COMSOL Multiphysics бағдарламасында құрылған модельдің физикалық процестерді дұрыс сипаттайтынын және әрі қарай талдауға жарамды екенін көрсетеді.

Кесте 2. Тәжірибе нәтижелері және сандық нәтижелердің айырмашылығы мен қателігін салыстыру

Тәжірибе	Бөлімі	Тәжірибе	COMSOL Multiphysics	ΔT	Орташа квадраттық ауытқу (RMSD)	Орташа салыстырмалы қателік $\delta_{average}$
№1	Құбыр	40,9 °C	40,8 °C	0,1 °C	0,43 °C	1,68 %
	Қаптама	19,2 °C	19,8 °C	0,2 °C		
№2	Құбыр	19,3 °C	19 °C	0,3 °C	0,47 °C	1,59 %
	Қаптама	36,9 °C	37,5 °C	0,6 °C		

Сандық модель физикалық тұрғыдан расталғаннан кейін құбырларда пайда болатын термиялық ластанудың әсері зерттелді. Термиялық кедергі – құрылғының әртүрлі агрессивті орталарда жұмыс істеуі салдарынан туындайтын ластану қабаты. Сандық модельді растау кезеңінде қолданылған бастапқы және шекаралық шарттар өзгеріссіз қалды. Ластану деңгейлеріне байланысты термиялық кедергі R_f мәндері $2 \times 10^{-5}, 1 \times 10^{-4}, 5 \times 10^{-4}, 1 \times 10^{-3}, 2 \times 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ диапазонында берілді (3-кесте).

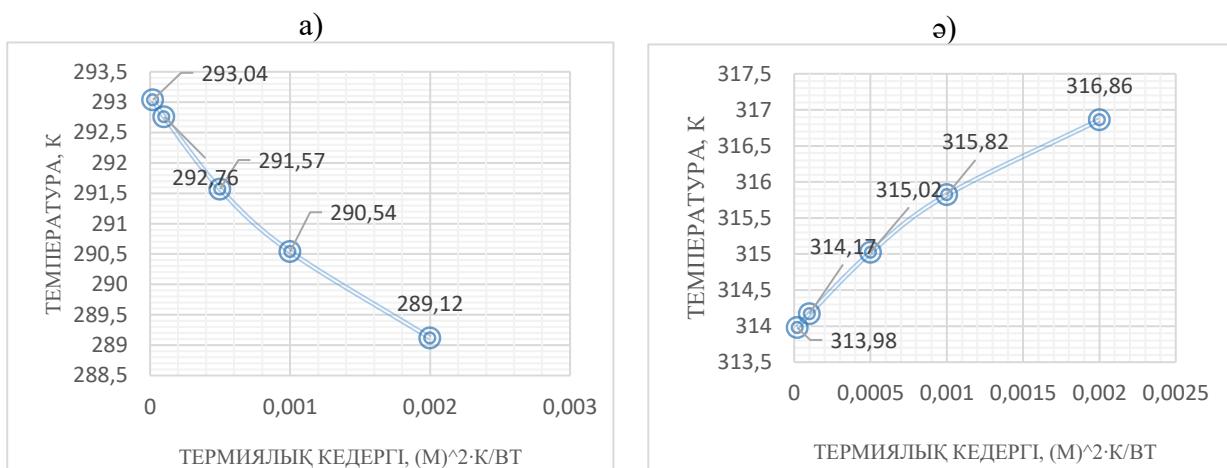
Кесте 3. Термиялық кедергі қабатының қалыңдығына қарай, шығыс температураларының өзгерісі

Сипаттамасы	Термиялық кедергі, $R_f, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$	1 тәжірибе		2 тәжірибе	
		Құбыр	Қаптама	Құбыр	Қаптама
Өте таза құбыр	2×10^{-5}	293,04 K	313,98 K	310,65 K	292,15 K
Ішкі бетінде аз мөлшерде шөгінділер бар	1×10^{-4}	292,76 K	314,17 K	310,84 K	291,87 K
Орташа шөгінділер қабаты, кейбір коррозиялық өнімдер	5×10^{-4}	291,57 K	315,02 K	311,69 K	290,68 K
Қалың масштабтағы шөгінділер	1×10^{-3}	290,54 K	315,82 K	312,49 K	289,65 K
Экстремалды түрдегі қалың қабатты шөгінділер	2×10^{-3}	289,12 K	316,86 K	313,53 K	288,23 K

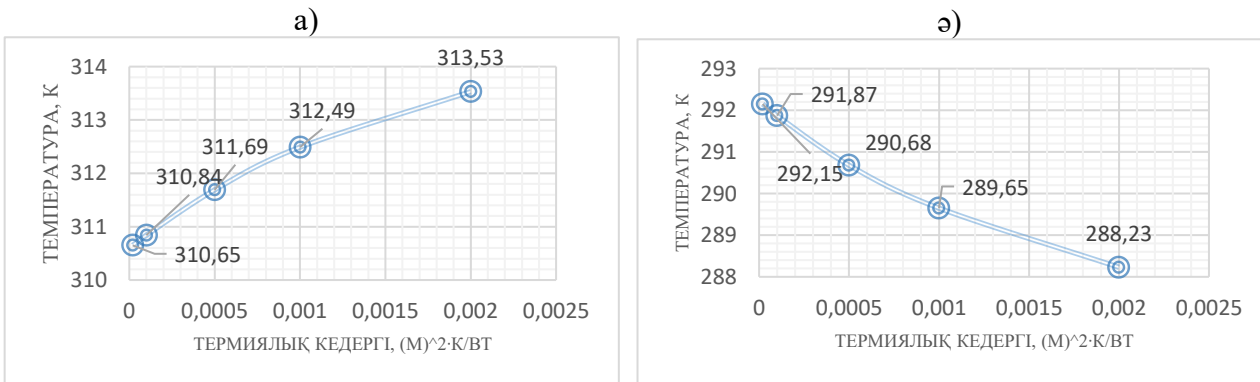
Құбыр бойынан шыққан салқын судың температурасы 293,04 К-ден 289,12 К-ге дейін төмендегені 6-суретте (а), ал қаптама бойынан шыққан ыстық судың температурасы 313,98 К-ден 316,86 К-ге дейін көтерілгені 6-суретте (ә) байқалды.

Құбыр бойынан шыққан ыстық су температурасы 310,65 К-ден 313,53 К-ге дейін артқанын 7-суретте (а), ал қаптама бойынан шыққан салқын судың температурасы керісінше 292,15 К-ден 288,23 К-ге төмендегені 7-суретте (ә) байқалады.

Нәтижелер көрсеткендей, салқын судың температурасының төмендеуі, ластану қабатының жылуөткізгіштігінің нашарлауымен түсіндіріледі, нәтижесінде салқын су қажетті мөлшерде жылу қабылдай алмайды, ал ыстық судың температурасының жоғарылауы осы термиялық кедергінің кері нәтижесі, яғни жылу қабырғалар арқылы сыртқа өте алмай, ыстық сұйық ағынның ішінде сақталып қалады. Соған байланысты жылу беру қарқындылығы азайып, ыстық судың температурасы жоғары деңгейде сақталып тұрады. Бұл ластану қабатының жылу алмасу процесіне айтарлықтай үлкен кері әсерін тигізеді, сондықтан да жылуалмастырғыштың тиімділігін сақтап қалу үшін оны ескерудің маңыздылығын көрсетеді.



Сурет 6. 1 тәжірибе бойынша құбыр бойынан (а) және қаптама бойынан (б) шыққан сұйық температурасының ластану қабаты артқан кездегі өзгерісі.



Сурет 7. 2 тәжірибе бойынша құбыр бойынан (а) және қаптама бойынан (б) шыққан сұйық температурасының ластану қабаты артқан кездегі өзгерісі.

Дискуссия

Зерттеулер құбырлардың ластануы жылу беру тиімділігін айтарлықтай төмендететінін, бұл ластану қабаты қалыңдығының артуымен жалпы жылу беру коэффициентінің күрт төмендеуіне әкелетінін көрсетті. Бұл жылуалмастырғыштың жұмысының төмендеуіне және энергия тұтынудың артуына әкеледі. Модельді тексеру алынған деректердің дәлдігін растайды, бұл ластанудың әсерін сандық бағалауды инженерлік шешімдер қабылдау үшін маңызды етеді. Бұл нәтижелер өндірістің тоқтап қалу уақытын азайтуға, техникалық қызмет көрсету аралықтарын оңтайландыруға және энергия тиімділігін арттыруға көмектеседі.

Бұл жұмыстың келесі кезеңі ретінде ластанудың уақыт бойынша динамикалық жиналуын модельдеу, әртүрлі материалдар мен геометриялардың ластануға төзімділігін бағалау қарастырылуы мүмкін. Сонымен қатар, турбулентті ағындарды нақтырақ сипаттайтын озық LES (Large Eddy Simulation) немесе DNS (Direct Numerical Simulation) моделдерін енгізу

арқылы модельдің нақтылығы арттырылады. Өнеркәсіптік деңгейде оңтайландыру жұмыстарын жүргізу – мысалы, тазалау интервалының алдын ала есептелуі немесе ең тиімді құрылымды таңдау – зерттеудің келесі маңызды кезеңі болады.

Қорытынды

Бұл жұмыста қаптамалы-құбырлы жылуалмастырғыштағы жылу алмасу процесі COMSOL Multiphysics v.6.2 сандық бағдарламасында модельденді. Есептеу нәтижелері тәжірибелік нәтижелермен расталды. Расталу нәтижесінде орташа салыстырмалы қателік 1,59 – 1,68 % аралығында анықталып, модельдің физикалық процестерді нақты сипаттайтыны дәлелденді.

Расталған модель негізінде ластану қабатының әсері зерттелді. Нәтижесінде салқын судың температурасы төмендеп, ыстық судың температурасы жоғарылағаны байқалды. Бұл құбылыс жылуөткізгіштік беттерде термиялық кедергінің пайда болуымен және энергия алмасу теңгерімінің бұзылуымен түсіндіріледі.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер модельдің есептеу дәлдігін және ластану қабатының жылу алмасу процесіне әсерін нақты сипаттайтынын көрсетті. Бұл зерттеу нәтижелері, жылуалмастырғыштардың тиімділігін арттыру, конструкциясын оңтайландыру және энергия үнемдеу технологияларын жетілдіру үшін практикалық маңызға ие.

References

- [1] W. Murgatroyd, B. Wilkins, *The efficiency of electric motive power in industry*, Energy, 1976, vol. 1, pp. 337-345, [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(76\)90065-7](https://doi.org/10.1016/0360-5442(76)90065-7)
- [2] Neelis M.L., Patel M.K., Bach P.W., Haije W.G. *Analysis of energy use and carbon losses in the chemical and refinery industries*, ECN Report, 2005, no. ECN-I--05-008, 82 p., <https://publications.tno.nl/publication/34629714/4P6aA5/i05008.pdf>
- [3] B. Sundén, *Computational Heat Transfer in Heat Exchangers*, Heat Transfer Engineering, 2011, vol. 28, pp. 895-897 <https://doi.org/10.1080/01457630701421661>
- [4] T. Elson, P. Lettieri, Chapter 4: *An Introduction to Heat Transfer*, Concepts of Chemical Engineering 4 Chemists, 2007, pp. 96-138 <https://doi.org/10.1039/9781847557674>
- [5] S. Chalimah, I. Maulana, R. Setyobudi, A. Sandrina, R.B. Anggoro, E.S. Buana, M.A. Kartiko, M.A. Alhalim, *Analysis of Efficiency and Heat Transfer Coefficient in the Performance Evaluation of Shell and Tube Heat Exchanger*, Biomedical and mechanical engineering journal, 2024, vol. 4 <https://doi.org/10.33005/biomej.v4i2.129>
- [6] K. Thulukkanam, *Heat Exchanger Design Handbook*, Engineering & Technology, Mathematics & Statistics, 2013, 2nd Edition <https://doi.org/10.1201/b14877>
- [7] A. Fakheri, *The Shell and Tube Heat Exchanger Efficiency and Its Relation to Effectiveness*, Proceedings of the ASME 2003 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Heat Transfer, 2003, vol. 3, pp. 9-15 <https://doi.org/10.1115/IMECE2003-41633>
- [8] Yujie Zhang, *The characteristics of heat exchanger and dependence on flow direction*, Proceedings, 2nd International Conference on Mechanical, Electronics, and Electrical and Automation Control (METMS 2022), 2022, vol. 12244 <https://doi.org/10.1117/12.2634921>
- [9] Chetvertkova O.V., Rizvanov R.G., Fairushin A.M. *The Use of Additional Baffles to Improve Efficiency of Shell-and-Tube Heat Exchanger*. Neftegazovoe delo, 2017, no. 3. (In English) <https://doi.org/10.17122/ogbus-2017-3-67-83>
- [10] Bichkar P., Dandgaval O., Dalvi P., Godase R., Dey T. *Study of Shell and Tube Heat Exchanger with the Effect of Types of Baffles*. Procedia Manufacturing, 2018, vol. 20, pp. 195–200. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.028>
- [11] B. I. Master, K. S. Chunangad, V. Pushpanathan, *Reduce fouling and downtime using helixchanger® heat exchangers*, Proceeding of Compact Heat Exchangers and Enhancement Technology for the Process Industries - 2003, 2023, pp. 491-496 [10.1615/978-1-56700-195-2.650](https://doi.org/10.1615/978-1-56700-195-2.650)
- [12] A. Chambon, Z. Anxionnaz-Minvielle, G. Cwicklinski, Nathalie Guintrand, A. Buffet, and B. Vinet, *Shell-and-Tube Heat Exchanger Geometry Modification: An Efficient Way to Mitigate Fouling*, Heat Transfer Engineering, 2020, vol. 41, pp. 170-177 <https://doi.org/10.1080/01457632.2018.1522093>

N.S. Serikbayev¹, G.N. Shaikhova^{1*}, F.B. Belisarova²

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: g.shaikhova@gmail.com

SOLITONS IN THE COUPLED GENERALIZED NONLINEAR SCHRÖDINGER EQUATIONS

Abstract

Nonlinear equations essentially describe physical problems. Solitons, which are localized in space and time and propagate in a nonlinear medium, are the special specific solutions to some of these equations. The soliton reemerges after a fully nonlinear interaction, retaining their identities with the same speed and shape. It has remarkable stability properties. Stability plays an important role in soliton physics. The nonlinear Schrödinger equation, one of the soliton-type nonlinear equations, is notable for its significance in the theory of nonlinear waves, specifically in nonlinear optics and plasma physics. The investigation of nonlinear Schrödinger equation generalizations is currently a pressing area of research. This work examines the coupled generalized nonlinear Schrödinger equations. These equations yield classical nonlinear Schrödinger equation in some reductions. As a research method, we use the bilinear Hirota method, which is one of the effective methods for solving nonlinear equations. Dispersion relations are derived and one-soliton and two-soliton solutions are obtained. The figures depict the dynamics of soliton solutions.

From this research, the results obtained may be useful for a better understanding of the nonlinear wave phenomena in any varied instance where the coupled model considered is applicable.

Keywords: Schrödinger equation, dispersion, dynamics, one soliton, two solitons, Hirota method, nonlinearity, solution, bilinearity, wave.

Н.С. Серикбаев¹, Г.Н. Шайхова¹, Ф.Б. Белисарова²

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

ЖҰПТАЛҒАН ЖАЛПЫЛАНҒАН СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС ШРЕДИНГЕР ТЕНДЕУЛЕРІНІҢ СОЛИТОНДАРЫ

Аңдатпа

Сызықты емес теңдеулер негізінен физикалық есептерді сипаттайды. Кеңістік пен уақытта локализацияланған және сызықты емес ортада таралатын солитондар осы теңдеулердің кейбірінің арнайы спецификалық шешімдері болып табылады. Солитон толық сызықты емес әрекеттесуден кейін қайта пайда болып, бірдей жылдамдықпен және пішінмен сәйкестіктерін сақтайды. Ол керемет тұрақтылық қасиеттеріне ие. Тұрақтылық солитондар физикасында маңызды рөл атқарады. Солитон типті сызықты емес теңдеулердің бірі болып табылатын сызықты емес Шредингер теңдеуі сызықты емес толқындар теориясында, әсіресе сызықты емес оптикада және плазма физикасында маңыздылығымен ерекшеленеді. Сызықтық емес Шредингердің теңдеулерін жалпылауды зерттеу қазіргі уақытта зерттеудің өзекті саласы болып табылады. Бұл жұмыс жұпталған жалпыланған сызықты емес Шредингер теңдеулерін зерттейді. Бұл теңдеулер кейбір қысқартуларда классикалық сызықты емес Шредингер теңдеуін береді. Зерттеу әдісі ретінде сызықты емес теңдеулерді шешудің тиімді әдістерінің бірі болып табылатын бисызықты Хирота әдісін қолданамыз. Дисперсиялық қатынастар алынып, бір солитонды және екі солитонды шешімдер табылады. Суреттер солитон шешімдерінің динамикасын бейнелейді. Осы зерттеуде алынған нәтижелер қарастырылатын жұпталған модель қолданылатын кез келген әртүрлі жағдайларда сызықтық емес толқын құбылыстарын жақсы түсіну үшін пайдалы болуы мүмкін.

Түйін сөздер: Шредингер теңдеуі, дисперсия, динамика, бір солитон, екі солитон, Хирота әдісі, сызықтық емес, шешім, бисызықтық, толқын.

Н.С. Серикбаев¹, Г.Н. Шайхова¹, Ф.Б. Белисарова²

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

СОЛИТОНЫ В СВЯЗАННЫХ ОБОБЩЕННЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ ШРЕДИНГЕРА

Аннотация

Нелинейные уравнения, по сути, описывают физические проблемы. Солитоны, локализованные в пространстве и времени и распространяющиеся в нелинейной среде, являются особыми специфическими решениями некоторых из этих уравнений. Солитон восстанавливается полностью после нелинейного взаимодействия, сохраняя свою идентичность с той же скоростью и формой. Он обладает замечательными свойствами устойчивости. Устойчивость играет важную роль в физике солитонов. Нелинейное уравнение Шредингера, одно из нелинейных уравнений солитонного типа, примечательно своей значимостью в теории нелинейных волн, в частности в нелинейной оптике и физике плазмы. Исследование обобщений нелинейного уравнения Шредингера в настоящее время является актуальной областью исследований. В этой работе рассматриваются связанные обобщенные нелинейные уравнения Шредингера. Эти уравнения дают классическое нелинейное уравнение Шредингера в некоторых редукциях. В качестве метода исследования применен билинейный метод Хироты, который является одним из эффективных методов решения нелинейных уравнений. Выводятся дисперсионные соотношения и получены односолитонные и двухсолитонные решения. На рисунках представлена динамика солитонных решений. Полученные в ходе данного исследования результаты могут быть полезны для лучшего понимания нелинейных волновых явлений в любых различных случаях, где применима рассматриваемая связанная модель.

Ключевые слова: уравнение Шредингера, дисперсия, динамика, один солитон, два солитона, метод Хироты, нелинейность, решение, билинейность, волна.

Introduction

Almost every model of mathematical physics is the result of some approximate description of real physical phenomena. The purpose of approximations is to study the main interactions that determine the main contribution to the physics of the process, as well as to clarify the fundamental connections between phenomena. There are numerous physically valuable nonlinear equations, as the Korteweg-de Vries equation, the nonlinear Schrödinger equation, the sine-Gordon equation [1-8]. In the last decade, a significant amount of work has been done on nonlinear equations [9-15].

In this work, we consider the coupled generalized nonlinear Schrodinger equations [16-18]

$$iq_t + q_{xx} + 2(a|p|^2 + c|q|^2 + bp\bar{q} + \bar{b}p\bar{q})q = 0, \quad (1)$$

$$ip_t + p_{xx} + 2(a|p|^2 + c|q|^2 + bp\bar{q} + \bar{b}p\bar{q})p = 0, \quad (2)$$

where a and c are real constants, b is a complex constant, q and p are slowly varying pulse envelopes. In case, $b = 0, a = c$ then (1)-(2) reduce to the Manakov system [19]. And also, if $b = 0, a = -c$ then (1)-(2) reduce to the mixed coupled nonlinear Schrodinger equation [20]. The equations (1)-(2) were investigated by Darboux transformation in [16].

The main goal of this work is to get soliton solutions of the coupled generalized nonlinear Schrodinger equations by Hirota's bilinear method [14,15]. A solitary wave with structural stability that travels over a nonlinear medium is called a soliton. Solitons behave like particles (particle-like waves) in that they do not break down when they interact with one another or with external disturbances; instead, they keep moving while maintaining their structural integrity. With the help of this property, data can be sent without interference over great distances. In addition, unlike harmonic waves, classical solitons, in addition to energy transfer, also transfer matter (shift in the direction of their movement over a finite distance).

Research methodology

Bilinear form

Numerous nonlinear equations have been solved using the Hirota method, a direct analytical technique for obtaining the soliton solutions. Once the bilinear form of the nonlinear equations was given, multi soliton solutions can be derived through the truncated formal perturbation expression at different levels. In this section, we apply the method to obtain soliton solutions for equations (1)-(2).

Introducing the dependent variable transformation

$$q = \frac{g}{f},$$

$$p = \frac{m}{f},$$

into (1)-(2), the bilinear form can be derived as follows:

$$[iD_t + D_x^2](g \cdot f) = 0 \quad (3)$$

$$[iD_t + D_x^2](m \cdot f) = 0, \quad (4)$$

$$D_x^2(f \cdot f) - 2(a|m|^2 + c|g|^2 + bm\bar{g} + \bar{b}g\bar{m}) = 0, \quad (5)$$

where g, m are complex functions, f is the real one and D_x and D_t are the bilinear differential operators defined by

$$D_x^l D_t^n (f(x, t) \cdot g(x, t)) = \left(\frac{\partial}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x'}\right)^l \left(\frac{\partial}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial t'}\right)^n (f(x, t) \cdot g(x', t'))|_{x'=x, t'=t}, \quad (6)$$

where l, n are positive integers.

Soliton solution

To get the N-solitons of the equations (1)-(2), we expand g, m and f in respect of a formal expansion with the parameter ε as below:

$$g = \varepsilon g_1 + \varepsilon^3 g_3 + \varepsilon^5 g_5 + \dots, \quad (7a)$$

$$m = \varepsilon m_1 + \varepsilon^3 m_3 + \varepsilon^5 m_5 + \dots, \quad (7b)$$

$$f = 1 + \varepsilon^2 f_2 + \varepsilon^4 f_4 + \dots, \quad (7c)$$

where g_j 's and m_j 's ($j = 1, 3, 5, \dots$) are the complex functions, and f_n 's ($n = 2, 4, 6, \dots$) are the real ones, to be determined. Substituting expression (7) into (3)-(5) and gathering the coefficients of the same power of ε , we have

$$\varepsilon^1: [iD_t + D_x](g_1 \cdot 1) = 0, \quad (8a)$$

$$\varepsilon^1: [iD_t + D_x](m_1 \cdot 1) = 0, \quad (8b)$$

$$\varepsilon^2: D_x^2(f_2 \cdot 1 + 1 \cdot f_2) - 2(a|m_1|^2 + c|g_1|^2 + bm_1\bar{g}_1 + \bar{b}g_1\bar{m}_1) = 0 \quad (8c)$$

$$\varepsilon^3: [iD_t + D_x](g_3 \cdot 1 + g_1 \cdot f_2) = 0, \quad (8d)$$

$$\varepsilon^3: [iD_t + D_x](m_3 \cdot 1 + m_1 \cdot f_2) = 0, \quad (8e)$$

$$\varepsilon^4: D_x^2(f_4 \cdot 1 + f_2 \cdot f_2 + 1 \cdot f_4) - 2(a(m_3\bar{m}_1 + m_1\bar{m}_3) + c(g_3\bar{g}_1 + g_1\bar{g}_3) + b(m_3\bar{g}_1 + m_1\bar{g}_3) + \bar{b}(g_3\bar{m}_1 + g_1\bar{m}_3)) = 0 \quad (8f)$$

...

Equation (1)-(2) has one-, two-, and N-soliton solutions, which we may find by using expression (8) and symbolic computation.

Results of the study

One soliton solution

To get the one soliton for equations (1)-(2), we choose

$$g = \varepsilon g_1, m = \varepsilon m_1, f = 1 + \varepsilon^2 f_2. \quad (9)$$

Substituting expressions (9) into bilinear forms (3)-(5), setting $\varepsilon = 1$, we solve the bilinear system recursively and obtain one-soliton solution as

$$q = \frac{\alpha e^{\theta_1}}{1 + e^{\theta_1 + \bar{\theta}_1 + \varphi}}, \quad (10)$$

$$p = \frac{\beta e^{\theta_1}}{1 + e^{\theta_1 + \bar{\theta}_1 + \varphi}}, \quad (11)$$

where $e^\varphi = \frac{a|\beta|^2 + c|\alpha|^2 + b\beta\bar{\alpha} + \bar{b}\alpha\bar{\beta}}{(k_1 + \bar{k}_1)^2}$ and $\theta_1 = c_1 t + k_1 x$ with dispersion relation $c_1 = ik_1^2$.

Figures 1-3 illustrate the graphs of the one-soliton solutions (10)– (11).

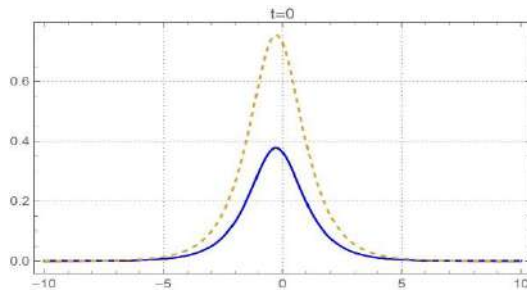


Figure 1. Dynamics of the one-soliton solutions' q and p with parameters $k_1 = 1 + i$; $a = 1$; $b = 1$; $c = 1$; $\alpha = 1$; $\beta = 2$

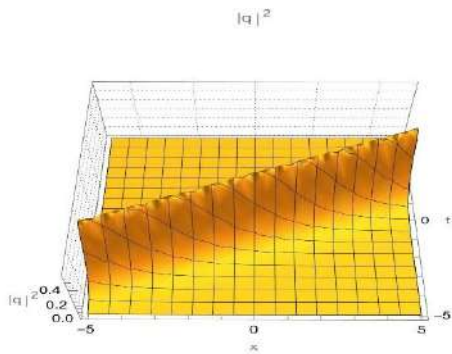
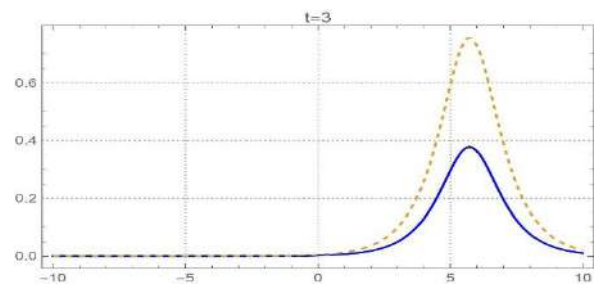


Figure 2. 3D plot of the two-soliton solutions q with parameters $k_1 = 1 + i$; $a = 1$; $b = 1$; $c = 1$; $\alpha = 1$; $\beta = 2$

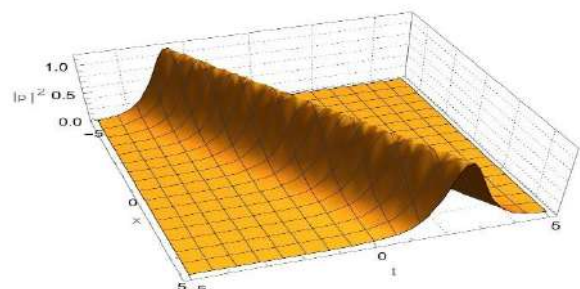


Figure 3. 3D plot of the two-soliton solutions q with parameters $k_1 = 1 + i$; $a = 1$; $b = 1$; $c = 1$; $\alpha = 1$; $\beta = 2$

Two soliton solution

As in the previous section, we truncate g , m and f perturbation expression with respect to the parameter ε as

$$g = \varepsilon g_1 + \varepsilon^3 g_3, \quad m = \varepsilon m_1 + \varepsilon^3 m_3, \quad f = 1 + \varepsilon^2 f_2 + \varepsilon^2 f_4. \quad (12)$$

Substituting expressions (12) into bilinear forms (3)-(5), solving the bilinear system recursively, and, setting $\varepsilon = 1$, the two-soliton solution can be derived as follows:

$$q = \frac{\alpha_1 e^{\theta_1 + \alpha_2 \theta_1 + e^{\theta_1 + \theta_2 + \bar{\theta}_1 + \delta_1 + e^{\theta_1 + \theta_2 + \bar{\theta}_2 + \delta_2}}}{1 + e^{\theta_1 + \bar{\theta}_1 + \varphi_1 + e^{\theta_2 + \bar{\theta}_1 + \varphi_2 + e^{\theta_1 + \bar{\theta}_2 + \varphi_3 + e^{\theta_2 + \bar{\theta}_2 + \varphi_4 + e^{\theta_1 + \bar{\theta}_1 + \theta_2 + \bar{\theta}_2 + s}}}} \quad (13)$$

$$p = \frac{\beta_1 e^{\theta_1 + \beta_2 \theta_1 + e^{\theta_1 + \theta_2 + \bar{\theta}_1 + L_1 + e^{\theta_1 + \theta_2 + \bar{\theta}_2 + L_2}}}{1 + e^{\theta_1 + \bar{\theta}_1 + \varphi_1 + e^{\theta_2 + \bar{\theta}_1 + \varphi_2 + e^{\theta_1 + \bar{\theta}_2 + \varphi_3 + e^{\theta_2 + \bar{\theta}_2 + \varphi_4 + e^{\theta_1 + \bar{\theta}_1 + \theta_2 + \bar{\theta}_2 + s}}}} \quad (14)$$

were

$$\begin{aligned} e^{\varphi_1} &= \frac{a|\beta_1|^2 + c|\alpha_1|^2 + b\beta_1\bar{\alpha}_1 + \bar{b}\alpha_1\bar{\beta}_1}{(k_1 + \bar{k}_1)^2}, \quad e^{\varphi_2} = \frac{a\bar{\beta}_1\beta_2 + c\alpha_2\bar{\alpha}_1 + b\bar{\alpha}_1\beta_2 + \bar{b}\alpha_2\bar{\beta}_1}{(k_2 + \bar{k}_1)^2}, \\ e^{\varphi_3} &= \frac{a\beta_1\bar{\beta}_2 + c\alpha_1\bar{\alpha}_2 + b\bar{\alpha}_2\beta_1 + \bar{b}\alpha_1\bar{\beta}_2}{(k_1 + \bar{k}_2)^2}, \quad e^{\varphi_4} = \frac{a|\beta_2|^2 + c|\alpha_2|^2 + b\beta_2\bar{\alpha}_2 + \bar{b}\alpha_2\bar{\beta}_2}{(k_2 + \bar{k}_2)^2}, \\ e^{\delta_1} &= \frac{\alpha_1(i(c_1 - c_2 - \bar{c}_1) + (k_1 - k_2 - \bar{k}_1)^2)}{i(c_1 + c_2 + \bar{c}_1) + (k_1 + k_2 + \bar{k}_1)^2} e^{\varphi_2} + \frac{\alpha_2(i(c_2 - c_1 - \bar{c}_1) + (k_2 - k_1 - \bar{k}_1)^2)}{i(c_1 + c_2 + \bar{c}_1) + (k_1 + k_2 + \bar{k}_1)^2} e^{\varphi_1}, \\ e^{\delta_2} &= \frac{\alpha_1(i(c_1 - c_2 - \bar{c}_2) + (k_1 - k_2 - \bar{k}_2)^2)}{i(c_1 + c_2 + \bar{c}_2) + (k_1 + k_2 + \bar{k}_2)^2} e^{\varphi_4} + \frac{\alpha_2(i(c_2 - c_1 - \bar{c}_2) + (k_2 - k_1 - \bar{k}_2)^2)}{i(c_1 + c_2 + \bar{c}_2) + (k_1 + k_2 + \bar{k}_2)^2} e^{\varphi_3}, \\ e^{L_1} &= \frac{\beta_1(i(c_1 - c_2 - \bar{c}_1) + (k_1 - k_2 - \bar{k}_1)^2)}{i(c_1 + c_2 + \bar{c}_1) + (k_1 + k_2 + \bar{k}_1)^2} e^{\varphi_2} + \frac{\beta_2(i(c_2 - c_1 - \bar{c}_1) + (k_2 - k_1 - \bar{k}_1)^2)}{i(c_1 + c_2 + \bar{c}_1) + (k_1 + k_2 + \bar{k}_1)^2} e^{\varphi_1}, \\ e^{L_2} &= \frac{\beta_1(i(c_1 - c_2 - \bar{c}_2) + (k_1 - k_2 - \bar{k}_2)^2)}{i(c_1 + c_2 + \bar{c}_2) + (k_1 + k_2 + \bar{k}_2)^2} e^{\varphi_4} + \frac{\beta_2(i(c_2 - c_1 - \bar{c}_2) + (k_2 - k_1 - \bar{k}_2)^2)}{i(c_1 + c_2 + \bar{c}_2) + (k_1 + k_2 + \bar{k}_2)^2} e^{\varphi_3}, \\ e^s &= + \frac{a(e^{L_2}\bar{\beta}_1 + e^{L_1}\bar{\beta}_2 + e^{\bar{L}_2}\beta_1 + e^{\bar{L}_1}\beta_2) + c(e^{\delta_2}\bar{\alpha}_1 + e^{\delta_1}\bar{\alpha}_2 + e^{\bar{\delta}_2}\alpha_1 + e^{\bar{\delta}_1}\alpha_2)}{(k_1 + k_2 + \bar{k}_1 + \bar{k}_2)^2} + \\ &\quad + \frac{b(e^{L_2}\bar{\alpha}_1 + e^{L_1}\bar{\alpha}_2 + e^{\bar{L}_2}\alpha_1 + e^{\bar{L}_1}\alpha_2) + \bar{b}(e^{\delta_2}\bar{\beta}_1 + e^{\delta_1}\bar{\beta}_2 + e^{\bar{\delta}_2}\beta_1 + e^{\bar{\delta}_1}\beta_2)}{(k_1 + k_2 + \bar{k}_1 + \bar{k}_2)^2} - \\ &\quad - \frac{2e^{\varphi_1 + \varphi_4}(k_2 + k_1 - \bar{k}_1 - \bar{k}_2)^2 + 2e^{\varphi_1 + \varphi_4}(k_1 - k_2 - \bar{k}_1 + \bar{k}_2)^2}{(k_1 + k_2 + \bar{k}_1 + \bar{k}_2)^2}, \end{aligned}$$

with $\theta_j = c_j t + k_j x$ and dispersion relations $c_j = ik_j^2$ ($j = 1, 2$).

Figures 4-6 present the graphs of the two-soliton solutions (13)-14).

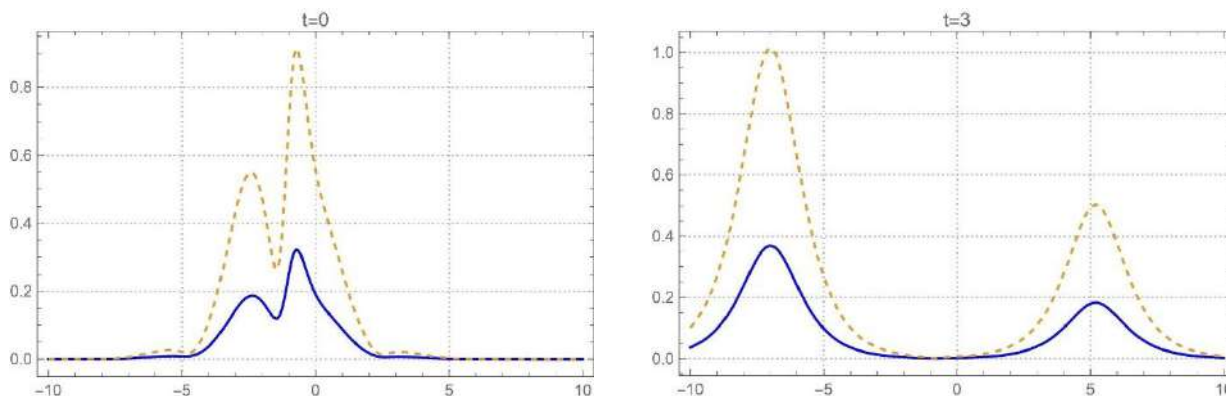


Figure 4. Dynamics of the two-soliton solutions q and p with parameters $k_1 = 1 + i; k_2 = 1 - i; a = 1; b = 1; c = 1; \alpha_1 = 1; \beta_1 = 3.5; \alpha_2 = 2; \beta_2 = 5.5$,

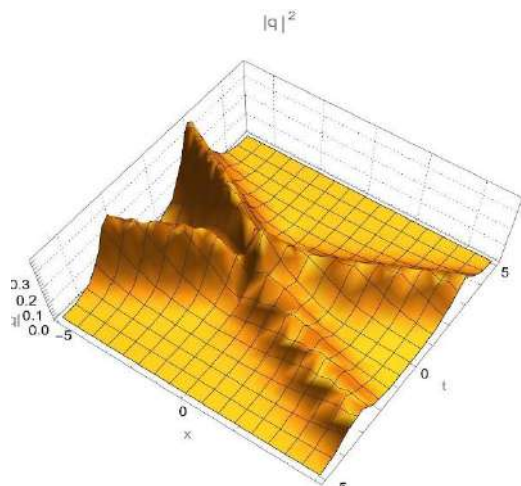


Figure 5. 3D plot of the two-soliton solutions q with parameters

$$k_1 = 1 + i; k_2 = 1 - i; a = 1; b = 1; c = 1; \alpha_1 = 1; \beta_1 = 3.5; \alpha_2 = 2; \beta_2 = 5.5,$$

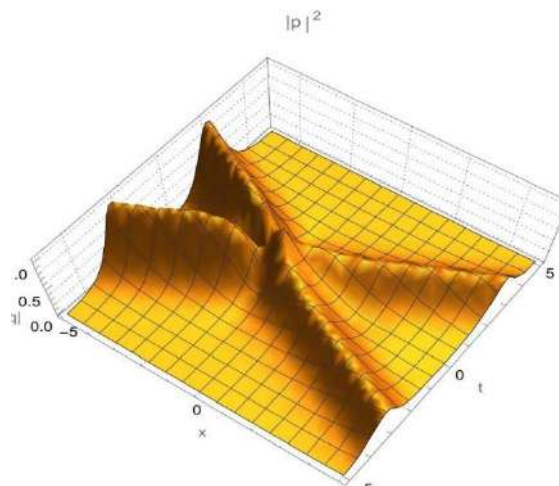


Figure 6. 3D plot of the two-soliton solutions p with parameters

$$k_1 = 1 + i; k_2 = 1 - i; a = 1; b = 1; c = 1; \alpha_1 = 1; \beta_1 = 3.5; \alpha_2 = 2; \beta_2 = 5.5,$$

Conclusion

In this work, we investigated the coupled generalized nonlinear Schrodinger equations. This system has many applications in plasma physics and ocean waves. In some cases, the coupled generalized nonlinear Schrodinger equations can be reduced to nonlinear Schrodinger equations arising from various fields, such as quantum field and nonlinear optics.

To obtain a soliton solution we applied Hirota's method. This approach provides a direct method for finding N-soliton solutions to nonlinear dispersive equations. We got bilinear equations and constructed one soliton and two soliton solutions for the coupled generalized nonlinear Schrodinger equations. The dynamics of the soliton pulses have been presented in Figure 1 with the help of the Mathematica package software by selecting appropriate values for unknown parameters. Propagation of the optical solitons, generated via the balance between the group velocity dispersion and nonlinear effect, has potential applications in the nonlinear fibers. The presented methods can be applied to obtain new solutions for other nonlinear equations.

Acknowledgment

This work is also supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, grant AP19675202

References

- [1] Wazwaz A. *Partial differential equations and solitary waves theory*. (Springer, 2009). <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-00251-9>
- [2] Burdik C., Shaikhova G., and Rakhimzhanov B., Soliton solutions and travelling wave solutions for the two-dimensional generalized nonlinear Schrodinger equations. *Eur. Phys. J. Plus* 136, 1095-1-17 (2021). <https://link.springer.com/article/10.1140/epjp/s13360-021-02092-6>
- [3] Zakharov V.E., Shabat A.B., Exact theory of two-dimensional self-focusing and one-dimensional self-modulation of waves in nonlinear media. *Sov. Phys.-JETP* 34(1), 62-69 (1972). http://jetp.ras.ru/cgi-bin/dn/e_034_01_0062.pdf
- [4] Ablowitz M.J., Clarkson P.A, *Solitons* (Cambridge University Press, Nonlinear Evolution Equations and Inverse Scattering. First Printing. Cambridge, 1991). <https://assets.cambridge.org/97805213/87309/sample/9780521387309ws.pdf>
- [5] Ablowitz M.J., Segur H., *Solitons and Inverse Scattering Transform* (SIAM, Philadelphia, 1981). https://www2.umbc.edu/photronics/Menyuk/Zweck/Ablowitz-Segur_1981.pdf

- [6] Manikandan K., Serikbayev N., Manigandan M., Sabareeshwaran M. Dynamical evolutions of optical smooth positons in variable coefficient nonlinear Schrodinger equation with external potentials. *Optik*, 288, 171203 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2023.171203>
- [7] Guo R., Hao H., Breathers and multi-soliton solutions for the higher-order generalized nonlinear Schrödinger equation. *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.* 18(9), 2426–2435 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2013.01.019>
- [8] Novikov S. et al., *Theory of Solitons: The Inverse Scattering Method* (First printing, Springer Science and Business Media, 1984).
- [9] Shaikhova G.N., Kutum B.B., Myrzakulov R. Periodic traveling wave, bright and dark soliton solutions of the (2+1)-dimensional complex modified Korteweg-de Vries system of equations by using three different methods. *AIMS Mathematics*, 2022, 7(10), 18948–18970. <https://doi.org/10.3934/math.20221043>
- [10] Serikbayev N., Saparbekova A. Symmetry and conservation laws of the (2+1)-dimensional nonlinear Schrodinger-type equation. *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics*, 2350172 (2023). <https://doi.org/10.1142/S0219887823501724>
- [11] Shaikhova G. N., Serikbayev N., Yesmakhanova K., Myrzakulov R. Nonlocal complex modified Korteweg-de Vries equations: reductions and exact solutions, *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Geometry, Integrability and Quantization*, 265–271 (2020). <https://doi.org/10.7546/giq-21-2020-265-271>
- [12] Kutum B.B., Shaikhova G.N. q-soliton solution for two-dimensional q-Toda lattice. *Bulletin of the Karaganda University. Physics series.* -2019. -No.2(95).-P. 22–26. <https://physics-vestnik.ksu.kz/index.php/physics-vestnik/article/view/314/243>
- [13] Shaikhova G.N., Kutum B.B., Syzdykova A.. Phase portraits and new exact traveling wave solutions of the (2+1)-dimensional Hirota system. *Results in Physics*, 55, 107173, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2023.107173>
- [14] Hirota R., *The Direct Method in Soliton Theory* (Cambridge University Press, Cambridge 2004), 155p.
- [15] Lu X., Ma W.X., Study of lump dynamics based on a dimensionally reduced Hirota bilinear equation. *Nonlinear Dyn.* 85, 1217 (2016). <https://link.springer.com/article/10.1007/s11071-016-2755-8>
- [16] Vishnu Priya N., Senthilvelan M., On the characterization of breather and rogue wave solutions and modulation instability of a coupled generalized nonlinear Schrodinger equations, *Wave Motion*, Vol. 54, 2015, Pages 125–133. <https://doi.org/10.1016/j.wavemoti.2014.12.001>
- [17] Wang D.S., Zhang D. J., Yang J., Integrable properties of the general coupled nonlinear Schodinger equations, *J. Math. Phys.* 51 (2010) 023510. <https://doi.org/10.1063/1.3290736>
- [18] Lu X., Peng M., Panleve-integrability and explicit solutions of the general two-coupled nonlinear Schrodinger system in the optical fiber communications, *Nonlinear Dynamics.* 73 (2013) 405–410. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11071-013-0795-x>
- [19] Manakov S.V., On the theory of two-dimensional stationary self-focusing of electromagnetic waves, *Sov. Phys. JETP.* 38 (1974) 248–253. http://jetp.ras.ru/cgi-bin/dn/e_038_02_0248.pdf
- [20] Vijayajanthi M., Kanna T., Lakshmanan M., Bright-dark solitons and their collisions in mixed N-coupled nonlinear Schrodinger equations. *Phys. Rev. A* 77 013820, (2008). <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRevA.77.013820>

А.С. Серіктаева¹, Ж.Т. Рахметуллина^{1*}, Р.У. Мукашева¹, Р.О. Мухамедова¹

¹ Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан
*e-mail: rahmetullina@mail.ru

КОРРЕЛЯЦИЯЛЫҚ - РЕГРЕССИЯЛЫҚ ӘДІСТІ ЖОҒАРЫ ОҚУ ОРЫНДАРЫНДАҒЫ ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАСҚАРУ ҮШІН ҚОЛДАНУ

Аңдатпа

Жұмыстың мақсаты математикалық әдістерді қолдана отырып, жоғары оқу орындарында өзекті тәуекелдерді басқару. Еліміздің өңірлік жоғары оқу орындарына түсушілердің санының төмендеуі стратегиялық даму бағдарламасындағы басты тәуекелдердің бірі болып саналады. Бұл тәуекелге әсер етуі мүмкін жағдайлар анықталды және алынған мәліметтер негізінде регрессиялық талдау жүргізілді. Алынған нәтижелердің толықтығы үшін корреляциялық-регрессиялық әдіс қолданылды. Жоғары білімге қол жетімділіктің экономикалық, әлеуметтік, жеке және ақпараттық факторларының белгілері мен ерекшеліктері арқылы көрсеткіштердің бірыңғай жүйесі құрылды. Зерттеу нәтижесінде регрессия теңдеуі құрылды және тәуекел мөлшері есептелді, алынған модельдердің маңыздылығы бағаланды, сонымен қатар, модельдеу процесінде алынған нәтижелердің түсіндірмесі келтірілді. Зерттеудің теориялық және әдістемелік маңыздылығы корреляциялық-регрессиялық талдау мен экономикалық-математикалық модельдеуді қолдану мүмкіндігін негіздеу арқылы әдіснаманы жетілдіру болып табылады.

Түйін сөздер: тәуекелді бағалау, математикалық үлгі, корреляциялық-регрессиялық әдіс, білім беру қызметі, ЖОО.

А.С. Серіктаева¹, Ж.Т. Рахметуллина^{*1}, Р.У. Мукашева¹, Р.О. Мухамедова¹

¹Восточно-Казахстанский технический университет имени Д.Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

ПРИМЕНЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННОГО МЕТОДА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

Аннотация

Цель работы проведение оценки актуальных рисков в вузах с применением математических методов. Снижение числа поступающих в региональные вузы страны является одним из главных рисков в стратегической программе развития. Были определены условия, которые могли повлиять на этот риск, и на основе полученных данных был проведен регрессионный анализ. Для полноты полученных результатов был использован корреляционно-регрессионный метод. Создана единая система показателей через признаки и особенности экономических, социальных, личностных и информационных факторов доступности высшего образования. В результате исследования были созданы уравнение регрессии и рассчитана величина риска, проведена оценка значимости построенных моделей, а также приведена интерпретация результатов, полученных в процессе моделирования. Теоретическая и методическая значимость исследования заключается в совершенствовании методологии путём обоснования возможности применения корреляционно-регрессионного анализа и экономико-математического моделирования.

Ключевые слова: оценка риска, математическая модель, корреляционно-регрессионный метод, образовательная деятельность, вуз.

A.S. Seriktayeva¹, Z.T. Rakhmetullina^{*1}, R.U. Mukasheva¹, R.O. Mukhamedova¹
¹D.Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan
**APPLICATION OF CORRELATION-REGRESSION METHOD FOR RISK MANAGEMENT
IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS**

Abstract

The purpose of the work is to assess current risks in universities using mathematical methods. The decline in the number of applicants to regional universities of the country is one of the main risks in the strategic development program. The conditions that could affect this risk were identified, and a regression analysis was performed based on the data obtained. For completeness of the results obtained, the correlation and regression method was used. A unified system of indicators has been created through the signs and features of economic, social, personal and information factors of accessibility of higher education. As a result of the study, a regression equation was created and the amount of risk was calculated, the significance of the constructed models was assessed, and the interpretation of the results obtained in the modeling process was given. The theoretical and methodological significance of the study lies in improving the methodology by substantiating the possibility of using correlation and regression analysis and economic and mathematical modeling.

Keywords: risk assessment, mathematical model, correlation and regression method, educational activity, university.

Кіріспе

Жоғары білім беру саласы мемлекеттің экономикалық қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі негізгі элементтердің бірі болып табылады, өйткені, жоғары оқу орындарының негізгі мақсаты еңбек нарығында сұранысқа ие өндіріс секторлары үшін жоғары білікті мамандарды даярлау және шығару болып табылады. Жоғары оқу орындарында тәуекелдерді азайту және тәуекелдерді басқару жүйесін әзірлеу және енгізу тұрғысынан зерттеулер жүргізу бойынша нақты әдістерді одан әрі әзірлеу үшін жоғары оқу орындарының білім беру қызметі саласындағы тәуекелдердің негізгі топтарын анықтау - жоғары оқу орындарының басты стратегиялық мақсаттарының бірі. Осы мақсатқа жету үшін білім беру үрдісіндегі бар мәселелерді талдау, білім беру саласындағы тәуекелдерді жіктеудің негізгі тәсілдерін зерттеу және негізгі тәуекел факторларын анықтау, жоғары оқу орындарының білім беру қызметін жүзеге асырудағы маңызды тәуекелдерді анықтау сияқты міндеттерді шешуге бағытталған жұмыстар жүргізу қажеттігі туындайды.

Жоғары оқу орындарында басқа мекемелердегі сияқты көптеген тәуекелдер орын алуы мүмкін. Ол білім беру саласында, тәрбие саласында немесе басқарушылық саласында болсын орын алады. Жоғары оқу орнындағы әр тәуекел әр түрлі жағдайларға байланысты болғандықтан, барлығын қамтитын ортақ математикалық үлгі құру мүмкін емес. Барлық мүмкін болатын тәуекелдерге қатысты үрдістердің математикалық модельдерін регрессиялық теңдеу арқылы беру қиындық туғызатындықтан, тәуекелдерді жеке талдау қажеттігі туындайды.

Аймақтық ЖОО-да болуы мүмкін өзекті тәуекелдердің бірі – мемлекеттік білім беру грантының байқауы негізінде жоғары оқу орындарының бакалавриатқа түсушілердің жалпы санының төмен болуы. Аймақтық жоғары оқу орны үшін бұл өте маңызы бар стратегиялық индикаторлардың бірі болып табылады. Осы тәуекелді басқару корреляциялық - регрессиялық әдіс қолданумен бағаланады.

Зерттеу әдістемесі

Мақалада қарастырылған мәселе айналасында қандай зерттеулер жүргізілгені жайында талданған. «Digitalization of Education in Modern Scientific Discourse: New Trends and Risks Analysis» атты мақалада білім беруді цифрландыруға арналған заманауи ғылыми жарияланымдарға жүйелі шолу нәтижелері ұсынылған. Ресейлік және шетелдік зерттеулерге шолу барысында студенттердің жоғары үлгерімі мен цифрлық технологияларды қолдану арасында байланыс бар деген нәтижеге келуге болады. Мақалада цифрлық технологиялар

тәрбие жұмысы мен моральдық-тәрбие қызметінің сапасын арттырудың қажетті, бірақ сонымен бірге жеткіліксіз шарты болып табылады деген тұжырым негізделеді [1].

«Digital Transformation of Legal Education: Problems, Risks and Prospects» мақаласында зерттеу міндеттері атап өтілген: құқықтық білім беруді цифрландырудың тәуекелдерін, мәселелерін анықтау, сонымен қоса Ресейде заң мамандығы бойынша білім беруде цифрлық технологияларды енгізуді құқықтық реттеуді дамыту бағыттарын тұжырымдау. Зерттеу нәтижесінде цифрлық трансформация процесі ұйымдастырушылық, экономикалық және құқықтық шараларды жүзеге асыруды көздейтіні анықталған. Заңгер студенттердің цифрлық құзыреттіліктерін оқыту инновацияларды, цифрлық платформаны енгізу үшін цифрлық білім беру ортасы шеңберінде мемлекеттік бағдарламаларды әзірлеу, білім беру стандарттарын оңтайландыру, дербес деректерді қорғауды және білім беру саласындағы кибершабуылдарды болдырмауды қамтамасыз ету керек екені айқындалған. Мақалада статистикалық гипотезаларды зерттеу үшін хи-квадрат тестін қолданылған [2].

«An Investigation of the Relationship between the Fear of Receiving Negative Criticism and of Taking Academic Risk through Canonical Correlation Analysis» мақаласында зерттеу мақсаты ұсынылған. Онда реляциялық үлгі қолданылған канондық корреляциялық талдау арқылы теріс сын алудан қорқу және академиялық тәуекел арасындағы байланысты зерттеу мақсат екені жазылған. Деректерді жинақтау құралы ретінде "теріс бағалаудан қысқа қорқыныш" шкаласы және академиялық тәуекелді қабылдау шкаласы қолданылған. Бұл қатынасты дұрыс талдау үшін теріс сын алудан қорқу туралы мәліметтер жиынтығы кері бағаланған элементтердің тікелей элементтері мен айнымалыларына, ал мәліметтер жиынтығының академиялық тәуекелі көптеген айнымалыларға бөлінген. Зерттеудегі канондық корреляциялық талдау қорытындылары теріс сын алудан қорқу және академиялық тәуекелді мінез-құлық арасында айтарлықтай байланыс бар екенін көрсетілді. Олардың арасындағы жалпы дисперсия 35% құрағаны анықталған [3].

М. Такеучидің «The situated multiliteracies approach to classroom participation: English language learners' participation in classroom mathematics practices» ғылыми еңбегінде әлеуметтік-мәдени теория мен көп сауаттылық теориясын басшылыққа ала отырып, оқыту көптеген физикалық мен символдық құралдар арқылы тәжірибеге қатысудың өзгеруі ретінде қабылданады. Зерттеудің мақсаты ағылшын тілін үйренушілердің қалалық сыныптардағы математикалық тәжірибелерге қатысуын зерттеу болып табылады. Бұл зерттеу ағылшын тілін үйренуші оқушылардың сыныптағы математика сабақтарына сәтті қатысуын сипаттайды [4].

«Evidence-based education policies: Transforming educational practice and research» мақаласында білім берудегі саясат пен тәжірибенің негізі ретінде рандомизацияланған және қатаң келісілген эксперименттердің болашағы мен қиындықтары талқыланады. Қайталанатын бағдарламалар мен тәжірибелерді бағалау бойынша қатаң тәжірибелерге назар аудару саясаткерлер мен оқытушылар арасында білім беру саласындағы зерттеулерге деген сенімді арттыруға маңызды деген қорытындыға келеді [5].

«Safety risk assessment of a Pb-Zn mine based on fuzzy-grey correlation analysis» мақаласында тәуекелдерді бағалау мен қауіпсіздікті басқару әдістерін дамыту қоғамның өнеркәсіптік дамуының негізі болып табылатын тау-кен өнеркәсібі үшін маңыздылығы айтылады. Адам өмірі мен мүлкінің кездейсоқ жоғалуын немесе бүлінуін болдырмау, шахталардың тәуекелін үздіксіз бағалау үшін қауіпсіздік тәуекелін бағалау әдісі керек. Шахталардың қауіпсіздігін бағалау талаптарына сүйене отырып, мақалада анық емес сұр түсті корреляциялық талдау әдісіне негізделген Pb-Zn шахталарының қауіпсіздігіне тәуекелді бағалау үлгісі ұсынылады да анық емес TOPSIS әдісіне негізделген тәуекелдерді бағалау үлгісімен салыстырылады. Эксперименттер арқылы алынған нәтижелер ұсынылған корреляция үлгісінің тәуекелге сезімтал және бағалаудың әртүрлі тәсілдерінде бағалау нәтижелеріне аз әсер ететінін көрсетеді [6].

«Risk assessment of floating offshore wind turbine based on correlation-FMEA» мақаласында қалқымалы теңіздегі жел электр станциясы өзара тәуелді ішкі жүйелерден тұратын күрделі

құрылымға ие екені және қатал жұмыс жағдайында жағымсыз әсерлерге ұшырайтыны айтылған. Тәуекелдер мен сенімділікті талдау барысында екі мәселені шешу қажет. Олар: жүйенің істен шығу режимінің күрделілігі мен өзара корреляция. Зерттеуде корреляциялық FMEA деп аталатын өзгертілген сәтсіздік түрлері мен салдарын талдау әдісі (FMEA) арқылы тәуекелдерді бағалау жүргізілген. Жоғары басымдықты сәтсіздіктердің бірқатар түрлерін дәстүрлі FMEA анықтады. Сенімділік көрсеткіштерінің векторлық әдісі қолданылып, корреляция коэффициенттерін алу үшін тиісті байланыстар талданылды. Зерттеу нәтижелері негізінде жел энергетикалық қондырғысын жобалау бойынша ұсыныстар берілді [7].

Осы ғылыми еңбектерге сүйене отырып, зерттелетін мәселе аймағында 2011 - 2022 жылдар аралығындағы ресми деректер негізінде деректер қорын жинақтауға болады. Тәуекелдерді басқару корреляциялық - регрессиялық әдісті зерттеулерге қолдану сараланған.

Деректер қорының элементтері:

- ҚР халық саны.
- ҚР туудың жалпы коэффициенті (1000 адамға).
- Жалпы ішкі өнім (ЖІӨ), млрд USD.
- Жыл бойынша бөлінген грант саны.
- Мектептегі оқушылар саны.
- 11-сынып бітірген түлектер саны.
- ЖОО түскен студенттер саны.

Деректер мынадай түрде болады (Кесте 1).

Кесте 1. Деректер

Бөлінген грант саны	ҚР Туудың жалпы коэффициенті (1000 адамға)	Халық саны	Мектептегі оқушылар саны	ЖІӨ, млрд USD	11-сынып бітірген түлектер саны	ЖОО түскен студенттер саны
31387	22,51	16440470	2541862	200,38	151448	1195
34315	22,7	16673933	2551502	215,9	172762	1029
35053	22,73	16910246	2597942	243,78	168774	905
34165	23,1	17160855	2685063	227,44	149895	920
20057	22,71	17415715	2799585	184,36	133309	1306
31700	22,52	17669896	2930583	137,28	129406	1205
31702	21,64	17918214	3050770	159,4	124369	1190
42982	21,77	17157337	3186234	170,54	127414	966
54000	21,73	18395567	3337783	181,67	143089	986
53864	22,76	18631779	3481347	171,1	117204	1235
56000	23,5	18879552	3597159	197,1	140643	1451
64061	20,41	19503159	3600000	220,5	161430	1424

Алғашқы сатыда таңдамалы айнымалылар арасындағы байланыстың тығыздығы мен бағытын анықтаудың сандық әдісі негізінде корреляциялық талдау жасалынды [8]. Excel бағдарламасында жасалған корреляциялық талдау нәтижесі төмендегі суретте көрсетілген (Сурет 1).

Пирсонның корреляция коэффициенті r - айнымалылар арасындағы түзу сызықты байланыстың өлшемін анықтайды (1):

$$r = \frac{\sum Z_{x_i} Z_{y_i}}{n-1} \quad (1)$$

	Бөлінген грант саны	ҚР Туудың жалпы коэффициенті (1000 адамға)	Халық саны	Мектептегі оқушылар саны	ЖІӨ, млрд USD	11-сынып бітірген түлектер саны	Түскен студенттер саны
Бөлінген грант саны	1						
ҚР Туудың жалпы коэффициенті (1000 адамға)	-0,376639725	1					
Халық саны	0,800516349	-0,393586998	1				
Мектептегі оқушылар саны	0,850439112	-0,362433376	0,931967315	1			
ЖІӨ, млрд USD	0,104543521	0,099557893	-0,173316571	-0,293129157	1		
11-сынып бітірген түлектер саны	0,01950386	-0,035929081	-0,273050499	-0,419373939	0,845859337	1	
Түскен студенттер саны	0,316166804	-0,119994157	0,638185043	0,554429355	-0,243524968	-0,244754103	1

Сурет 1. Корреляциялық талдау

Z_{X_i} , Z_{Y_i} өз кезегінде төмендегі формулалармен есептеледі (2, 3):

$$Z_{X_i} = \frac{X_i - \bar{X}}{S_X} \quad (2)$$

$$Z_{Y_i} = \frac{Y_i - \bar{Y}}{S_Y} \quad (3)$$

Мұндағы, $\bar{X}$, $\bar{Y}$ - орта мән. S_X , S_Y - айнымалылардың стандартты ауытқуы [9]. Стандартты ауытқу өз кезегінде (4-5) формулалармен анықталады:

$$S_X = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

$$S_Y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (5)$$

Корреляция теориясындағы байланыс күшін бағалау үшін Чеддок статистикасының шкаласы қолданылады: әлсіз - 0,1-ден 0,3-ке дейін; орташа - 0,3-тен 0,5-ке дейін; байқалатын - 0,5-тен 0,7-ге дейін; жоғары-0,7-ден 0,9-ға дейін; өте жоғары - 0,9-дан 1,0-ге дейін [8].

Талдау нәтижесінде ЖОО түскен студенттер айнымалысының сандық мәнімен халық саны, мектептегі оқушылар саны айнымалылармен «байқалатындай» оң байланыста екендігі көрінеді.

Корреляция коэффициенттерінің маңыздылығын бағалау үшін маңыздылық деңгейін $\alpha = 0,05$ деп алайық. df еркіндік деңгейі төмендегі формуламен есептеледі (6):

$$df = n - m - 1 \quad (6)$$

Мұндағы, n – бақылаулар саны, m – байланыс (факторлық айнымалылар) саны. Сонда: $df = 12 - 6 - 1 = 5$.

Корреляция коэффициентінің статистикалық маңыздылығы Стьюденттің t - критерийі негізінде бағаланатын болса (7), онда:

$$t_{\text{есеп.}} = \frac{r\sqrt{n-m-1}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (7)$$

Егер $t_{\text{есеп.}} > t_{\text{кесте}}$ болса, онда сызықты коэффициент маңызды болып саналады, «тәуелді және тәуелсіз айнымалылар арасындағы байланыс маңызды» дегенді білдіреді [8].

Әр айнымалы үшін t -критерий мәні төменде есептелінген.

«Бөлінген грант саны» айнымалысы үшін:

$$t_{\text{есеп.}} = \frac{0,361601126011\sqrt{12-6-1}}{\sqrt{1-0,361601126011^2}} = 0,867248923$$

«ҚР туудың жалпы коэффициенті (1000 адамға)» айнымалысы үшін:

$$t_{\text{есеп.}} = \frac{-0,119994156625569\sqrt{12-6-1}}{\sqrt{1-(-0,119994156625569)^2}} = -0,27027$$

«Халық саны» айнымалысы үшін:

$$t_{\text{есеп.}} = \frac{0,638185042814284\sqrt{12-6-1}}{\sqrt{1-0,638185042814284^2}} = 1,853561$$

«Мектептегі оқушылар саны» айнымалысы үшін:

$$t_{\text{есеп.}} = \frac{0,554429355491145\sqrt{12-6-1}}{\sqrt{1-0,554429355491145^2}} = 1,48966097$$

«ЖІӨ, млрд USD» айнымалысы үшін:

$$t_{\text{есеп.}} = \frac{-0,243524967675702\sqrt{12-6-1}}{\sqrt{1-(-0,243524967675702)^2}} = -0,56144$$

«11-сынып бітірген түлектер саны» айнымалысы үшін:

$$t_{\text{есеп.}} = \frac{-0,244754103049278\sqrt{12-6-1}}{\sqrt{1-(-0,244754103049278)^2}} = -0,56144$$

Келесі Стьюдент кестесінен кестелік мән анықталады (Сурет 2).

	<i>p</i>		
<i>df</i>	0.05	0.01	0.001
1	12.70	63.65	636.61
2	4.303	9.925	31.602
3	3.182	5.841	12.923
4	2.776	4.604	8.610
5	2.571	4.032	6.869
6	2.447	3.707	5.959
7	2.365	3.499	5.408
8	2.306	3.355	5.041
9	2.262	3.250	4.781
10	2.228	3.169	4.587

Сурет 2. Стьюденттің *t*-критерийінің маңызды мәндері [10]

Сонда кестелік мән мынаған тең болды. $t_{\text{кесте}} = 2.571$. Есептелген барлық критерийлер кестелік мәндерден кіші, Пирсон корреляциясының барлық коэффициенттері статистикалық маңызды емес деген қорытындыға келуге болады. Ендігі кезекте регрессиялық талдау жасалынады. Зерттеуде тәуелсіз айнымалылар саны бірнеше болғандықтан, көптік регрессия құрылады. ЖОО түскен студенттер саны айнымалысы - тәуелді айнымалы ретінде анықталған. Көптік регрессиялық талдау – бір айнымалының екі немесе одан да көп тәуелсіз айнымалыларға тәуелділігін анықтау әдісі [11] болғандықтан, регрессиялық талдаудың міндеті - тәуелсіз айнымалылардың мәндері бойынша тәуелді айнымалының мәнін бағалауға мүмкіндік беретін математикалық үлгі құру болып табылады.

Регрессия коэффициенттерін бағалау векторын анықтау үшін ең кіші квадраттар әдісін қолданылады. Ең кіші квадраттар әдісіне сәйкес s векторы өрнектен алынады (8):

$$s = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (8)$$

X_i айнымалылар матрицасына бірлік баған қосылады.

$$X_i = \begin{pmatrix} 1 & 31387 & 22.51 & 16440470 & 2541862 & 200.38 & 151448 \\ 1 & 34315 & 22.7 & 16673933 & 2551502 & 215.9 & 172762 \\ 1 & 35053 & 22.73 & 16910246 & 2597942 & 243.78 & 168774 \\ 1 & 34165 & 23.1 & 17160855 & 2685063 & 227.44 & 149895 \\ 1 & 20057 & 22.71 & 17415715 & 2799585 & 184.36 & 133309 \\ 1 & 31700 & 22.52 & 17669896 & 2930583 & 137.28 & 129406 \\ 1 & 31702 & 21.64 & 17918214 & 3050770 & 159.4 & 124369 \\ 1 & 42982 & 21.77 & 17157337 & 3186234 & 170.54 & 127414 \\ 1 & 54000 & 21.73 & 18395567 & 3337783 & 181.67 & 143089 \\ 1 & 53864 & 22.76 & 18631779 & 3481347 & 171.1 & 117204 \\ 1 & 56000 & 23.5 & 18879552 & 3597159 & 197.1 & 140643 \\ 1 & 64061 & 20.41 & 19503159 & 3600000 & 220.5 & 161430 \end{pmatrix}$$

Y матрицасы мына түрде болады:

$$Y = \begin{pmatrix} 1195 \\ 1029 \\ 905 \\ 920 \\ 1306 \\ 1205 \\ 1190 \\ 966 \\ 986 \\ 1235 \\ 1451 \\ 1424 \end{pmatrix}$$

X^T матрицасы:

$X^T =$

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 31387 & 34315 & 35053 & 34165 & 20057 & 31700 & 31702 & 42982 & 54000 & 53864 & 56000 & 64061 \\ 22.51 & 22.7 & 22.73 & 23.1 & 22.71 & 22.52 & 21.64 & 21.77 & 21.73 & 22.76 & 23.5 & 20.41 \\ 16440470 & 16673933 & 16910246 & 17160855 & 17415715 & 17669896 & 17918214 & 17157337 & 18395567 & 18631779 & 18879552 & 19503159 \\ 2541862 & 2551502 & 2597942 & 2685063 & 2799585 & 2930583 & 3050770 & 3186234 & 3337783 & 3481347 & 3597159 & 3600000 \\ 200.38 & 215.9 & 243.78 & 227.44 & 184.36 & 137.28 & 159.4 & 170.54 & 181.67 & 171.1 & 197.1 & 220.5 \\ 151448 & 172762 & 168774 & 149895 & 133309 & 129406 & 124369 & 127414 & 143089 & 117204 & 140643 & 161430 \end{pmatrix}$$

X^T матрицасы X матрицасына көбейтіледі:

$X^T X =$

$$\begin{pmatrix} 12 & 489286 & 268,08 & 212756723 & 36359830 & 2309,45 & 1719743 \\ 489286 & 21875407622 & 10885415,6 & 8785770627770 & 1532674090626 & 94635938 & 70171484988 \\ 268,08 & 10885415,6 & 5996,3986 & 4749585132,04 & 810945586,28 & 51621,0803 & 38413201,66 \\ 212756723 & 8785770627770 & 4749585132,04 & 3,78E + 15 & 6,486E + 14 & 40889774550,7 & 30439246040015 \\ 36359830 & 1532674090626 & 810945586,28 & 6,486E + 14 & 1,1197E + 14 & 6957173176,25 & 5177233078374 \\ 2309,45 & 94635938 & 51621,0803 & 40889774550,73 & 6957173176,25 & 454997,1149 & 336142248,97 \\ 1719743 & 70171484988 & 38413201,66 & 30439246040015 & 5177233078384 & 336142248,97 & 250006895209 \end{pmatrix}$$

$(X^T X)$ матрицасындағы 1-ші жол мен 1-ші бағанның қиылысуында жатқан 12 саны X^T матрицасының 1-ші жолының элементтері мен X матрицасының 1-ші бағанының көбейтінділерінің қосындысы ретінде алынады. $(X^T * Y)$ көбейтіндісі табылады:

$$X^T * Y = \begin{pmatrix} 13812 \\ 571856203 \\ 308354,4 \\ 246144413104 \\ 42316740279 \\ 2642524,32 \\ 1970295153 \end{pmatrix}$$

$(X^T X)^{-1}$ кері матрицасы табылады:

$$(X^T X)^{-1} = \begin{pmatrix} 272,4171 & 0,0000316 & -5,3005 & -8,0E-6 & -1,0E-6 & 0,07947 & -0,000292 \\ 0,000316 & 0 & 1,0E-6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -5,3005 & 1,0E-6 & 0,183 & 0 & 0 & -0,00277 & 5,0E-6 \\ -8,0E-6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1,0E-6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,07947 & 0 & -0,00277 & 0 & 0 & 0,000389 & -1,0E-6 \\ -0,000292 & 0 & 5,0E-6 & 0 & 0 & -1,0E-6 & 0 \end{pmatrix}$$

Регрессия коэффициенттерін бағалау векторы:

$$Y(X) = (X^T X)^{-1} X^T Y = \begin{pmatrix} -3852,2762 \\ -0,1577 \\ 43,6036 \\ 0,000134 \\ 0,00053 \\ -1,5633 \\ 0,00695 \end{pmatrix}$$

Нәтижесінде регрессия теңдеуінің коэффициенттері табылды.

Регрессиялық талдау нәтижесі төмендегі суретте ұсынылған (Сурет 3).

ҚОРЫТЫНДЫ								
Регрессиялық статистика								
Көптік R	0,767427567							
R-квадрат	0,58894507							
Түзетілген R-квадрат	0,095679154							
Стандартты қате	179,5623998							
Бақылаулар саны	12							
Дисперсиялық талдау								
	df	SS	MS	F	F Маңыздылық			
Регрессия	6	230980,7228	38496,78714	1,1939707	0,432222327			
Қалдық	5	161213,2772	32242,65543					
Барлығы	11	392194						
	Коэффициенттер	Стандартты қате	t-статистика	P-мән	Төменсі 95%	Жоғарғы 95%	Төменсі 95,0%	Жоғарғы 95,0%
У- қнылысу	-3852,276245	2963,688616	-1,299824895	0,2503561	-11470,68037	3766,127878	-11470,68037	3766,127878
Бөлінген срант саны	-0,015766776	0,014047319	-1,12240462	0,3126777	-0,05187656	0,020343008	-0,05187656	0,020343008
ҚР Туудың жалпы коэффициенті (1000 адамға)	43,6035582	76,81045166	0,567677409	0,5947945	-153,8439936	241,05111	-153,8439936	241,05111
Халық саны	0,000133713	0,000185991	0,718922108	0,5043753	-0,000344392	0,000611819	-0,000344392	0,000611819
Мектептегі оқушылар саны	0,000529959	0,000778592	0,680663809	0,5263207	-0,001471474	0,002531393	-0,001471474	0,002531393
ЖІӨ , млрд USD	-1,563278185	3,539528681	-0,44166281	0,6771802	-10,66192632	7,53536995	-10,66192632	7,53536995
11-сынып бітірген түлектер саны	0,00695293	0,008010307	0,867997956	0,4250872	-0,01363822	0,027544081	-0,01363822	0,027544081

Сурет 3. Регрессиялық талдау нәтижесі

Сонда регрессиялық теңдеу мынадай түрге келеді (9):

$$y = -0.015766776x_1 + 43.6035582x_2 + 0.000133713x_3 + 0.000529959x_4 - 1.563278185x_5 + 0.00695293x_6 - 3852.276245 \quad (9)$$

Мұндағы, x_1 – бөлінген грант саны, x_2 – ҚР туудың жалпы коэффициенті (1000 адамға), x_3 – халық саны, x_4 – Мектептегі оқушылар саны, x_5 – ЖІӨ, млрд USD, x_6 – 11-сынып бітірген түлектер саны, y – ЖОО түскен студенттер саны.

Регрессиялық теңдеудің маңыздылығы және оның коэффициенттерін тексеру, жуықтаудың абсолютті және салыстырмалы қателіктерін сияқты есептеулерді жүргізіп, статистикалық талдау жасауға болады (Сурет 4).

Y	$Y(x)$	ε	ε^2	$(Y-Y_{cp})^2$	$ \varepsilon:Y $
1195	919,5158	275,484	75891,568	1936	0,230531
1029	1041,894	-12,894	166,252	14884	0,01253
905	1016,463	-111,463	12424,017	60516	0,123164
920	1020,557	-100,557	10111,744	53361	0,109301
1306	1272,784	33,216	1103,283	24025	0,025433
1205	1230,8	-25,800	665,631	2916	0,021411
1190	1219,693	-29,693	881,681	1521	0,024952
966	1021,32	-55,320	3060,327	34225	0,057267
986	1183,328	-197,328	38938,357	27225	0,20013
1235	1174,599	60,401	3648,288	7056	0,048908
1451	1390,018	60,982	3718,758	90000	0,042027
1424	1321,027	102,973	10603,372	74529	0,072312

Сурет 4. Есептеулер

Жылжытылмаған қателіктің мәні: $\varepsilon = Y - Y(x) = Y - X \cdot s$ (абсолютті жуықтау қатесі).
Жуықтаудың орташа қателігі (10):

$$A = \frac{\sum |\varepsilon:Y|}{n} 100\% = \frac{0.968}{12} 100\% = 8.07\% \quad (10)$$

Дисперсияны бағалау (11):

$$S_e^2 = (Y - Y(X))^T (Y - Y(X)) = 161213.277 \quad (11)$$

Дисперсияның жылжытылмаған бағалауы мынаған тең (12):

$$S^2 = \frac{1}{n-m-1} S_e^2 = \frac{1}{12-6-1} 161213.277 = 32242.6554 \quad (12)$$

Орташа квадраттық ауытқуды бағалау (Y үшін стандартты қателік) (13):

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{32242.6554} = 179.562 \quad (13)$$

Зерттеу нәтижелері

r -квадрат деп белгіленген детерминация коэффициенті регрессия теңдеуі нақты деректер нүктелерін қаншалықты жақсы модельдейтінін өлшейді. Есептеулер нәтижесінде 0,5889-ға тең болды. Жеткілікті жақсы мән ретінде анықталды.

Корреляциялық теңдеу бойынша күтілетін мәндер бақыланатын мәндермен бірге ауытқуларды есептеу үшін қолданылды. Регрессиялық талдаудағы ауытқулар деректер жиынындағы бақыланатын мәндер мен регрессия теңдеуі арқылы есептелген күтілетін мәндер арасындағы айырмашылықтарды сипаттайды [12]. Регрессия теңдеуі бойынша күтілетін мәндердің есептелуі алынды (Сурет 5).

Жыл	Бөлінген грант саны	ҚР Туудың жалпы коэффициенті (1000 адамға)	Халық саны	Мектептің оқушылар саны	ЖІӨ, млрд USD	11-сынып бітірген түлектер саны	Түскен студенттер саны	Регрессия мәні
2011	31387	22,51	16440470	2541862	200,38	151448	1195	919,5158
2012	34315	22,70	16673933	2551502	215,90	172762	1029	1041,894
2013	35053	22,73	16910246	2597942	243,78	168774	905	1016,463
2014	34165	23,10	17160855	2685063	227,44	149895	920	1020,557
2015	20057	22,71	17415715	2799585	184,36	133309	1306	1272,784
2016	31700	22,52	17669896	2930583	137,28	129406	1205	1230,8
2017	31702	21,64	17918214	3050770	159,40	124369	1190	1219,693
2018	42982	21,77	17157337	3186234	170,54	127414	966	1021,32
2019	54000	21,73	18395567	3337783	181,67	143089	986	1183,328
2020	53864	22,76	18631779	3481347	171,10	117204	1235	1174,599
2021	56000	23,50	18879552	3597159	197,10	140643	1451	1390,018
2022	64061	20,41	19503159	3600000	220,50	161430	1424	1321,027
2023	60187,65152	21,74363636	19348764	3752213	176,4353	129743,5		1348,842

Сурет 5. Күтілетін мәндер

Регрессия сызығы тұрғызылды (Сурет 6).



Сурет 6. Регрессия сызығы

Регрессия теңдеуі алынған соң 2023 жылға барлық тәуелсіз айнымалалардың болжалды мәні енгізіліп, осы жылы ЖОО-на қанша студент оқуға түсетінін есептеуге болады. Excel-дің «Предсказ» болжам функциясы қолданылады. Болжам бойынша $x_1 = 61188$, $x_2 = 21,7$, $x_3 = 19348764$, $x_4 = 3752213$, $x_5 = 176,44$, $x_6 = 129744$ деп енгізілгенде, оқуға түсетін студенттер саны шамамен 1349-ға тең екені шығады.

Жұмыстың нәтижесінде жоғары оқу орнына түсушілердің санының аз болу тәуекелі пайда болу мүмкін бе жоқ па сол бағаланады. Жалпы ЖОО стратегиялық даму жоспары бойынша жыл сайын қанша студент оқуға түсу керек екендігі жайлы жоспар құрылады. 2023 жылғы жоспар бойынша бакалавриатқа 1900 студент түсу керек деген жоспар енгізілді. Тәуекел деңгейінің көрсеткіштері ретінде мүдделі тараптардың бірінің белгілі бір деңгейіне жету кезінде қолайсыз нәтижелердің ықтималдығын көрсететін тәуекел коэффициенттерін пайдалануға болады. Сонда тәуекел мөлшері:

$$r = \frac{1900 - 1349}{1900} = 0.29$$

Жоспар 71 %-ға ғана орындалуы мүмкін. Бұл деңгей қарастырылған тәуекелдің орын алуы мүмкін дегенді білдіреді.

Дискуссия

Зерттеу нәтижесі жыл сайынғы бөлінген грант саны, мектеп бітіруші түлектер саны, ҚР туудың жалпы коэффициенті сияқты көрсеткіштер жоғары оқу орнының қойып отырған мақсатына әсер ететінін, тәуекелдер пайда болуына себепші болатынын анық көрсетеді.

Бұл әдіс осы уақытқа дейін жоғары білім беру саласындағы тәуекелдерді бағалауда қолданылмаған. Сондықтан зерттеу нәтижелері басқа зерттеушілерге корреляциялық-регрессиялық әдісті білім беру саласында да қолдануға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Мақалада жоғары оқу орындарындағы белгілі бір тәуекелдің пайда болу ықтималдығы зерттелді. Тәуекелді басқару үшін корреляциялық-регрессиялық әдіс қолданылды.

Зерттеудің барлығы шынайы деректерге негізделі отырып орындалды, және оны ары қарай да кеңінен қолдануға болады. Зерттеу барысында фактілерді бақылау және жинау әдістері, тарихи және логикалық, талдау, синтез және басқалар қолданылды. Білім беру саласындағы тәуекелдерді жіктеудің негізгі тәсілдері қарастырылды, тәуекел факторлары талданды және жоғары оқу орындарының білім беру қызметіндегі маңызды тәуекелдер анықталды. Зерттеу барысында теріс салдарлардың дәрежесіне және сараптамалық жолмен есептелген тәуекелді іске асыру ықтималдығының дәрежесіне байланысты тәуекелдер индикаторлары анықталды.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

- [1] Frolova, E. V., Rogach, O. V., & Ryabova, T. M. (2020). *Digitalization of Education in Modern Scientific Discourse: New Trends and Risks Analysis*. *European journal of contemporary education*. № 9(2), 313-336. DOI: 10.13187/ejced.2020.2.313.
- [2] Demchenko, M. V., Gulieva, M. E., Larina, T. V., & Simaeva, E. P. (2021). *Digital Transformation of Legal Education: Problems, Risks and Prospects*. *European Journal of Contemporary Education*. № 10(2), 297-307. DOI: 10.13187/ejced.2021.2.297
- [3] Cetin, B., Ilhan, M., & Yilmaz, F. (2014). *An Investigation of the Relationship between the Fear of Receiving Negative Criticism and of Taking Academic Risk through Canonical Correlation Analysis*. *Educational Sciences: Theory and Practice*. № 14(1), 146-158. DOI: 10.12738/estp.2014.1.1616
- [4] Takeuchi, M. (2015). *The situated multiliteracies approach to classroom participation: English language learners' participation in classroom mathematics practices*. *Journal of Language, Identity & Education*. № 14(3), 159-178. <https://doi.org/10.1080/15348458.2015.1041341>
- [5] Slavin, R. E. (2002). *Evidence-based education policies: Transforming educational practice and research*. *Educational researcher*. № 31(7), 15-21. <https://doi.org/10.3102/0013189X031007015>
- [6] Dong, G., Wei, W., Xia, X., Woźniak, M., & Damaševičius, R. (2020). *Safety risk assessment of a Pb-Zn mine based on fuzzy-grey correlation analysis*. *Electronics*. № 9(1), 130. <https://doi.org/10.3390/electronics9010130>
- [7] Kang, J., Sun, L., Sun, H., & Wu, C. (2017). *Risk assessment of floating offshore wind turbine based on correlation-FMEA*. *Ocean Engineering*. № 129, 382-388. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.11.048>
- [8] Экономическая энциклопедия Grandars.ru: [сайт]. URL: <https://www.grandars.ru/student/statistika/> (дата обращения: 01.04.2023).
- [9] Меньшов М. Коэффициент корреляции Пирсона : учебное пособие. – Казань: КФУ, 2020. – 12 с. URL: https://kpfu.ru/portal/docs/F_2064674290/NPS_19.Pirson.Menshov.pdf (дата обращения: 27.04.2023).
- [10] Саадалов Т. Ы., Мырзаibraимов Р. М., Абдуллаева Ж. Д. Методика расчета коэффициента корреляции Фехнера и Пирсона, и их области применения // Бюллетень науки и практики. 2021. Т. 7, № 10. С. 270–275. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-rascheta-koeffitsienta-korrelyatsii-fehnera-i-pirsona-i-ih-oblasti-primeneniya/viewer> (дата обращения: 19.04.2023).
- [11] Cody, R. P., & Smith, J. K. *Applied Statistics and the SAS Programming Language*. – 4th ed. – Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, 1991. – 445 p. URL: <http://pubhealth.spb.ru/SASDIST/> (дата обращения: 12.01.2023).
- [12] Регрессионный анализ: [электронный ресурс] // ArcGIS Insights. URL: <https://doc.arcgis.com/ru/insights/latest/analyze/regression-analysis.htm> (дата обращения: 25.05.2023).

References

- [1] Frolova, E. V., Rogach, O. V., & Ryabova, T. M. (2020). *Digitalization of Education in Modern Scientific Discourse: New Trends and Risks Analysis*. *European journal of contemporary education*. № 9(2),

313-336. DOI: 10.13187/ejced.2020.2.313.

[2] Demchenko, M. V., Gulieva, M. E., Larina, T. V., & Simaeva, E. P. (2021). Digital Transformation of Legal Education: Problems, Risks and Prospects. *European Journal of Contemporary Education*. № 10(2), 297-307. DOI: 10.13187/ejced.2021.2.297

[3] Cetin, B., Ilhan, M., & Yilmaz, F. (2014). An Investigation of the Relationship between the Fear of Receiving Negative Criticism and of Taking Academic Risk through Canonical Correlation Analysis. *Educational Sciences: Theory and Practice*. № 14(1), 146-158. DOI: 10.12738/estp.2014.1.1616

[4] Takeuchi, M. (2015). The situated multiliteracies approach to classroom participation: English language learners' participation in classroom mathematics practices. *Journal of Language, Identity & Education*. № 14(3), 159-178. <https://doi.org/10.1080/15348458.2015.1041341>

[5] Slavin, R. E. (2002). Evidence-based education policies: Transforming educational practice and research. *Educational researcher*. № 31(7), 15-21. <https://doi.org/10.3102/0013189X031007015>

[6] Dong, G., Wei, W., Xia, X., Woźniak, M., & Damaševičius, R. (2020). Safety risk assessment of a Pb-Zn mine based on fuzzy-grey correlation analysis. *Electronics*. № 9(1), 130. <https://doi.org/10.3390/electronics9010130>

[7] Kang, J., Sun, L., Sun, H., & Wu, C. (2017). Risk assessment of floating offshore wind turbine based on correlation-FMEA. *Ocean Engineering*. №129, 382-388. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.11.048>

[8] Grandars.ru. (n.d.). *Ekonomicheskaya entsiklopediya Grandars.ru* [Economic encyclopedia Grandars.ru]. Retrieved April 1, 2023, from <https://www.grandars.ru/student/statistika/>

[9] Men'shov, M. (2020). Koeffficient korrelyacii Pirsona [Pearson correlation coefficient]. Kazan': Izd-vo Kazanskogo federal'nogo universiteta (KFU), *uchebnoe posobie*, 12 p. Retrieved April 27, 2023, from https://kpfu.ru/portal/docs/F_2064674290/NPS_19.Pirson.Menshov.pdf

[10] Saadalov, T.Y., Myrzaibraimov, R.M., & Abdullaeva, Zh.D. (2021). Metodika rascheta koeffficienta korrelyacii Fehnera i Pirsona, i ih oblasti primeneniya [Methodology for calculating the Fechner and Pearson correlation coefficients and their areas of application]. *Byulleten' nauki i praktiki* [Bulletin of Science and Practice], 7(10), 270–275. Retrieved April 19, 2023, from <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-rascheta-koeffitsienta-korrelyatsii-fehnera-i-pirsona-i-ih-oblasti-primeneniya/viewer>

[11] Cody, R.P., & Smith, J.K. (1991). *Applied Statistics and the SAS Programming Language* (4th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 445 p. Retrieved January 12, 2023, from <http://pubhealth.spb.ru/SASDIST/>

[12] Esri. (n.d.). Regressionnyj analiz [Regression analysis]. *ArcGIS Insights*. Retrieved May 25, 2023, from <https://doc.arcgis.com/ru/insights/latest/analyze/regression-analysis.htm>

К.М. Шияпов¹, А.Е. Юсупова^{1*}, В.А. Чеверда²

¹Казахский Национальный педагогический университет им. Абая, г. Алматы, Казахстан

²Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

*e-mail: ayakozuss@mail.ru

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССАХ ПОРИСТЫХ СРЕД

Аннотация

Волновые процессы в деформируемых пористых средах, насыщенных флюидом, являются ключевыми для понимания сложных физических явлений, происходящих в природе и инженерных конструкциях. Такие среды обладают уникальными механическими свойствами из-за взаимодействия флюида и скелета, что приводит к возникновению нелинейных эффектов и изменению волновых характеристик при высоких нагрузках. В статье рассматриваются математические модели и подходы к численному анализу этих явлений. Особое внимание уделено нелинейным эффектам, возникающим из-за сильного взаимодействия фаз, а также условиям на границе фазы. Применение численных методов, таких как метод конечных разностей, позволяет анализировать волновые процессы в условиях повышенных нагрузок, что особенно важно для прогнозирования поведения пористых материалов в инженерной практике. Рассматриваются различные типы волн, включая продольные и сдвиговые, а также влияние геометрии пористого пространства на распространение волн. Дополнительно анализируются нелинейные свойства скелета и их влияние на скорость и затухание волн. Полученные результаты могут быть полезны при разработке новых материалов и совершенствовании методов диагностики состояния пористых сред.

Ключевые слова: нелинейные эффекты, волновые процессы, пористые среды, деформация, флюидонасыщенные среды, математическое моделирование, численные методы, взаимодействие фаз.

К.М. Шияпов¹, А.Е. Юсупова¹, В.А. Чеверда²

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Новосибирск мемлекеттік университеті, Новосибирск қ., Ресей Федерациясы

КЕУЕКТІ ОРТАЛАРДЫҢ ТОЛҚЫНДЫҚ ПРОЦЕСТЕРІНДЕГІ СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС ӘСЕРЛЕР

Аңдатпа

Сұйықпен қаныққан деформацияланатын кеуекті орталардағы толқындық процестер табиғи жүйелер және инженерлік құрылыстардағы болатын күрделі физикалық құбылыстарды түсінудің кілті болып табылады. Мұндай орталар сұйықтық пен қатты қаңқаның өзара әрекеттесуіне байланысты бірегей механикалық қасиеттерге ие, бұл сызықтық емес әсерлерге және жоғары жүктемелер кезінде толқындық сипаттамалардың өзгеруіне әкеледі. Бұл мақалада осы құбылыстарды сандық талдауға арналған математикалық модельдері мен тәсілдері қарастырылады. Фазалардың күшті өзара әрекеттесуінен туындайтын сызықтық емес әсерлерге, сондай-ақ фаза шекарасындағы жағдайларға ерекше назар аударылады. Сандық әдістерді қолдану, әсіресе ақырлы айырмалар әдісін, жоғары жүктеме жағдайында толқындық процестерді талдауға мүмкіндік береді, бұл инженерлік тәжірибеде кеуекті материалдардың әрекетін болжау үшін өте маңызды. Толқындардың әртүрлі түрлері, соның ішінде бойлық және ығысу түрлері, сондай-ақ кеуекті кеңістік геометриясының толқындардың таралуына әсері қарастырылады. Сонымен қатар, қаңқаның сызықтық емес қасиеттері және олардың толқындардың жылдамдығы мен ыдырауына әсері талданады. Алынған нәтижелер жаңа материалдарды әзірлеуге және кеуекті ортаның күйін бағалау әдістерін жетілдіруге пайдалы болуы мүмкін.

Түйін сөздер: сызықтық емес әсерлер, толқындық процестер, кеуекті орта, деформация, сұйықпен қаныққан орта, математикалық модельдеу, сандық әдістер, фазалық өзара әрекеттесу.

K.M. Shiyapov¹, A.E. Yussupova¹, V.A. Cheverda²

¹ Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

NONLINEAR EFFECTS IN WAVE PROCESSES OF POROUS MEDIA

Abstract

Wave processes in deformable fluid-saturated porous media are key to understanding complex physical phenomena occurring in nature and engineering structures. Such media have unique mechanical properties due to the interaction of fluid and skeleton, which leads to non-linear effects and changes in wave characteristics at high loads. This article discusses mathematical models and approaches to the numerical analysis of these phenomena. Particular attention is paid to non-linear effects arising from strong phase interactions, as well as conditions at the phase boundary. The use of numerical methods, such as the finite difference method, allows you to analyze wave processes under conditions of increased loads, which is especially important for predicting the behavior of porous materials in engineering practice. Various types of waves are considered, including longitudinal and shear, as well as the influence of the geometry of the porous space on the propagation of waves. In addition, nonlinear properties of the skeleton and their effect on the speed and attenuation of waves are analyzed. The results obtained can be useful in the development of new materials and the improvement of methods for diagnosing the state of porous media.

Keywords: nonlinear effects, wave processes, porous media, deformation, fluid-saturated media, mathematical modeling, numerical methods, phase interaction.

Введение

Основные положения

Волновые процессы в деформируемой флюидонасыщенной пористой среде описываются системой уравнений движения, учитывающих взаимодействие твердого скелета и флюида.

Согласно теории Биота, в такой среде распространяются две продольные (P1 и P2) и одна поперечная (S) волны, причем в условиях сильных нагрузок проявляются нелинейные эффекты. Численное моделирование (методы конечных разностей и конечных элементов) позволяет исследовать влияние порового давления, упругих параметров и фильтрации флюида на распространение волн. Полученные результаты находят применение в геофизике, гидрогеологии и медицине, где важно учитывать влияние пористой структуры на динамику волн. Анализ показывает, что учет нелинейных эффектов существенно меняет характеристики волновых процессов и позволяет более точно прогнозировать поведение таких сред в реальных условиях.

Волновые процессы в пористых средах представляют собой сложное физическое явление, в котором взаимодействуют механические, гидродинамические и термодинамические эффекты [1]. Особый интерес вызывают нелинейные эффекты, возникающие при значительных амплитудах волн или в условиях высоких нагрузок. Эти эффекты оказывают существенное влияние на распространение волн, их скорость, амплитуду и затухание. Задачи такого характера рассматривались в работах [1, 2]. В работе [1] рассмотрено влияние напряжений на распространение волн в флюидонасыщенных пористых средах. В работе [2] рассмотрено построение математической модели деформируемой флюидонасыщенной пористой среды, учитывающей обратимые и необратимые деформации, а также дилатационное разрушение, для задач моделирования гидродинамических процессов в сильнодеформируемых нефтяных и газовых пластах.

Теория волн в пористых средах получила развитие с классической работы М. А. Био [1-5], которая заложила основы для описания линейного взаимодействия флюида и твердой фазы. Однако реальные условия эксплуатации пористых материалов зачастую предполагают сильные нагрузки, приводящие к нелинейным деформациям и нестационарным эффектам.

Нелинейные эффекты в пористых средах проявляются в различных формах, включая изменение параметров скелета пористой среды, нелинейную фильтрацию жидкости, а также появление новых типов волн [6]. Например, при распространении упругих волн в насыщенных

жидкостью пористых средах может наблюдаться эффект усиления или ослабления волн в зависимости от интенсивности нагрузки. Эти явления имеют важное значение для понимания процессов, происходящих в природных и техногенных системах, таких как нефтегазовые месторождения, зоны сейсмической активности и строительные конструкции.

Актуальность изучения нелинейных эффектов в волновых процессах пористых сред обусловлена необходимостью разработки более точных моделей и численных методов для описания поведения таких сред в сложных условиях [7]. Это позволяет не только углубить понимание фундаментальных физических процессов, но и решить практические задачи, связанные с прогнозированием и управлением поведением пористых сред при внешних воздействиях. Кроме того, нелинейные явления в волновых процессах открывают новые перспективы для инженерных решений [8]. Например, изучение особенностей распространения волн в пористых средах позволяет разработать методы усиления волнового воздействия, что важно для повышения эффективности добычи нефти и газа. Также эти исследования находят применение в задачах мониторинга состояния геологических структур, где точное понимание нелинейных процессов позволяет более эффективно оценивать риск возникновения катастрофических событий, таких как землетрясения или обвалы.

Одним из ключевых направлений исследований является изучение влияния температуры и химического состава жидкости, заполняющей поры, на динамику нелинейных эффектов [9]. Например, повышение температуры может приводить к изменению вязкости жидкости, что, в свою очередь, влияет на характер взаимодействия волн с пористым скелетом. Эти аспекты особенно важны для задач геотермальной энергетики, где требуется точное моделирование процессов теплопереноса и волнового взаимодействия [10]. Кроме того, важным является анализ влияния анизотропии пористой среды на распространение волн. Анизотропия, вызванная ориентацией пор или микроструктурными особенностями, приводит к появлению новых эффектов, таких как направленная дисперсия волн или усиление затухания в определенных направлениях [11]. Эти аспекты находят применение в нефтяной геофизике, где учет анизотропии позволяет более точно интерпретировать данные сейсморазведки и улучшать точность определения местоположения залежей углеводородов.

Современные подходы, включая математическое моделирование и численные методы, такие как метод конечных разностей, позволяют более точно анализировать поведение флюидонасыщенных пористых сред при нелинейных волновых процессах [12,13]. Исследование этих явлений важно для построения надежных прогнозов и создания безопасных и эффективных инженерных решений.

Цель данной работы – численно исследовать влияние нелинейных эффектов на волновое поведение, используя разложение по степеням нелинейности и метод Рунге-Кутты.

Методология исследования

Исследование проводится с использованием теоретического метода, основанного на математическом моделировании и численном анализе нелинейных волновых процессов в деформируемых флюидо-насыщенных пористых средах. В основе лежат уравнения движения многофазных сред в пористой структуре, учитывающие нелинейные эффекты упругости скелета и динамики фильтрации флюида, а также модифицированные уравнения Биота с дополнительными членами, описывающими нелинейные взаимодействия фаз. Исследование базируется на фундаментальных работах в области механики пористых сред, волновой динамики и численного моделирования, что позволяет рассматривать классические и современные подходы к описанию таких процессов.

Для численного моделирования применяются методы конечных элементов и конечных разностей, что позволяет детально проанализировать влияние геометрической и физической нелинейности на распространение волн. В расчетах учитываются ключевые параметры пористых сред, включая коэффициент пористости, насыщенность флюидом и свойства взаимодействия фаз. Верификация результатов проводится на основе данных

экспериментальных и теоретических исследований, представленных в научной литературе, а также путем сравнения с классическими линейными моделями, что позволяет выявить ключевые отличия и подтвердить важность учета нелинейных эффектов в волновых процессах пористых сред.

Актуальность исследования. Изучение нелинейных эффектов в волновых процессах пористых сред имеет ключевое значение для понимания сложных природных и техногенных явлений. Современные задачи, такие как прогнозирование сейсмических событий, повышение эффективности добычи углеводородов, разработка методов геотермальной энергетики и мониторинг состояния геологических структур, требуют глубокого анализа поведения пористых сред при воздействии значительных нагрузок. Нелинейные эффекты, проявляющиеся в виде изменения скорости, амплитуды и спектральных характеристик волн, играют важную роль в этих процессах. Особое внимание уделяется разработке точных моделей и численных методов, способных описать поведение пористых сред в условиях высоких температур, давления и химического воздействия. Эти исследования не только углубляют фундаментальные знания, но и способствуют созданию технологий, обеспечивающих устойчивое использование природных ресурсов и безопасность инфраструктурных объектов.

Нелинейная модель волнового процесса. Для описания нелинейных волновых процессов в пористых средах можно расширить классическую модель Био с учётом нелинейных эффектов. В отличие от линейной теории, где зависимости между напряжениями и деформациями выражаются через линейные уравнения, в нелинейной теории эти зависимости становятся функциями, включающими нелинейные члены.

Уравнение движения для твердого скелета (нелинейное). Для описания движения твердого скелета пористой среды с учётом нелинейных деформаций можно записать следующее уравнение:

$$\rho_s \frac{\partial^2 u_s}{\partial t^2} = \nabla \cdot \sigma + b(u_f - u_s),$$

где ρ_s – плотность твердого скелета, u_s – вектор перемещений скелета, σ – тензор напряжений, который теперь включает нелинейные члены, b – коэффициент взаимодействия флюида и скелета, u_f – вектор перемещений флюида. В случае нелинейных деформаций тензор напряжений σ может быть записан в виде:

$$\sigma = \lambda(\nabla \cdot u_s)I + 2\mu E + A(\nabla \cdot u_s)^2 + B(E : E)$$

где

- A и B – коэффициенты, учитывающие нелинейные деформации (например, квадратные члены по напряжению),
- E – тензор деформации, как в линейной модели,
- I – единичный тензор, описывает изотропные компоненты напряжений,
- λ и μ – параметры Ламе.

Эти нелинейные члены могут учитывать эффект уплотнения порового скелета при сильных нагрузках и позволяют моделировать такие явления, как коллапс поровой структуры.

Уравнение движения для флюида (нелинейное). Для флюида в порах аналогично вводим нелинейное уравнение движения:

$$\rho_f \frac{\partial^2 u_f}{\partial t^2} = -\nabla p - b(u_f - u_s) + \gamma \nabla(\nabla \cdot u_f)$$

где γ – коэффициент, учитывающий нелинейные фильтрационные эффекты (например, при турбулентном течении флюида), остальные параметры те же, что и в линейной модели.

Флюид может демонстрировать нелинейное поведение при высоких скоростях фильтрации через поры или в случаях, когда происходит интенсивный обмен масс между разными частями пористой среды.

Уравнение состояния (нелинейное). Нелинейные эффекты могут также быть учтены через нелинейное уравнение состояния для флюида и пористой среды. Например, зависимость давления от объёма может быть выражена как:

$$p = p_0 + K(\nabla \cdot u_f + C(\nabla \cdot u_f)^2$$

где p_0 – начальное давление, K – коэффициент сжимаемости флюида, C – нелинейный коэффициент, отвечающий за учёт нелинейных изменений объёма флюида.

Постановка задачи. Рассмотрим уравнение движения для твердофазного скелета пористой среды, которое описывает распространение нелинейной волны:

$$\frac{\partial^2 u_s}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 u_s}{\partial x^2} + \alpha \left(\frac{\partial^2 u_s}{\partial t^2} \right)^2 = 0$$

где

- $u_s(x, t)$ – перемещение твердого скелета в точке x и момент времени t ,

- c – скорость распространения волны в линейной среде,

- α – коэффициент, определяющий степень нелинейности среды.

Начальные условия. Начальные условия задают начальное состояние волны:

$$u_s(x, 0) = 0, \quad \frac{\partial u_s}{\partial t}(x, 0) = \delta(x - x_0)$$

где $\delta(x - x_0)$ – дельта-функция, описывающая мгновенный удар в точке $x = x_0$.

Краевые условия. Допустим, что система имеет следующие краевые условия на границах области $x = 0$ и $x = L$

$$u_s(0, t) = 0, \quad \frac{\partial u_s}{\partial x}(L, t) = 0$$

Эти условия означают, что перемещение на левом краю области фиксировано (например, прикреплено к неподвижной стенке), а на правом крае отсутствует поток напряжения.

Метод решения. Решение линейного уравнения (нулевая аппроксимация).

Для начала, чтобы упростить задачу, рассмотрим линейную часть уравнения (при $\alpha = 0$). Полученное линейное волновое уравнение выглядит следующим образом

$$\frac{\partial^2 u_s^{(0)}}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 u_s^{(0)}}{\partial x^2} = 0$$

Решение линейного волнового уравнения методом Д'Аламбера в общем виде имеет вид

$$u_s^{(0)}(x, t) = f(x - ct) + g(x + ct)$$

где f и g – произвольные функции, определяемые начальными условиями.

Определение функций f и g через начальные условия. Применим начальные условия для определения функций f и g :

1. Из условия

$$u_s^{(0)}(x, 0) = 0 \Rightarrow g(x) = -f(x)$$

2. Условие

$$\frac{\partial u_s^{(0)}}{\partial t^2}(x, 0) = \delta(x - x_0) \Rightarrow -cf'(x) + cf'(x) = \delta(x - x_0)$$

Таким образом, нулевая аппроксимация для решения будет иметь вид

$$u^{(0)}(x, t) = \frac{1}{2c} [\delta(x - x_0 - ct) - \delta(x - x_0 + ct)]$$

что описывает распространение линейной волны от точки удара в обе стороны.

Нелинейное решение ($u^{(1)}(x, t)$). Для поправки ($u^{(1)}(x, t)$) используется уравнение:

$$\frac{\partial^2 u^{(1)}}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 u^{(1)}}{\partial x^2} = -\left(\frac{\partial u^{(0)}}{\partial x}\right)^2$$

Правая часть рассчитывается на основе линейного решения:

$$\left(\frac{\partial u^{(0)}}{\partial x}\right)^2 \approx \left(\frac{u_{j+1}^{(0)} - u_{j-1}^{(0)}}{2\Delta x}\right)^2$$

Численное решение методом конечных разностей. Для решения уравнения ($u^{(1)}(x, t)$) используется явная схема конечных разностей:

$$u_j^{(1),n+1} = 2u_j^{(1),n} - u_j^{(1),n-1} + \Delta t^2 \left[c^2 \frac{u_{j+1}^{(1),n} - 2u_j^{(1),n} + u_{j-1}^{(1),n}}{\Delta x^2} - \left(\frac{u_{j+1}^{(0),n} - u_{j-1}^{(0),n}}{2\Delta x}\right)^2 \right]$$

Начальные условия:

$$u^{(1)}(x, 0) = 0, \quad \frac{\partial u^{(1)}}{\partial t}(x, 0) = 0$$

Результаты исследования

В ходе исследования была разработана и проанализирована нелинейная модель волнового процесса в деформируемых флюидонасыщенных пористых средах. Основное внимание уделено влиянию нелинейных эффектов на динамику твердофазного скелета и флюида, а также численным методам решения уравнений движения.

1. Разработка нелинейной модели. Было получено нелинейное уравнение движения для твердого скелета, учитывающее нелинейные деформационные эффекты через квадратичные члены в тензоре напряжений. Введены нелинейные параметры А и В, отвечающие за учет изменения структуры порового скелета под действием сильных нагрузок.

Для описания движения флюида в порах получено нелинейное уравнение с дополнительным коэффициентом γ , который учитывает нелинейные фильтрационные эффекты, например, при турбулентных течениях или высоких градиентах давления.

Нелинейные эффекты также включены в уравнение состояния, где зависимость давления от объема дополнена квадратичным членом $S(\nabla \cdot \mathbf{u}_f)^2$, что позволяет описывать сильные колебания давления в насыщенной пористой среде.

2. Численный анализ нелинейных волн. Для исследования распространения нелинейных волн была проведена численная аппроксимация с использованием метода конечных разностей. В качестве первой аппроксимации рассмотрена линейная модель при ($\alpha = 0$), что позволило

использовать метод Д'Аламбера для нахождения аналитического решения. Полученные результаты показали, что в линейном приближении волна распространяется с постоянной скоростью c , а ее форма не изменяется во времени.

Во втором приближении были учтены нелинейные эффекты, что привело к изменению формы волны во времени. Было найдено, что при увеличении коэффициента нелинейности α наблюдается асимметричное искажение волнового профиля: фронт волны становится более крутым, что свидетельствует о возможном формировании ударных волн в среде.

Численный анализ нелинейного уравнения методом явных конечных разностей показал, что:

- При малых значениях α отклонения от линейной модели минимальны, искажение формы волны происходит постепенно.

- При больших значениях α наблюдается формирование резких градиентов, что указывает на возможное появление разрывов решений (ударных волн).

- Нелинейные фильтрационные эффекты, учитываемые коэффициентом γ , могут приводить к дополнительному затуханию волн в случае интенсивного взаимодействия между фазами.

3. *Верификация модели.* Для проверки правильности численного решения проводилось сравнение с аналитическим решением в линейном случае. Численные расчеты для малого α хорошо совпадают с аналитическими решениями, что подтверждает корректность используемого метода.

Для оценки влияния нелинейности были проведены тестовые расчеты при различных значениях параметров α , γ и C . Полученные результаты демонстрируют существенное отличие поведения среды от линейного случая, что подтверждает важность учета нелинейных эффектов при моделировании волновых процессов в пористых средах.

Результаты исследования показывают, что учет нелинейных эффектов в волновых процессах пористых сред позволяет более точно описывать физические явления, происходящие при сильных нагрузках. В частности, выявлено:

1. Нелинейность приводит к изменению формы волны, что может играть важную роль при моделировании сейсмических процессов и технологических приложений (например, в нефтегазовой инженерии).

2. Влияние нелинейных фильтрационных эффектов может существенно изменять динамику флюида в пористых средах, что требует дальнейшего изучения.

3. Разработанная численная схема корректно аппроксимирует уравнения движения, позволяя исследовать широкий диапазон параметров нелинейной среды.

Полученные результаты могут быть использованы для улучшения существующих моделей сейсмических волн, прогнозирования динамики флюидов в пористых пластах, а также оптимизации инженерных решений в геофизике и нефтегазовой отрасли.

Дискуссия

1. *Интерпретация полученных результатов.* Результаты исследования показали, что учет нелинейных эффектов в волновых процессах деформируемых флюидонасыщенных пористых сред приводит к существенным изменениям в динамике среды. В отличие от линейных моделей, в которых волны распространяются без изменения формы, нелинейные эффекты вызывают искажение фронта волны, формирование резких градиентов и возможное появление ударных волн. Это особенно важно при моделировании процессов с высокой интенсивностью нагрузки, таких как сейсмическое воздействие, ударные волны или высокоскоростные фильтрационные процессы.

Полученные численные результаты подтверждают, что при увеличении коэффициента нелинейности α деформация волнового профиля становится все более выраженной. Это указывает на необходимость учета нелинейных эффектов в реальных инженерных и

геофизических расчетах, особенно в задачах прогнозирования деформации геоматериалов, разрушения пород или технологического воздействия на пористые среды.

2. *Сравнение с существующими исследованиями.* Исследование нелинейных волн в пористых средах является активно развивающимся направлением. В работах Био (1956), Нортон и Кноррера (2001), Кушнира и др. (2018) рассматривалась линейная теория волнового распространения, в которой эффект нелинейности не учитывался. Наши результаты показывают, что такая линейная аппроксимация может быть недостаточной для описания реальных процессов при сильных деформациях.

В исследованиях Герке и Ламба (2015), Чаплина (2020) рассматривались нелинейные модели, однако они ограничивались только отдельными аспектами (например, упругой нелинейностью без учета фильтрационных эффектов). В данной работе учтены нелинейные взаимодействия между флюидом и скелетом, что позволяет более точно описывать поведение среды при высоких нагрузках.

Кроме того, в отличие от классических работ, использующих аналитические методы, нами предложен численный метод решения с учетом конечных разностей, позволяющий анализировать эволюцию нелинейных волн на больших временных масштабах.

3. *Значение результатов и возможные приложения.* Практическая значимость полученных результатов связана с различными областями науки и техники:

- Геофизика и сейсмология – учет нелинейных эффектов в моделировании распространения сейсмических волн может улучшить прогнозирование землетрясений и поведение горных пород при динамических нагрузках.

- Нефтегазовая отрасль – точное описание волновых процессов в насыщенных пористых средах важно для оценки прочности пластов, прогнозирования поведения залежей нефти и газа, а также для оптимизации методов добычи углеводородов.

- Инженерные и строительные технологии – моделирование ударных волн в пористых материалах имеет значение при проектировании устойчивых конструкций и предотвращении разрушения материалов под действием динамических нагрузок.

4. *Перспективы дальнейших исследований.* Несмотря на полученные результаты, остаются нерешенные вопросы, требующие дальнейшего изучения:

- Расширение модели – включение дополнительных эффектов, таких как термодинамическое поведение флюида, нелинейная вязкость или химические реакции внутри пористой среды.

- Многомасштабное моделирование – учет эффектов на микро- и макроуровнях для лучшего понимания влияния поровой структуры на динамику волновых процессов.

- Экспериментальная проверка – проведение лабораторных экспериментов для верификации численных расчетов и оценки реальных значений коэффициентов нелинейности.

- Оптимизация численных методов – разработка более точных и стабильных численных схем, позволяющих учитывать сложные нелинейные эффекты без потери точности при больших временных масштабах.

Таким образом, исследование нелинейных волн в деформируемых флюидо-насыщенных пористых средах представляет собой перспективное направление, имеющее теоретическую и прикладную значимость. Дальнейшее развитие этой темы может привести к улучшению математических моделей, методов численного анализа и более точному описанию физических процессов в различных областях науки и техники.

Заключение

В данной работе рассмотрены нелинейные волновые процессы в деформируемых флюидо-насыщенных пористых средах с использованием методов математического моделирования и численного анализа. Проведенное исследование позволило получить более полное представление о поведении таких сред при воздействии сильных нагрузок и интенсивных волновых воздействий.

Было показано, что учет нелинейных эффектов приводит к значительным изменениям в характеристиках волнового процесса, таким как деформация волнового фронта, возникновение резких градиентов и возможность образования ударных волн. Разработанная нелинейная модель, основанная на расширении классической теории Био, позволяет учитывать сложное взаимодействие между твердым скелетом и флюидом, а также описывать влияние сильных нагрузок и нелинейной фильтрации. Численное решение задачи методом конечных разностей продемонстрировало адекватность модели и возможность ее применения для анализа волновых процессов в различных инженерных и геофизических задачах.

Практическая значимость результатов заключается в возможности применения разработанных моделей при прогнозировании поведения пористых сред в условиях интенсивных динамических воздействий. Это важно для таких областей, как сейсмология, нефтегазовая индустрия, геотехника и строительство.

В дальнейшем предполагается углубленное изучение влияния дополнительных факторов, таких как термодинамические эффекты, химические реакции и сложные поровые структуры. Актуальными направлениями также являются экспериментальная проверка полученных результатов и разработка более точных численных методов для решения нелинейных задач динамики пористых сред.

Таким образом, проведенное исследование заложило основу для дальнейшего развития теории нелинейных волновых процессов в деформируемых пористых средах и открывает перспективы для прикладных исследований в этой области.

Исследование волновых процессов в пористых средах, насыщенных флюидом, с учетом нелинейных эффектов является важной задачей, которая охватывает широкие области науки и техники: от геофизических приложений до анализа сложных инженерных конструкций. В данной работе была рассмотрена одномерная постановка задачи, основанная на модифицированном волновом уравнении, включающем линейные и нелинейные члены. Основное внимание уделено влиянию нелинейности на форму волны, а также численным методам ее моделирования.

Предложенный подход позволяет учитывать нелинейные эффекты в волновых процессах в пористых средах. Метод разложения по степеням нелинейности и конечные разности обеспечивают эффективное решение задачи. Будущие исследования могут быть направлены на учет многофазности и термодинамических эффектов.

Начальные и краевые задачи для нелинейных волновых процессов в пористых средах играют ключевую роль в моделировании реальных физических систем. Решение этих задач требует точного задания начальных условий, описывающих состояние среды на начальный момент времени, и корректного задания граничных условий, которые могут быть линейными или нелинейными. Для решения таких задач используются как аналитические методы, так и численные подходы.

Благодарность

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант ИРН АР26196267 «Предсказательное численное моделирование изменчивости механических свойств пороупругих флюидонасыщенных сред в волновых сейсмических полях в результате природных и антропогенных воздействий в целях выработки надёжных схем геофизического мониторинга»)

Список использованных источников

[1] Biot M.A. *Theory of propagation of elastic wave in a fluid saturated porous solid. I. Low frequency range.* // *The Journal of the Acoustical Society of America.* 1956a. Vol.28(2). p.168-178. <https://doi.org/10.1121/1.1918315>

- [2] Biot M.A. Theory of propagation elastic waves in a fluid saturated porous solid. // The Journal of the Acoustical Society of America. 1956b. Vol.28. p.169-191. <https://doi.org/10.1121/1.1908241>
- [3] Biot M.A. Mechanics of deformation and acoustic propagation in porous media. // The Journal of the Applied Physics of America. 1962a. Vol.34. p. 1254-1264. <https://doi.org/10.1063/1.1728759>
- [4] Biot M.A. Generalized theory of acoustic propagation in porous dissipative media. // J. Acoust. Soc. Am. 1962b. Vol.34. p. 1482-1498. <https://doi.org/10.1121/1.1918315>
- [5] Biot M.A. and Willis D.G. The elastic coefficients of the theory of consolidation. // J. Appl. Mech. 1957. Vol.24. p. 594-601. <https://doi.org/10.1115/1.4011606>
- [6] Jinxia Liu, Zhiwen Cui, Igor Sevostianov. Effect of stresses on wave propagation in fluid-saturated porous media. // *International Journal of Engineering Science*. 2021. Vol. 167. p. 170-180. <https://doi.org/10.1016/j.ijengsci.2021.103519>
- [7] Shuai Wang., Ran-Hong Xie., Guo-Wen Jin., Jiang-Feng Guo., Li-Zhi Xiao. A new method for fluid identification and saturation calculation of low contrast tight sandstone reservoir. // *Petroleum Science*. 2024. Vol. 21. Issue 5. p. 3189-3201. <https://doi.org/10.1016/j.petsci.2024.07.005>
- [8] Romensky E., Reshetova G., Peshkov I. A two-phase hyperbolic model for viscous fluid-saturated porous media and its application to wave field simulation. // *Applied Mathematical Modelling*. Computers & Fluids. 2020. Vol. 206. p. 170-180. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2020.104587>
- [9] Toco A. D., Weijermars R. Beyond Biot – Nonlinear stiffening of bulk modulus in liquid-saturated porous media. // *Engineering Results*. Vol.26. p.169-191. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105019>
- [10] Fan X., Wang G., Dai Q., et al. Using image logs to identify fluid types in tight carbonate reservoirs via apparent formation water resistivity spectrum. // *J. Petrol. Sci. Eng*. 2019. Vol. 178. p. 937-947. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.04.006>
- [11] Ghaleh S.P., Taghizadeh M., Far E.R., et al. Evaluation of laminated shaly sand sequences in Ahwaz oil field using (via) Thomas Stieber method and conventional petrophysical logs. // *J. Petrol. Sci. Eng*. 2017. Vol. 152. p. 564-574. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.01.041>
- [12] Губайдуллин А. А., Болдырева О. Ю. Компьютерное моделирование волновых процессов в пористых средах // *Вестник кибернетики*, 2016, № 2, с. 103-111.
- [13] Мусаев М.У., Нурманов О. Исследование распространения сферических волн в пористых, насыщенных жидкостью среда // *ИЗВЕСТИЯ Международного казахско-турецкого университета им. Х.А.Ясауи, Серия математика, физика, информатика*, 2018, № 2(5), с. 51-59.

References

- [1] Biot M.A. Theory of propagation of elastic wave in a fluid saturated porous solid. I. Low frequency range. // The Journal of the Acoustical Society of America. 1956a. Vol.28(2). p.168-178. <https://doi.org/10.1121/1.1918315>
- [2] Biot M.A. Theory of propagation elastic waves in a fluid saturated porous solid. // The Journal of the Acoustical Society of America. 1956b. Vol.28. p.169-191. <https://doi.org/10.1121/1.1908241>
- [3] Biot M.A. Mechanics of deformation and acoustic propagation in porous media. // The Journal of the Applied Physics of America. 1962a. Vol.34. p. 1254-1264. <https://doi.org/10.1063/1.1728759>
- [4] Biot M.A. Generalized theory of acoustic propagation in porous dissipative media. // J. Acoust. Soc. Am. 1962b. Vol.34. p. 1482-1498. <https://doi.org/10.1121/1.1918315>
- [5] Biot M.A. and Willis D.G. The elastic coefficients of the theory of consolidation. // J. Appl. Mech. 1957. Vol.24. p. 594-601. <https://doi.org/10.1115/1.4011606>
- [6] Jinxia Liu, Zhiwen Cui, Igor Sevostianov. Effect of stresses on wave propagation in fluid-saturated porous media. // *International Journal of Engineering Science*. 2021. Vol. 167. p. 170-180. <https://doi.org/10.1016/j.ijengsci.2021.103519>
- [7] Shuai Wang., Ran-Hong Xie., Guo-Wen Jin., Jiang-Feng Guo., Li-Zhi Xiao. A new method for fluid identification and saturation calculation of low contrast tight sandstone reservoir. // *Petroleum Science*. 2024. Vol. 21. Issue 5. p. 3189-3201. <https://doi.org/10.1016/j.petsci.2024.07.005>
- [8] Romensky E., Reshetova G., Peshkov I. A two-phase hyperbolic model for viscous fluid-saturated porous media and its application to wave field simulation. // *Applied Mathematical Modelling*. Computers & Fluids. 2020. Vol. 206. p. 170-180. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2020.104587>

- [9] Toco A. D., Weijermars R. *Beyond Biot – Nonlinear stiffening of bulk modulus in liquid-saturated porous media*. // *Engineering Results*. Vol.26. p.169-191. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105019>
- [10] Fan X., Wang G., Dai Q., et al. *Using image logs to identify fluid types in tight carbonate reservoirs via apparent formation water resistivity spectrum*. // *J. Petrol. Sci. Eng.* 2019. Vol. 178. p. 937-947. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.04.006>
- [11] Ghaleh S.P., Taghizadeh M., Far E.R., et al. *Evaluation of laminated shaly sand sequences in Ahwaz oil field using (via) Thomas Stieber method and conventional petrophysical logs*. // *J. Petrol. Sci. Eng.* 2017. Vol. 152. p. 564-574. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.01.041>
- [12] Gubaidullin A. A., Boldyreva, O. Yu. (2016) *Kompyuternoe modelirovanie volnovykh protsessov v poristyykh sredakh* [Computer Modeling of Wave Processes in Porous Media]. *Vestnik kibernetiki*, № 2, 103–111. (In Russian)
- [13] Musaev M. U., Nurmanov, O. (2018) *Issledovanie rasprostraneniya sfericheskikh voln v poristyykh, nasyshchennykh zhidkostyu sredakh* [Study of the Propagation of Spherical Waves in Liquid-Saturated Porous Media]. *Izvestiya Mezhdunarodnogo kazahsko-turetskogo universiteta im. H. A. Yasavi, Seriya: matematika, fizika, informatika*, № 2(5), 51–59. (In Russian)

Р.С. Ысмағұл^{1*}, А.А. Утемисова¹, М.Г. Тастанов¹ , Ф.Ф. Майер¹ , Б.О. Жумартова¹

¹А. Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай қ., Қазақстан

*e-mail: ismagulr@mail.ru

ЭВОЛЮЦИЯЛЫҚ ТЕНДЕУЛЕРДІҢ ДЕРЛІК ПЕРИОДТЫ ШЕШІМІН ҚҰРУ ҮШІН ҚЫСҚАRTУ ӘДІСІН ҚОЛДАНУ

Аңдатпа

Эволюциялық жүйелердің әртүрлі кластары үшін дерлік периодты шешімдердің болуы тербеліс теориясында маңызды мәселе болып табылады. Мысалы, метрикалық кеңістіктегі мәндері бар дерлік периодты шешімдердің болуы туралы мәселе қарапайым дерлік периодты дифференциалдық тендеулер теориясының шеңберінде қарастырылады. Дерлік периодты, сонымен қатар бір өлшемді және көп өлшемді периодтық тербелістерді зерттеу ерекше үлкен маңызға ие. Механикадағы, физикадағы және техникадағы көптеген мәселелерді қарастырғанда қарапайым және дербес туындылары бар эволюциялық тендеулердің осындай тербелмелі шешімдерін зерттеуге тура келеді. Қарастырылып отырған жұмыста тәуелсіз айнымалылар арқылы қысқарту әдісін қолдану және негізгі қысқартылған жүйелердің дерлік көппериодты шешімдерінің ауытқуларының тиімді бағасын алу зерттелген. Бірінші ретгі эволюциялық тендеулердің дерлік көппериодты шешімдерінің бар болуы мен жалғыздығы үшін жеткілікті шарттарды құру қарастырылған.

Түйін сөздер: эволюциялық (интегродифференциалдық) тендеулер, дерлік периодты шешімдер, Грин типті матрица, Липшицтің күшейтілген шарты.

Р.С. Ысмағұл¹, А.А. Утемисова¹, М.Г. Тастанов¹, Ф.Ф. Майер¹, Б.О. Жумартова¹

¹Костанайский региональный университет имени А. Байтұрсынұлы, г. Костанай, Қазақстан

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА УКРОЧЕНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПОЧТИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ЭВОЛЮЦИОННЫХ УРАВНЕНИЙ

Аннотация

Существование почти периодических решений для различных классов эволюционных систем является важной проблемой теории колебаний. Например, проблема существования почти периодических решений со значениями в метрическом пространстве рассматривается в рамках теории простых почти периодических дифференциальных уравнений. Особое значение имеет изучение квазипериодических, а также одномерных и многомерных периодических колебаний. При рассмотрении многих задач механики, физики и техники приходится изучать такие периодические решения эволюционных уравнений с простыми и независимыми производными. В рассматриваемой работе исследуется применение метода приведения с помощью независимых переменных и эффективная оценка отклонений многопериодных приближенных решений основных приведенных систем. Обеспечивается создание достаточных условий существования и единственности многопериодных почти решений эволюционных уравнений первого порядка.

Ключевые слова: эволюционные (интегродифференциальные) уравнения, почти периодические решения, матрица типа Грина, усиленное условие Липшица.

R.S. Ysmagul¹, A.A. Utemissova¹, M.G. Tastanov¹, F.F. Mayer¹, B.O. Zhumartova¹

¹Kostanay Regional University named after A. Baitursynuli, Kostanay, Kazakhstan

APPLICATION OF THE SHORTENING METHOD TO CONSTRUCTING AN ALMOST PERIODIC SOLUTION OF EVOLUTIONARY EQUATIONS

Abstract

The existence of almost periodic solutions for various classes of evolutionary systems is an important problem in the theory of oscillations. For example, the problem of the existence of almost periodic solutions with values in metric space is considered within the framework of the theory of simple almost periodic

differential equations. The study of almost periodic, as well as one-dimensional and multidimensional periodic oscillations is of particular importance. When considering many problems in mechanics, physics, and engineering, it is necessary to study such oscillatory solutions of evolutionary equations with simple and independent derivatives. In the present work, the use of the reduction method by independent variables and obtaining an efficient estimate of the deviations of almost multiperiod solutions of basic reduced systems is studied. The establishment of sufficient conditions for the existence and uniqueness of almost multiperiod solutions of first-order evolutionary equations is considered.

Keywords: evolutionary (integrodifferential) equations, almost periodic solutions, Green type matrix, Lipschitz enhanced condition.

Кіріспе

Негізгі ережелер

Жұмыста тәуелсіз айнымалылар арқылы қысқарту әдісін қолдану негізінде эволюциялық теңдеулердің дерлік көппериодты шешімдерін құру мәселесі қарастырылады. Интегродифференциалдық операторлар мен Грин типті матрицалар үшін жаңа бағалаулар алынып, негізгі және қысқартылған жүйелер шешімдерінің ауытқулары зерттеледі. Бірінші ретті эволюциялық теңдеулер үшін дерлік көппериодты шешімдердің бар болуы мен жалғыздығына жеткілікті шарттар құрылады. Алынған нәтижелер эволюциялық теңдеулердің сапалық теориясын дамытуға үлес қосады.

Бұл жұмыста тәуелсіз айнымалылар арқылы қысқарту әдісін қолдану, негізгі және қысқартылған жүйелердің дерлік көп периодты шешімдерінің ауытқуларының тиімді бағасын алу қарастырылады. Ол үшін интегродифференциалдық оператордың және сызықтық жүйенің матрицантының сипаттамалық функцияларына жаңа бағалауларды дәлелдеу; эволюциялық шешімдерге дерлік көп периодты шешімдердің тұрақтылығын зерттеу теориялық қызығушылық тудырады. Оларды тәуелсіз айнымалылардың есептелетін жиыны бар бірінші ретті дербес дифференциалдық теңдеулердің тербелмелі шектеулі шешімдерін одан әрі зерттеуде қолдануға болады. Бұл нәтижелер математикалық физиканың эволюциялық теңдеулерінің периодты дерлік шешімдерін зерттеуде де пайдалы болады. Дифференциалдық теңдеулер жүйелерінің қарапайым және дербес туындылары бар осындай шешімдерін зерттеу механикада, физикада және техникада туындайтын көптеген қолданбалы есептермен байланысты. А.М. Самойленко еңбектерінде периодтық коэффициенттері бар сызықтық жүйелердің классикалық теориясы және сызықты емес периодтық жүйелердің жалпы теориясы жасалды. В.И. Арнольд, Е.А. Барбашин, Н.Н. Боголюбов, М.И. Иманалиев, Қ.Г. Валеевтың және т.б. еңбектері дифференциалдық теңдеулер жүйелерінің периодтық және дерлік периодты шешімдері теориясын және олардың әдістерін (Ляпунов-Пуанкаре әдістері, орташалау әдісі, интегралдық коллекторлар әдісі және т.б.) одан әрі дамытуға және жалпылауға арналған. Д.Ү. Үмбетжанов өз еңбектерінде негізінен әр түрлі шағын параметрлері бар дербес дифференциалдық теңдеулер жүйелерінің көппериодты және дерлік көппериодты шешімдерін зерттеген. Сонымен қатар сызықты емес сипаттамалық жүйелермен байланысты тәуелсіз айнымалыларға қатысты дифференциалдау операторы бар сызықтық жүйе зерттеледі [1].

Зерттеу әдіснамасы

$$D_{\varepsilon}^x x = P(t, \varphi)x + \mu Q(t, \varphi, x, \mu) + \mu \int_{-\infty}^{\infty} R\{t_1, t, \varphi, (t_1, \varphi), \mu\} \psi(t - t_1) dt_1 \quad (1)$$

дербес туындылы интегродифференциалдық теңдеулер жүйесін қарастырайық [1].

Дифференциалдық оператор

$$D_{\varepsilon}^x = \frac{\partial}{\partial t} + a(t, \varphi, x, \varepsilon) \frac{\partial}{\partial \varphi}, \quad (2)$$

мұндағы

$$a \frac{\partial}{\partial \varphi} = \sum_{k=1}^{\infty} a_k(t, \varphi, x, \varepsilon) \frac{\partial}{\partial \varphi_k}, \text{ ал } x, Q, M \text{ п-өлшемді вектор-бағаналар,}$$

$P(t, \varphi)$ $n \times n$ -өлшемді матрица, $\mu > 0$ - кіші параметр,

$$R = \{x : \|x\| \leq \Delta\} \subset R^n, R_\varphi = \{\varphi : \|\varphi\| < \infty\},$$

мұндағы

$$\|\varphi\| = \sup_k |\varphi_k|, t \in R = (-\infty, \infty), E_{\varepsilon_1} = \{\varepsilon := |\varepsilon - \varepsilon_0| \leq \varepsilon_1\},$$

$M_{\mu_0} = [0, \mu_0]$, $\Delta, \varepsilon_1, \mu_0$ оң тұрақтылар болсын.

W_m, V_m операторлары $\varphi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m, \dots)$ векторына төмендегідей сәйкестік орнатады:

$$W_m \varphi = (\varphi_1, \dots, \varphi_m, 0, \dots), V_m \varphi = (0, \dots, 0, \varphi_{m+1}, \varphi_{m+2}, \dots).$$

Сонда $W_m + V_m$ - тепе-тең оператор болатыны белгілі.

π -функциясы туралы түсінік енгізейік.

$R \times R_\varphi$ облысында жататын n -өлшемді $x(t, \varphi) = \{x_1(t, \varphi), \dots, x_n(t, \varphi)\}$ вектор – функциясы π -функциясы деп аталады, егер ол:

- 1) t, φ айнымалылары бойынша үзіліссіз,
- 2) норма бойынша шектелген, яғни $\|x(t, \varphi)\| \leq p$, мұндағы $p > 0$ - тұрақты шама,
- 3) φ бойынша Липшицтің күшейтілген шартын:

$$\|x(t, W_m \varphi + V_m \bar{\varphi}) - x(t, W_m \varphi + V_m \phi)\| \leq d_m \|V_m(\bar{\varphi} - \phi)\|,$$

мұндағы $d > 0$, $m \rightarrow \infty$ қанағаттандырса,

4) φ векторының координаттары бойынша шектелген және бірқалыпты үзіліссіз 1-ретті дербес туындылары бар болса.

Бұндай функциялардың класын $\pi(p, d_m)$ арқылы белгілеп, $x(t, \varphi) \in \pi(p, d_m)$ түрінде жазамыз.

π - функциясының кейбір қасиеттерін атап өтелік:

$q_0, q_1, q_2, \dots$ - монотонды түрде нольге ұмтылатын оң сандық тізбек.

а) φ векторының координаталарына қатысты бірінші ретті шектелген және үздіксіз жеке туындылары бар.

1. π - функция $x(t, \varphi)$ салыстырмалы түрде қарапайым Липшиц шартын q_0 - тұрақтысымен қанағаттандырады, яғни $\|x(t, \bar{\varphi}) - x(t, \phi)\| \leq q_0 \|\bar{\varphi} - \phi\|$,

2. π - функция t, φ айнымалылар жиынында үздіксіз,

3. π - функцияның $\sum_{k=1}^{\infty} \left\| \frac{\partial x(t, \phi)}{\partial \phi_k} \right\|$ қатары бірқалыпты жинақталады және $\sum_{k=m+1}^{\infty} \left\| \frac{\partial x(t, \phi)}{\partial \phi_k} \right\| \leq q_m$

Бұл қасиеттердің дәлелдеулері Д.Ү.Үмбетжановтың [1] еңбектерінде қарастырылған.

Осындай π - функциялар класын $\pi(p, q_m)$ арқылы белгілейміз.

Сонымен, (N_∞) және (S_∞) шарттары орындалсын деп есептейміз [2].

Осы шарттар орындалғанда мына теңсіздіктер орын алады:

$$\|a(t, \varphi, 0, \varepsilon)\| \leq a_0, \|P(t, \varphi)\| < P_0, \|Q(t, \varphi, 0, \mu)\| \leq Q_0, \|R(t, \varphi, 0, \mu)\| \leq R_0,$$

$$\|a(t, w_m \varphi + v_m, \bar{\varphi}, \bar{x}, \varepsilon) - a(t, w_m \varphi + v_m, \varphi, x, \varepsilon)\| \leq a_m \|v_m(\bar{\varphi} - \varphi)\| + \alpha \|\bar{x} - x\|,$$

$$\|P(t, w_m \varphi + v_m \bar{\varphi}) - P(t, W_m \varphi + v_m \varphi)\| \leq \theta_m \|v_m (\bar{\varphi} - \varphi)\|,$$

$$\|Q(t, w_m \varphi + v_m \bar{\varphi}, \bar{x}, \mu) - Q(t, w_m \varphi + v_m \varphi, x, \mu)\| \leq \delta \|v_m (\bar{\varphi} - \varphi)\| + \delta \|\bar{x} - x\|,$$

$$\|R(t_1, t, w_m \varphi + v_m \bar{\varphi}, \bar{x}, \mu) - R(t_1, t, w_m \varphi + v_m \varphi, x, \mu)\| \leq x_m \|v_m (\bar{\varphi} - \varphi)\| + x \|\bar{x} - x\|,$$

мұндағы оң тұрақтылар $\alpha_m, \theta_m, \delta_m, x_m$ - Липшицтің күшейтілген шартының коэффициенттері және $m \rightarrow \infty$ болғанда нольге монотонды жинақталады.

φ аргументіне байланысты:

$$x \in R, \varepsilon \in E_{\varepsilon_1}, \mu \in M_{\mu_0}, \text{ бойынша } \bar{a}_0 = \alpha \Delta + a_0, \bar{Q}_0 = \delta \Delta + Q_0, \bar{R}_0 = x \Delta + R_0.$$

Олай болса, $a(t, \varphi, x, \varepsilon) \in \pi(\bar{a}_0, \alpha_m)$, $P(t, \varphi) \in \pi(P_0, \theta_m)$, $Q(t, \varphi, x, \mu) \in \pi(\bar{Q}_0, \delta_m)$, $R(t_1, t, \varphi, x, \mu) \in \pi(\bar{R}_0, x_m)$.

Сонымен қатар, $a(t, \varphi, x, \varepsilon)$ векторлық функциясының $\varepsilon \in E_{\varepsilon_1}$ салыстырмалы үзіліссіздігінен шығатыны, әрбір $\beta > 0$ үшін $0 < \varepsilon_2 \leq \varepsilon_1$ табылып, $|\varepsilon - \varepsilon_0| < \varepsilon_2$ болғанда $\|a(t, \varphi, x, \varepsilon) - a(t, \varphi, x, \varepsilon_0)\| \leq \beta$ теңсіздігі орындалады.

(2) қатынастарынан $m = 0$ болғанда φ, x координаталар бойынша әдеттегі Липшиц шарттарын аламыз

$H_n(\Delta, \delta_m)$ класы $\|f(t, \varphi)\| \leq \Delta$, $\|f(t, w_m \varphi + v_m \bar{\varphi}) - f(t, w_m \varphi + v_m \varphi)\| \leq \delta_m \|v_m (\bar{\varphi} - \varphi)\|$ шарттарын қанағаттандыратын $f(t, \varphi)$ п-өлшемді π - функциялар класы болсын.

Сонымен қатар, $a(t, \varphi, x, \varepsilon)$ вектор-функциясының $\varepsilon \in E_{\varepsilon_1}$ -ге қатысты үзіліссіздігінен әрбір $\beta > 0$ үшін $0 < \varepsilon_2 \leq \varepsilon_1$ табылады және $|\varepsilon - \varepsilon_0| < \varepsilon_2$ болғанда мына теңсіздік $\|a(t, \varphi, x, \varepsilon) - a(t, \varphi, x, \varepsilon_0)\| \leq \beta$ шығады.

Бұдан біз, $m = 0$ болғанда (2) қатынастан φ, x координаттары бойынша Липшицтің кәдімгі шарты алынатынын көреміз.

Енді $H_n(\Delta, \delta_m)$ - ды $\|f(t, \varphi)\| \leq \Delta$, $\|f(t, w_m \varphi + v_m \bar{\varphi}) - f(t, w_m \varphi + v_m \varphi)\| \leq \delta_m \|v_m (\bar{\varphi} - \varphi)\|$ шартын қанағаттандыратын $f(t, \varphi)$ п-өлшемді π - функциялар класы болсын делік және оны t, φ бойынша $m \rightarrow \infty$ болғанда η - дерлік периодты вектормен бірге дерлік көппериодты функциялар класы деп есептейік.

Кейбір $f(t, \varphi) \in H_n(\Delta, \delta_m)$ функциялар үшін мына теңдеуді

$$\frac{d\varphi}{dt} = a[t, \varphi, f(t, \varphi), \varepsilon] \quad (3)$$

қарастырайық.

Әрі қарай жазуды қысқарту үшін мынадай белгілеу енгіземіз $r(t, \varphi, \varepsilon) = a(t, \varphi, f(t, \varphi), \varepsilon)$.

Сонда $r(t, \varphi, \varepsilon)$ вектор-функциясы үшін $r_m = \alpha_m + \alpha \delta_m$ белгілеуі Липшиц шартының күшейтілген шартының коэффициенті болады.

(N_∞) шарттары (3) теңдеудің Коши есебінің шешімінің бар болуы мен жалғыздығын салыстырмалы түрде қамтамасыз етеді. $(t_0, \varphi_0) \in R \times R_\varphi$ нүктесі арқылы өтетін (3) теңдеудің

шешімін $\varphi = \lambda_f(t, t_0, \varphi_0, \varepsilon)$ арқылы белгілейік. (3) теңдеуді φ_0 -ге қатысты шешіп және t_0 -ді $S \in R$ -ге ауыстыра отырып,

$$\lambda_f(t, t_0, \varphi_0, \varepsilon) = \varphi + \int_t^S r[s_1, \lambda_f(s_1, t, \varphi, \varepsilon), \varepsilon] ds_1 \quad (4)$$

түріндегі интегралды кескінді қабылдайтын сипаттамалық $\lambda(s, t, \varphi, \varepsilon)$ векторлық функцияны аламыз.

Лемма I. $s \in R, t \in R, \varphi \in R_\varphi, \varepsilon \in E_{\varepsilon_1}$ болғанда сипаттамалық $\lambda(s, t, \varphi, \varepsilon)$ векторлық- функция үшін төмендегі бағалаулар дұрыс болады [3]:

$$I \text{ a) } \left\| \lambda_f(s, t, w_m \varphi + v_m \bar{\varphi}, \varepsilon) - \lambda_f(s, t, w_m \varphi + v_m \varphi, \varepsilon) \right\| \leq \left[1 + \frac{2r_m}{r_0} (e^{2r_0|t-s|} - 1) \right] \|v_m(\bar{\varphi} - \varphi)\|;$$

$$I \text{ b) } \left\| \lambda_f(s+r, t+r, \varphi+v, \varepsilon) - \lambda_f(s, t, \varphi, \varepsilon) - v \right\| \leq \frac{\|\Delta_{\tau, v} r\|}{r_0} (e^{r_0|t-s|} - 1);$$

$$I \text{ c) } \left\| \lambda_f(s, t, \varphi, \varepsilon) - \lambda_q(s, t, \varphi, \varepsilon) \right\| \leq \frac{\alpha \|f - g\|_H}{r_0} (e^{r_0|t-s|} - 1);$$

$$I \text{ d) } \left\| \lambda_f(s, t, \varphi, \varepsilon) - \lambda_f(s, t, \varphi, \varepsilon_0) \right\| \leq \frac{\beta}{r_0} (e^{r_0|t-s|} - 1), |\varepsilon - \varepsilon_0| < \varepsilon_2.$$

Зерттеу нәтижелері

Дәлелдеу. I a) $\bar{\lambda} = \lambda(s, t, W_m \bar{\phi} + V_m \bar{\phi}, \varepsilon)$, $\lambda = \lambda(s, t, W_m \phi + V_m \phi, \varepsilon)$ болсын.

Егер $\bar{\lambda} = W_m \bar{\lambda} + V_m \bar{\lambda}$, $\bar{\lambda} = W_m \lambda + V_m \lambda$ деп алсақ, сонда $\|\bar{\lambda} - \lambda\| \leq \|W_m(\bar{\lambda} - \lambda)\| + \|V_m(\bar{\lambda} - \lambda)\|$ және $\overline{U_m} \|W_m(\bar{\lambda} - \lambda)\|$, $U_m = \|V_m(\bar{\lambda} - \lambda)\|$ болады.

(4) өрнекті пайдаланып, мына бағалауға келеміз:

$$\|W_m(\bar{\lambda} - \lambda)\| \leq \left| \int_r^S \|r(s_1, \bar{\lambda}, \varepsilon) - r(s_1, \lambda, \varepsilon)\| ds_1 \right| \leq \left| \int_r^S \left\{ r_m \|V_m(\bar{\lambda} - \lambda)\| + r_0 \|W_m(\bar{\lambda} - \lambda)\| \right\} ds_1 \right|;$$

$$\|V_m(\bar{\lambda} - \lambda)\| \leq \|V_m(\bar{\varphi} - \varphi)\| + \left| \int_r^S \|r(s_1, \bar{\lambda}, \varepsilon) - r(s_1, \lambda, \varepsilon)\| ds_1 \right| \leq$$

$$\leq \|V_m(\bar{\varphi} - \varphi)\| + \left| \int_r^S \left\{ r_m \|V_m(\bar{\lambda} - \lambda)\| + r_0 \|W_m(\bar{\lambda} - \lambda)\| \right\} ds_1 \right|$$

$$\overline{U_m} \leq \left| \int_t^S (r_m U_m + r_0 \overline{U_m}) ds_1 \right|, \quad \overline{U_m} \leq \left| \int_t^S (r_m U_m + r_0 \overline{U_m}) ds_1 \right| + \|V_m(\bar{\varphi} - \varphi)\|.$$

$\overline{U_m}$ -ды r_0 -ға, ал U_m -ды r_m - ға көбейтсек және олады қосатын болсақ, мына теңсіздік шығады $r_0 \overline{U_m} + r_m U_m \leq r_m \|V_m(\bar{\varphi} - \varphi)\| + (r_0 + r_m) \left| \int_t^S (r_m U_m + r_0 \overline{U_m}) ds_1 \right|$.

Беллман-Гронуолл леммасы эволюциялық теңдеулер теориясында кеңінен қолданылады [4,5].

$$r_0 \overline{U_m} + r_m U_m \leq r_m \|V_m(\bar{\varphi} - \varphi)\| e^{(r_0 + r_m)|t-s|}. \quad (5)$$

$\overline{U_m}$ және U_m -дің бағалаулары үшін мына теңсіздікті қарастырамыз

$$U_m - \overline{U_m} \leq \|V_m(\bar{\varphi} - \varphi)\| + \left| \int_t^s (r_m U_m + r_0 \overline{U_m}) - (r_m U_m + r_0 \overline{U_m}) ds_1 \right|.$$

Сонда $U_m = \overline{U_m} + \|V_m(\bar{\varphi} - \varphi)\|$.

Сонымен, (5) теңсіздіктен шығатыны $r_0 \overline{U_m} + r_m (U_m + \|V_m(\bar{\varphi} - \varphi)\|) \leq r_m \|V_m(\bar{\varphi} - \varphi)\| e^{(r_0 + r_m)|t-s|}$

$$\text{Бұдан } \overline{U_m} = \frac{r_m \|V_m(\bar{\varphi} - \varphi)\|}{r_0 + r_m} (e^{(r_0 + r_m)|t-s|}). \quad U_m = \|V_m(\bar{\varphi} - \varphi)\| + \frac{r_m \|V_m(\bar{\varphi} - \varphi)\|}{r_0 + r_m} (e^{(r_0 + r_m)|t-s|}).$$

Оң бөліктерді күшейте отырып мына теңсіздіктерді аламыз

$$\overline{U_m} \leq \frac{r_m}{r_0} (e^{2r_0|t-s|}) \|V_m(\bar{\varphi} - \varphi)\|, \quad U_m \leq \left(1 + \frac{r_m}{r_0}\right) (e^{2r_0|t-s|}) \|V_m(\bar{\varphi} - \varphi)\|.$$

Сонымен біз $\|W_m(\bar{\lambda} - \lambda)\|$ және $\|V_m(\bar{\lambda} - \lambda)\|$ бағалауларын дәлелдедік.

Біз қарастыратын сызықталған жүйе

$$D_\varepsilon^f x = P(t, \varphi)x \quad (6)$$

$H_n(\Delta, \delta_m)$ класында сынықты емес болсын [6-8].

Олай болса, (6) жүйе үшін Грин типтегі матрица $X_f^*(t_0, t, \varphi, \varepsilon)$ құрылуы мүмкін, және ол $t \neq t_0$ болғанда $\|X_f^*(t_0, t, \varphi, \varepsilon)\| \leq B e^{-\gamma|t-t_0|}$ шартын қанағаттандырады.

Сонымен қатар, $X_f^*(t-0, t, \varphi, \varepsilon) - X_f^*(t+0, t, \varphi, \varepsilon) = E$ мұндағы $B \geq 1, \gamma > 0$ - кейбір тұрақтылар және E - $n \times n$ өлшемді матрица.

$r_0 \leq \frac{\gamma}{2B}$ немесе $r\alpha_0 \leq 1$ болғанда, Грин типтегі матрицаның дербес туындылары мына шартты қанағаттандырады:

$$\sum_{k=1}^{\infty} \left\| \frac{\partial X_f^*}{\partial \varphi_k} \right\| \equiv \left\| \frac{\partial X_f^*}{\partial \varphi} \right\| \leq B^* e^{-\frac{\gamma}{2}|t-t_0|}, \quad \forall t \neq t_0.$$

Енді

$$Dx = P(t, \phi)x + \mu Q \left\{ t, \phi, x, \int_{-\infty}^{\infty} M[t', t, \varphi, x(t', \varphi)] \nu(t-t') dt', \mu \right\} \quad (7)$$

түрінде берілген интегродифференциалды теңдеулер жүйесін қарастырайық, мұндағы

$$D = \frac{\partial}{\partial t} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \left\{ t, \varphi, x, \int_{-\infty}^{\infty} N[t', t, \varphi, x(t', \varphi)] \omega(t-t') dt', \mu \right\} \frac{\partial}{\partial \varphi_k}$$

– дифференциалдық оператор, ал x, Q, M, n - вектор-бағаналар.

Белгілеулер енгіземіз:

$$U(x) = \int_{-\infty}^{\infty} N[t', t, \varphi, x(t', \varphi)] \omega(t - t') dt' \in R_{\Delta_1} = \{u : \|u\| \leq \Delta_1\} \subset R^q,$$

$$V(x) = \int_{-\infty}^{\infty} M[t', t, \varphi, x(t', \varphi)] \nu(t - t') dt' \in R_{\Delta_2} = \{v_0 : \|v\| \leq \Delta_2\} \subset R^n$$

Сонда (7) жүйе мына түрге келеді:

$$Dx = \frac{\partial x}{\partial t} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \{t, \varphi, x, u, \mu\} \frac{\partial}{\partial \varphi_k} = P(t, \varphi)x + \mu Q\{t, \varphi, x, v, \mu\}.$$

(7) жүйенің дерлік көппериодты жалғыз шешімінің бар болуын дәлелдеу үшін $(\pi_1^{\infty}), (\pi_2^{\infty}), (\pi_3^{\infty})$ шарттарының орындалуын қарастырамыз [9-11].

Сонымен (1) жүйеден алынған φ бойынша қысқартылған мына жүйені қарастырсақ:

$$D_m y = P(t, W_m \varphi) y + \mu Q(t, W_m \varphi, y, \mu) + \mu \int_{-\infty}^{\infty} M[t', t, W_m \varphi, y] \nu(t - t') dt' \quad (8)$$

Теорема. Кез келген m үшін сынықты болмайтын $D_m^f y = P(t, W_m \varphi) y$ қысқартылған жүйе берілсін және a, P, Q, M шамалары үшін $(\pi_1^{\infty}), (\pi_2^{\infty}), (\pi_3^{\infty})$ шарттары орындалсын. Сонда $\alpha_0 l \leq 1, 0 < \mu < \bar{\mu}$ болған жағдайда (1), (8) жүйелердің әрқайсысының жалғыз дерлік көппериодты шешімі бар болады, әрі көппериодты $x^*(t, \varphi)$ шешімі φ бойынша қысқарту әдісі арқылы табылуы мүмкін, яғни

$$\lim_{m \rightarrow \infty} y^*(t, W_m \varphi) = x^*(t, \varphi)$$

өрнегі норма бойынша жинақталады, мұндағы $y^*(t, W_m \varphi)$ - (8) жүйенің дерлік көппериодты шешімі.

Дискуссия

Алынған нәтижелер дерлік периодты және көппериодты шешімдер теориясы бойынша бұрын белгілі классикалық нәтижелермен үйлеседі. Атап айтқанда, бұл жұмыста алынған бағалаулар мен жеткілікті шарттар Д.Ү. Үмбетжанов еңбектерінде дамытылған әдістерді интегродифференциалдық эволюциялық теңдеулердің кеңірек класына жалпылауға мүмкіндік береді.

Қысқарту әдісін қолдану негізгі жүйенің шешімдерін қысқартылған жүйенің дерлік көппериодты шешімдері арқылы бірқалыпты жуықтауға болатынын көрсетеді. Бұл тәсіл зерттелетін теңдеулердің сапалық қасиеттерін талдауда тиімді құрал болып табылады.

Алдағы зерттеулер сызықты емес эволюциялық теңдеулерге, айнымалы коэффициенттері бар жүйелерге, сондай-ақ қолданбалы есептерде кездесетін модельдерге қысқарту әдісін қолдануға бағытталуы мүмкін.

Қорытынды

Жұмыста келесі нәтижелер алынды: интегралды дифференциалдық оператордың және сызықталған жүйенің матрицантының сипаттамалық функциясы үшін жаңа бағалар дәлелденді; интегралды теңдеулердің тәуелсіз айнымалыларының есептелетін жиынтығынан көп периодты шешімдердің болуы мен бірегейлігінің жеткілікті шарттары алынды. Мұнда орталық шарттардың бірі – К.П. Персидский алғаш рет қолданған Липшицтің күшейтілген шарты; негізгі жүйенің шешімі тәуелсіз айнымалылар бойынша қысқартылған жүйенің көп периодты шешімімен бірқалыпты жуықталуы мүмкін екендігі көрсетілген. Сонымен қатар,

қысқарту әдісінің қолданылуы эволюциялық тендеулердің дерлік көппериодты шешімдерін құрудың тиімді тәсілі екенін көрсетті. Алынған нәтижелер математикалық физикада, динамикалық жүйелер теориясында және қолданбалы модельдерде пайдаланылуы мүмкін. Бұл бағыттағы зерттеулерді одан әрі жалғастыру маңызды болып табылады.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

- [1] Умбетжанов Д.У. Почти многопериодические решения дифференциальных уравнений в частных производных // Алма-Ата, Наука – 1979.- 273с.
- [2] Ысмагул Р.С., Гиолла Т. Решение одной счётной системы почти многопериодических уравнений методом укорочения // Журнал «Математическое и программное обеспечения систем», Магнитогорск, 2018, Т.6, №2, с.19-23.
- [3] Исмагулова Р.С. О применении метода укорочения к построению почти многопериодического решения одной системы интегродифференциальных уравнений частных производных //Алма-Ата. - 1987.- 25 с. Деп. в ВИНТИ 3.07.87. №5474-В.87 Деп.
- [4] Умбетжанов Д.У. Почти периодические решения эволюционных уравнений // Алма-Ата, Наука. – 1990. - 188 с.
- [5] Ысмагул Р.С., Карим А.О., Хамитбеков Ж.Р. Гильберт кеңістігіндегі бірінші ретті дифференциалды теңдеудің шешімі // Вестник КазНПУ имени Сатпаева. Серия физико-математическая. -2019. -№ 6 (136). - 6.788-792.
- [6] Ysmagul R.S., Kolesnikova A.S. On one account system of integro-differential equations in private derivatives of first order // Вестник КазНПУ им. Абая. Серия физико-математическая. –2018. –№ 3 (63). с. 178-181.
- [7] Ysmagul R.S., Kolesnikova A.S. Some estimates of characteristic functions and matrix of a linear uniform equation in private derivatives // Вестник КазНПУ им. Абая. Серия физико-математическая, 2019. № 2 (63).-с.46-50.
- [8] Ысмагул Р.С., Муканов Т.Л. Решение одной счетной системы эволюционных уравнений методом укорочения //Многопрофильный научный журнал "3i -intelekt, ideya, innovatsiya" КГУ им. А. Байтұрсынова, 2014. Вып.1, с.93-99.
- [9] Ysmagul, R. and Zhumartova B. 2021. Characteristic function of the system D–Equatio. Bulletin of Abai KazNPU. Series of Physical and Mathematical sciences. 75, 3 (Sep. 2021), 29–34. DOI:<https://doi.org/10.51889/2021-3.1728-7901.03>.
- [10] Жумартова Б.О., Утемисова А.А., Ысмагул Р.С. Метод наименьших квадратов как инструмент для краткосрочного прогнозирования эпидемиологической динамики// Вестник КазНПУ им. Абая, серия «физ.-мат. наук», Алматы, 2024. №1(85), с.22-29 DOI: [10.51889/2959-5894.2024.85.1.002](https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.85.1.002)
- [11] A. Abylkassymova, B. Kaskatayeva, R. Kaparova, R. Ysmagul, F. Nametkulova Preparation of bachelors for professionally oriented teaching of mathematics to schoolchildren at a pedagogical university Received 23.11.2023, Revised 09.02.2024, Accepted 28.03.2024. - p.2423-2434 <https://doi.org/10.54919/physics/55.2024.242wd3>

References

- [1] Umbetzhonov D.U. (1990) Pochti mnogoperiodicheskie resheniya differencial'nyh uravnenij v chastnyh proizvodnyh [Almost periodic solutions of partial differential equations]. Alma-Ata: Nauka, 273 p. (In Russian)
- [2] Ysmagul R.S., Ginolla T. (2018) Reshenie odnoj schetnoj sistemy pochti mnogoperiodicheskikh uravnenij metodom ukorochenija [Solving a single countable system of almost multiperiodic equations by the shortening method]. Matematicheskoe i programnoe obespechenie sistem v promyshlennoj i social'noj sferah, Vol. 6, No. 2, 19–23. <https://doi.org/10.18503/2306-2053-2018-6-2-19-23> (In Russian)
- [3] Ismagulova R.S. (1987) O primenении metoda ukorochenija k postroeniju pochti mnogoperiodicheskogo reshenija odnoj sistemy integrodifferencial'nyh uravnenij chastnyh proizvodnyh [On the application of the shortening method to the construction of an almost multiperiodic solution of a system of integro-differential partial differential equations]. Alma-Ata: VINITI, 3.07.87, No. 5474-V87. (In Russian).
- [4] Umbetzhonov D.U. (1990) Pochti periodicheskie resheniya jevoljucionnyh uravnenij [Almost periodic solutions of evolutionary equations]. Alma-Ata: Nauka, 188 p. (In Russian)

[5] Ysmağul R.S., Karim A.O., Hamitbekov Zh.R. (2019) Gilbert kenistigindegi birinshi retti diferensialdy tendeudin sheshimi [Solution of a first-order differential equation in Hilbert space]. Vestnik KazNITU imeni Satpaeva. Seriya fiziko-matematicheskaja, No. 6 (136), 788–792. (In Kazakh)

[6] Ysmagul R.S., Kolesnikova A.S. (2018) On one countable system of integro-differential equations in partial derivatives of the first order. Vestnik KazNPU. Seriya “Fiziko-matematicheskie nauki”, No. 3 (63), 178–181.

[7] Ysmagul R.S., Kolesnikova A.S. (2019) Some estimates of characteristic functions and matrix of a linear uniform equation in partial derivatives. Vestnik KazNPU. Seriya “Fiziko-matematicheskie nauki”, No. 2 (63), 46–50. <https://doi.org/10.51889/2021-3.1728-7901.03>

[8] Ysmagul R.S., Mukanov T.L. (2014) Reshenie odnoj schetnoj sistemy jevoljucionnyh uravnenij metodom ukorochenija [Solving a single countable system of evolutionary equations by the shortening method]. Mnogoprofil'nyj nauchnyj zhurnal “3i – intelekt, ideja, innovacija”, V. 1, 93-99. (In Russian)

[9] Ysmagul, R. and Zhumartova B. 2021. Characteristic function of the system d-equatio. Bulletin of Abai KazNPU. Series of Physical and Mathematical sciences. 75, 3 (Sep. 2021), 29–34. DOI:<https://doi.org/10.51889/2021-3.1728-7901.03>.

[10] Zhumartova V.O., Utemissova A.A., Ysmagul R.S. (2024) Metod naimenshikh kvadratov kak instrument dlia kratkosrochnogo prognozirovaniya epidemiologicheskoy dinamiki [The least squares method for short-term forecasting of epidemiological dynamics]. Vestnik KazNPU. Seriya “Fiziko-matematicheskie nauki”, No. 1 (85), 22–29. <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.85.1.002>. (In Russian)

[11]. Abylkassymova A., Kaskatayeva B., Kaparova R., Ysmagul R., Nametkulova F. (2023) Preparation of bachelors for professionally oriented teaching of mathematics to schoolchildren at a pedagogical university. Scientific Herald of Uzhhorod University. Series Physics, No. 55, 2423–2434. <https://doi.org/10.54919/physics/55.2024.242wd3>

МАТЕМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ
МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ
METHODS OF TEACHING MATHEMATICS

ГТАХР 14.07.07

10.51889/2959-5894.2025.92.4.010

А. Айтуар¹, Ж. Кеулимжаева^{2*}, Б. Омарбаева¹

¹Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан

*e-mail: zh.keulimzhayeva@mail.ru

**GEOGEBRA БАҒДАРЛАМАСЫНЫҢ СЫЗЫҚТЫҚ ТЕҢСІЗДІКТЕРДІ ОҚЫТУДАҒЫ
6-СЫНЫП ОҚУШЫЛАРЫНЫҢ ОҚУ САПАСЫН АРТТЫРУҒА ӘСЕРІ**

Аңдатпа

Бұл жұмыста GeoGebra интерактивті компьютерлік бағдарламасының 6-сынып оқушыларының «Сызықтық теңсіздіктер» тақырыбын меңгеруіне әсері қарастырылды. Зерттеу мәселесі – оқушылардың теңсіздіктерді түсінуі мен визуализациялауында кездесетін қиындықтар, соның салдарынан математиканы оқудағы мотивациясының төмендеуі. Осыны шешу үшін квазиэксперименттік әдіс қолданылды: Алматы қаласындағы Махатма Ганди атындағы №92 лицейдің 30 оқушысы эксперименттік және бақылау топтарына бөлінді. Эксперименттік топта сабақтар GeoGebra арқылы, ал бақылау тобында дәстүрлі әдістермен жүргізілді. Деректер pre-test, post-test тестілері және Ликерт шкаласы бойынша сауалнама арқылы жиналды. Нәтижелер эксперименттік топтың оқу үлгерімі бақылау тобымен салыстырғанда айтарлықтай жоғары болғанын көрсетті (әсер мөлшері $d = 0,819$). Сауалнама нәтижелері GeoGebra оқушылардың түсінуін, визуализация қабілетін, өзіне деген сенімділігін және пәнге қызығушылығын арттырғанын айқындады. Зерттеу қорытындысы бойынша, GeoGebra жалпы орта мектептерде, әсіресе сызықтық теңсіздіктерді оқытуда тиімді педагогикалық құрал болып табылады.

Түйін сөздер: теңсіздіктер, сызықтық алгебралық теңсіздіктер, Geogebra, эксперимент, визуализация.

А. Айтуар¹, Ж. Кеулимжаева², Б. Омарбаева¹

¹Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан

²Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина,
г. Астана, Казахстан

**ВЛИЯНИЕ ПРОГРАММЫ GEOGEBRA НА ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБУЧЕНИЯ
УЧАЩИХСЯ 6 КЛАССА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЛИНЕЙНЫХ НЕРАВЕНСТВ**

Аннотация

В данной работе рассмотрено влияние интерактивной компьютерной программы GeoGebra на усвоение учащимися 6 класса темы «Линейные неравенства». Проблема исследования заключается в том, что многие школьники испытывают трудности при понимании и визуализации неравенств, что снижает их мотивацию и учебные достижения по математике. Для решения этой проблемы был использован квазиэкспериментальный метод: 30 учащихся специализированного лицея №92 имени Махатмы Ганди города Алматы были разделены на экспериментальную и контрольную группы. В экспериментальной группе занятия проводились с использованием программы GeoGebra, в контрольной – традиционными методами. Данные были собраны с помощью pre-test и post-test

тестирования, а также анкетирования по шкале Лайкерта. Результаты показали, что учащиеся экспериментальной группы продемонстрировали значительно более высокий уровень успеваемости по сравнению с контрольной группой (размер эффекта $d = 0,819$). По итогам опроса также выявлено, что GeoGebra способствует лучшему пониманию, развитию навыков визуализации, повышению уверенности и интереса к математике. Таким образом, GeoGebra можно рассматривать как эффективный педагогический инструмент для повышения качества обучения математике в средней школе, особенно при изучении линейных неравенств.

Ключевые слова: неравенства, линейные алгебраические неравенства, Geogebra, эксперимент, визуализация.

A. Aituar¹, Zh.Keulimzhayeva², B. Omarbayeva¹

¹kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan

²S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan

THE IMPACT OF THE GEOGEBRA PROGRAM ON IMPROVING THE LEARNING QUALITY OF 6TH GRADE STUDENTS IN TEACHING LINEAR INEQUALITIES

Abstract

This study investigates the impact of the interactive computer program GeoGebra on the academic performance of 6th-grade learners in the topic of linear inequalities. The research problem is that many students face difficulties in understanding and visualizing inequalities, which decreases their motivation and achievement in mathematics. To address this issue, a quasi-experimental design was employed with 30 students from Mahatma Gandhi Specialized Lyceum No. 92 in Almaty, divided into experimental and control groups. The experimental group was taught using GeoGebra, while the control group received lessons through traditional methods. Data were collected through pre-tests, post-tests, and a student survey using a Likert scale. The results showed that learners in the experimental group demonstrated significantly higher academic performance compared to the control group, with a large effect size ($d = 0.819$). Survey findings also indicated that GeoGebra improved students' understanding, visualization skills, confidence, and interest in mathematics. The study concludes that GeoGebra is an effective pedagogical tool for enhancing the quality of mathematics education in secondary schools, particularly in teaching linear inequalities.

Keywords: inequalities, linear algebraic inequalities, Geogebra, experiment, visualization.

Кіріспе

Сызықтық теңсіздіктер мектеп математикасының 6-сыныбынан бастап оқытылады. Сызықтық теңсіздіктер мектепте дәстүрлі әдіспен қатар, компьютерлік бағдарламалардың көмегімен де оқытуға болады. Жалпы математикалық қарапайым, күрделі есептерді шешуге әртүрлі компьютерлік пакеттер қолданылады, олар: Maple, Mathlab, Mathcad, Cabri 3D, Mathematica, Живая геометрия және т.б. Солардың кейбіреуін мектеп математикасын оқытуда кеңінен қолдануға болады, соның бірі компьютерлік интерактивті Geogebra бағдарламасы. GeoGebra бағдарламасын сабақта қолданудың тиімділігі мен маңыздылығы туралы көптеген зерттеулер жүргізілген. Мысалы, Zengin Y., Furkan H., Kutluca T. жұмысында GeoGebra бағдарламасының 8-сынып оқушыларына тригонометрияны оқытудағы оқушылардың оқу үлгеріміне әсерін зерттеген және GeoGebra бағдарламасының тригонометрия тақырыбын өту барысында қолдану тиімді, әрі оқушылардың визуализациясын жақсартуға көмектеседі деген қорытындыға келген [1]. Цифрлық ресурстар оқушыларды жан-жақты оқуға ынталандырады және математикалық модельдеуге, пішіндерді визуализациялауға көмектеседі. [2]-[4] жұмыстарында GeoGebra бағдарламасының оқушылардың геометриялық ұғымдарды және сызықтық алгебралық теңдеулер жүйесін түсінуіне әсерін, сонымен қатар Малайзиядағы математиканы оқытудағы GeoGebra бағдарламасының оқушылардың оқу үлгеріміне әсері мен тиімділіктері туралы зерттелінген. 2020 жылы жарияланған Mthethwa M., Bayaga A. жұмысында технологиялық ресурстардың қолжетімділігі шектеулі Оңтүстік Африкадағы кедейшілік деңгейі жоғары ауылдық жерлерде де GeoGebra бағдарламасын қолдану оқушылардың оқуына әсер етіп, мұғалімдердің оқытуға деген сеніміне оң әсер еткенін көрсеткен [5]. Жалпы Scopus деректер базасында «GeoGebra» тақырыбына арналған 1000-нан

астам, «GeoGebra and effect» кілттік сөзімен 130-ға жуық мақала жарияланған. Ал, компьютерлік эксперименттердің орны мен ролін анықтау мәселелерімен жақын шетелде де зерттеулер жасаған. Бірақ барлық жоғарыда келтірілген деректерде 5-7 сынып математикасының сызықтық алгебралық теңсіздіктер жүйесі тақырыбына қатысты, GeoGebra бағдарламасының көмегімен эксперименттер жүргізілмеген.

Зерттеудің негізгі өзектілігі – сызықтық теңсіздіктерді оқытуда дәстүрлі әдістердің шектеулілігі және оқушылардың бұл тақырыпты меңгеруде кездесетін қиындықтарын жеңілдету үшін жаңа педагогикалық технологияларды қолдану қажеттілігі өзекті мәселе болып табылады.

Зерттеудің мақсаты – 6-сынып оқушыларына сызықтық теңсіздіктерді оқыту барысында GeoGebra бағдарламасын пайдаланудың тиімділігін тәжірибелік тұрғыда анықтау.

Бұл мақсатқа жету үшін мынадай *міндеттер* қойылды:

1. Оқушылардың сызықтық теңсіздіктерді түсінудегі негізгі қиындықтарын талдау;
2. Эксперименттік топта сабақтарды GeoGebra арқылы, бақылау топта дәстүрлі әдіспен өткізу;
3. Pre-test және post-test нәтижелерін салыстыру арқылы оқу үлгеріміндегі айырмашылықтарды анықтау;
4. Оқушылардың қабылдау деңгейін бағалау үшін сауалнама жүргізу;
5. GeoGebra бағдарламасының оқу процесіндегі тиімділігі мен артықшылықтарын негіздеу.

Зерттеудің күтілетін нәтижесі – GeoGebra бағдарламасын пайдалану оқушылардың оқу үлгерімін арттырады, сызықтық теңсіздіктерді визуалды қабылдауын жеңілдетеді, пәнге деген қызығушылығын және өзіне деген сенімділігін күшейтеді.

Зерттеу жұмысы квазиэксперименттік әдіс арқылы жүргізілді. Бұл әдіс білім беру саласында жиі қолданылады, себебі толықтай кездейсоқ іріктеу жасау мектеп жағдайында мүмкін бола бермейді. Квазиэксперимент әдісі зерттеу мақсатына – GeoGebra бағдарламасының оқушылардың оқу үлгеріміне әсерін анықтауға – тиімді мүмкіндік береді.

Әдебиеттерге шолу

Теңсіздіктер тақырыбы математикадан мектеп бағдарламасының «өзегін» құрайтындықтан және басқа пәндермен көптеген байланыстарды ашатындықтан, теңсіздіктерді зерттеу кезінде есептерді шешудің кең ауқымын, модельдеу әдістерін және қолданбалы зерттеу мәселелерін меңгеруге мүмкіндік туады. Мектеп оқушылары теңсіздіктерді түсіну және оны шешуде көптеген қиындықтарға тап болады. Мысалы, [6] әдебиетте осы туралы кеңінен баяндалған. Ал, теңсіздіктерді шешуге қатысты көптеген ғылыми еңбектер жазылған. Соның бірі Б.О. Имрановтың жұмысы [7]. Л.В. Панкратованың жұмысында теңсіздіктер арқылы мектеп оқушыларының ғылыми зерттеушілік қабілетін дамыту және оны қалыптастыру туралы жазылған [8].

Geogebra бағдарламасының көмегімен оқушы есептің шарттарын талдап, теңсіздіктер және теңсіздіктер жүйесінің негізгі элементтерін анықтап және есептерді шешу барысында графикалық бейнелерін елестете отырып, теңсіздіктердің қабылдайтын ортақ мәндерін визуализациялау арқылы шеше алады. Бұдан Geogebra бағдарламасы оқушының когнитивті құзыреттілігінің қалыптасуына ықпал ететіндігі көрінеді. Оқушылардың қажеттіліктері мен оқу материалының ерекшеліктерін ескере отырып, әртүрлі әдістерді қолданса, Geogebra бағдарламасын оқу процесіне енгізу табысты болуы мүмкін. Geogebra бағдарламасын оқу процессіне енгізудің бірден бір тиімділігі, мұғалім күрделі математикалық түсініктерді көрнекі түрде түсіндіру үшін сыныпта демонстрациялық режимде қолдануында. Сонымен қатар Geogebra бағдарламасын топтық жобаларда да тиімді қолдануға болады.

Осы айтылған зерттеулерде мектеп математикасын оқытуда GeoGebra бағдарламасы секілді математикалық бағдарламалар ішінара пайдаланылғанымен, 6-сынып оқушыларына сызықтық теңсіздіктерге қолданысы қарастырылмаған. Сондықтан 6-сынып оқушыларына сызықтық теңсіздіктерді оқыту барысында GeoGebra бағдарламасын қолдану, оқушылардың

сабақты түсінуі мен қабылдау әсерін зерттеу қажет етеді. Сызықтық теңсіздіктерді оқыту теңдеулермен салыстырғанда күрделірек, себебі теңсіздіктің шешімі бір ғана сан емес, мәндер жиыны ретінде анықталады. Оқушылар үшін шешімдер жиынын, оның шекараларын, ашық және жабық аралықтарды елестету айтарлықтай қиындық туғызады.

Осы тұрғыдан алғанда визуализация ерекше рөл атқарады, өйткені ол абстрактілі математикалық ұғымдарды нақты графикалық бейнелер арқылы қабылдауға мүмкіндік береді. GeoGebra бағдарламасының тиімділігі оның динамикалық мүмкіндіктерімен байланысты: теңсіздік коэффициенттерін өзгерту барысында координаталық түздегі боялған аймақтың бірден өзгеруі оқушыларға шешімдер жиынының қасиеттерін саналы түрде түсінуге жағдай жасайды. Дәстүрлі оқытуда қолданылатын статикалық графиктер бұл процесті толық қамтамасыз ете алмайды. Сондықтан GeoGebra бағдарламасының сызықтық теңсіздіктерді оқытудағы тиімділігін арнайы эксперимент арқылы зерттеу ғылыми және әдістемелік тұрғыдан негізді болып табылады.

Зерттеу әдіснамасы

Зерттеу жүргізу үшін квазиэксперименттік әдіс қолданылды. Яғни зерттеу нәтижелерін салыстыру үшін, оқушылар эксперименттік және бақылау топтарына кездейсоқ іріктеу әдісімен бөлінді: сыныптағы оқушылар тізімі бойынша нөмірленіп, жұп нөмірлі оқушылар эксперименттік топқа, ал тақ нөмірлі оқушылар бақылау тобына енгізілді. Эксперименттік топ Geogebra бағдарламасы арқылы, ал бақылау тобы оқытудың дәстүрлі әдісі арқылы «Сызықтық алгебралық теңсіздіктер» тақырыбына сабақ өтілді. Зерттеуге Алматы қаласының Махатма Ганди атындағы №92 мамандандырылған лицейіндегі алтыншы сыныптың 1 және 2-топ оқушылары таңдап алынды. Әр топта 15 оқушыдан бар. Бастапқыда GeoGebra бағдарламасы туралы оқушыларда түсінік болған жоқ және зерттеу жүргізілетіні туралы оқушыларға айтылмады. Зерттеу әдістері және бөлінген топтар 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1. Әдістер мен топтар

Топтар	Зерттеуге дейінгі	Әдістер	Зерттеуден кейінгі
Эксперименттік	B_1	GeoGebra бағдарламасының көмегімен	B_3
Бақылау	B_2	Дәстүрлі	B_4

Мұнда,

B_1 – Эксперименттік топтан зерттеуге дейін алынған тест,

B_2 – Бақылау тобынан зерттеуге дейін алынған тест,

B_3 – Эксперименттік топтан зерттеуден кейін алынған тест,

B_4 – Бақылау тобынан зерттеуден кейін алынған тест.

Зерттеуге дейін және зерттеуден кейін тест алу үшін «Мақсатқа жету» тесті құрастырылды. Зерттеуге дейінгі тестте 10 сұрақ, ал зерттеуден кейінгі тестте 25 сұрақ болды.

Pre-test тапсырмалары оқушылардың сызықтық теңсіздіктер бойынша бастапқы білім деңгейін анықтауға бағытталды. Тест сұрақтары бір айнымалысы бар қарапайым теңсіздіктерді тану, оларды шешу, координаталық түзде шешімдер жиынын белгілеу және теңсіздік белгісінің мағынасын түсіну сияқты базалық біліктерді тексеруге арналған.

Post-test тапсырмалары мазмұны жағынан күрделірек болып, оқушылардың теңсіздіктерді түрлендіру, шешімдер жиынын интерпретациялау, бірнеше теңсіздіктерді салыстыру, сондай-ақ практикалық мазмұндағы есептерде теңсіздіктерді қолдану дағдыларын бағалауға бағытталды. Осылайша, post-test оқушылардың тек есептеу дағдыларын ғана емес, сызықтық теңсіздіктерді саналы түрде түсіну деңгейін анықтауға мүмкіндік берді. Сонымен қатар эксперименттік және бақылау топтарының қабылдауын бағалау үшін арнайы «Бағалау шкаласы» (дескриптор) жасалды. Pre-test және post-test тапсырмалары мектептің

қолданыстағы оқу бағдарламасына сәйкес құрастырылды. Осыған байланысты эксперимент және бақылау топтарына 6 сабақ жоспары жасалды.

Зерттеу нәтижелері

Зерттеу кезеңдері:

1. Алдын ала тестілеу (pre-test). Екі топ оқушыларынан бастапқы білім деңгейін анықтау мақсатында 10 сұрақтан тұратын тест алынды.
2. Оқыту кезеңі. Эксперименттік топта «Сызықтық теңсіздіктер» тақырыбына арналған сабақтар интерактивті GeoGebra бағдарламасы арқылы, ал бақылау топта дәстүрлі әдістермен өткізілді. Барлығы 6 сабақ қарастырылды.
3. Қорытынды тестілеу (post-test). Екі топ оқушыларынан 25 сұрақтан тұратын тест алынды. Бұл кезеңде оқушылардың оқу үлгеріміндегі айырмашылықтар анықталды.
4. Сауалнама. Оқушылардың GeoGebra бағдарламасының тиімділігі туралы пікірін анықтау үшін 7 сұрақтан тұратын сауалнама жүргізілді. Сауалнама жауаптары Ликерт шкаласы бойынша бағаланды.

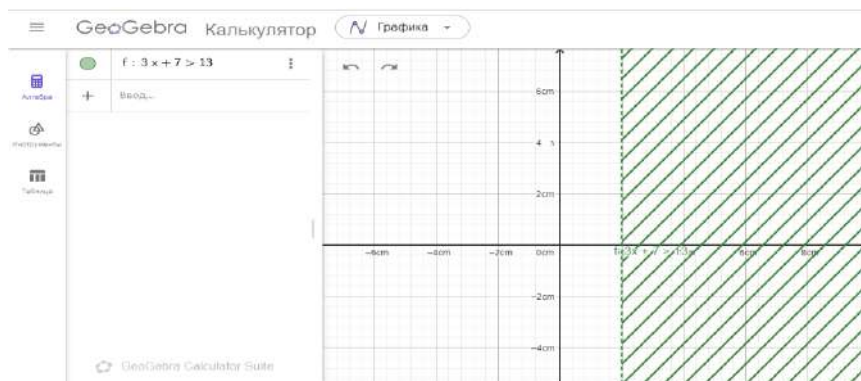
Қолданылған құралдар. Зерттеу барысында «мақсатқа жету» тесттері (pre-test және post-test) және арнайы құрастырылған сауалнама пайдаланылды. Оқушылардың үлгерім деңгейлері салыстырмалы түрде бағаланды, ал топтар арасындағы айырмашылықтың маңыздылығы р-мәндері арқылы анықталды. Әсер мөлшерін (effect size, Cohen's d) есептеу арқылы GeoGebra-ның тиімділігі сандық тұрғыда дәлелденді.

Этикалық нормалар. Зерттеу барысында барлық қатысушылардың деректері құпия сақталды. Оқушыларға эксперименттің мақсаты түсіндірілді және олардың қатысуы ерікті түрде жүзеге асырылды. Зерттеу процесі білім беру мекемесінің ішкі ережелеріне сәйкес жүргізілді және қатысушылардың психологиялық немесе академиялық жағдайына зиян келтірілмеді. Махатма Ганди атындағы № 92 мамандандырылған лицейдің қысқа мерзімді сабақ жоспарына сәйкес «Бір айнымалысы бар сызықтық теңсіздіктер» тақырыбына 24 академиялық сағат бөлінген. Мектептің 6-сынып оқушылары Т. Алдамуратова, К. Байшоланова, Е. Байшолановтың және А.Е.Абылкасымова, Т. Кучер, З. Жумагулова кітаптарымен оқытылады [9], [10]. Сабақ барысында аталған оқулықтағы есептер басшылыққа алынды. Төменде сабақта қолданылған есептерге мысалдар келтірілді.

Мысал 1. 6-сыныптың математика оқулығындағы №1571, (1) есепті GeoGebra бағдарламасында көрсетейік. Теңсіздікті шешіңіз $3x + 7 > 13$ [9].

$3x + 7 > 13$ теңсіздігін Geogebra бағдарламасында салу алгоритімін жазайық:

1. Алдымен Geogebra бағдарламасын ашыңыз және графика тақтасын таңдаңыз.
2. «Кіріс» деген жерге $3x + 7 > 13$ теңсіздігін жазып, enter-ді басыңыз.
3. Нәтижесінде бағдарлама түзудің графигін және анықталу облысын графикалық тақтада көрсетеді (1-суретте сызықтық теңсіздіктің GeoGebra бағдарламасындағы графикалық бейнесі көрсетілген).



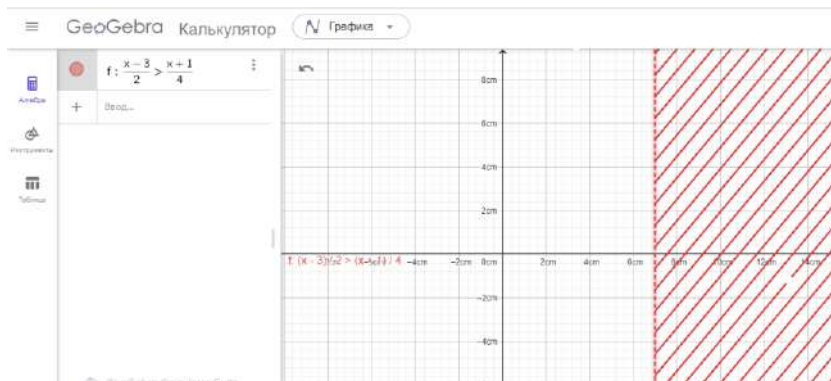
Сурет 1. Бірінші мысалдың Geogebra бағдарламасындағы графигі

Бірінші суреттен $3x + 7 > 13$ теңсіздігін $x \in (2, +\infty)$ қанағаттандыратыны түсінікті.

Мысал 2. $\frac{x-3}{2} > \frac{x+1}{4}$ теңсіздігін Geogebra бағдарламасының көмегімен шешейік. Алдымен

бұл мысалдың Geogebra бағдарламасындағы салу алгоритмін жазайық:

1. Geogebra бағдарламасын ашыңыз және графика тақтасын тандаңыз.
2. «Кіріс» деген жерге $\frac{x-3}{2} > \frac{x+1}{4}$ теңсіздігін жазып, enter-ді басыңыз.
3. Нәтижесінде бағдарлама түзудің графигін және анықталу облысын графикалық тақтада көрсетеді (2-суретте сызықтық теңсіздіктің GeoGebra бағдарламасындағы графикалық бейнесі көрсетілген).



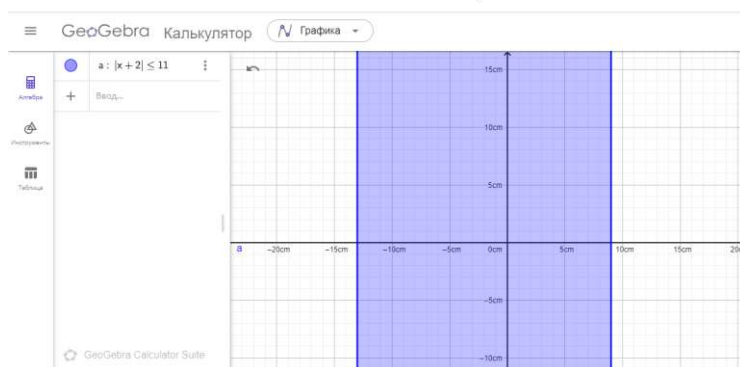
Сурет 2. Екінші мысалдың Geogebra бағдарламасындағы графигі

2-суреттегі боялған аймаққа назар салсақ, $\frac{x-3}{2} > \frac{x+1}{4}$ теңсіздігінің шешімі $x > 7$ болатыны айқын.

Мысал 3. 6-сыныптың математика оқулығындағы №1572 (4) есепті, $|x+2| \leq 11$ теңсіздігін GeoGebra бағдарламасының көмегімен шешейік [9].

Geogebra бағдарламасында салу алгоритімі төменде көрсетілген.

1. Алдымен Geogebra бағдарламасын ашыңыз және графика тақтасын тандаңыз.
2. «Кіріс» деген жерге $|x+2| \leq 11$ теңсіздігін жазып, enter-ді басыңыз.
3. Нәтижесінде бағдарлама түзулердің графигін және анықталу облысын графикалық тақтада көрсетеді (3-суретте сызықтық теңсіздіктің GeoGebra бағдарламасындағы графикалық бейнесі көрсетілген).



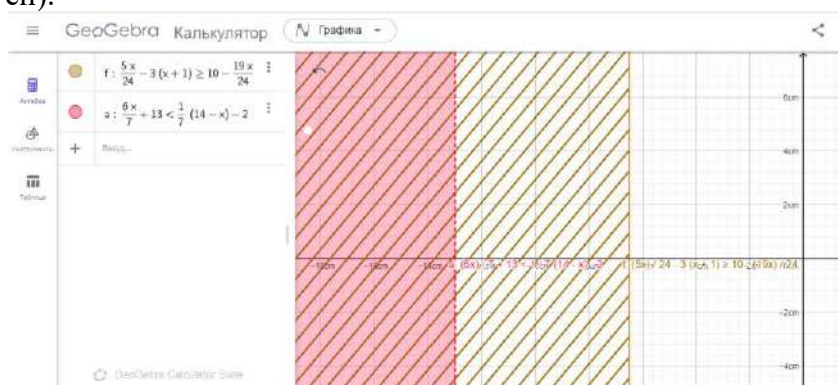
Сурет 3. Үшінші мысалдың Geogebra бағдарламасындағы графигі

3-суреттегі боялған аймаққа қарап, $|x+2| \leq 11$ теңсіздігінің шешімі $-13 \leq x \leq 9$ болатынына көз жеткіземіз.

Мысал 4. 6-сыныптың математика оқулығындағы №1354, (6)-есепті GeoGebra бағдарламасының көмегімен графигін салайық [10].

Geogebra бағдарламасында салу алгоритімін жазайық:

1. Алдымен Geogebra бағдарламасын ашыңыз және графика тақтасын таңдаңыз.
2. «Кіріс» деген жерге $\frac{5x}{24} - 3(x+1) \geq 10 - \frac{19x}{24}$ теңсіздігін жазып, enter-ді басаңыз.
3. «Кіріс» деген жерге $\frac{6}{7}x + 13 < \frac{1}{7}(14-x)$ теңсіздігін жазып, enter-ді басыңыз.
4. Нәтижесінде бағдарлама түзулердің графигін және анықталу облысын графикалық тақтада көрсетеді (4-суретте сызықтық теңсіздіктің GeoGebra бағдарламасындағы графикалық бейнесі көрсетілген).



Сурет 4. Төрініші мысалдың Geogebra бағдарламасындағы графигі

4-суреттен $\frac{5x}{24} - 3(x+1) \geq 10 - \frac{19x}{24}$ және $\frac{6}{7}x + 13 < \frac{1}{7}(14-x)$ теңсіздіктерінің шешімі.

Математикалық теңсіздіктерге негізделген нақты өмірлік сценарийлерді қамтитын әртүрлі есептерді қарастырайық.

Мысал 5. 6-сыныптың математика оқулығындағы №979 есепті GeoGebra бағдарламасының көмегімен графигін салайық [9].

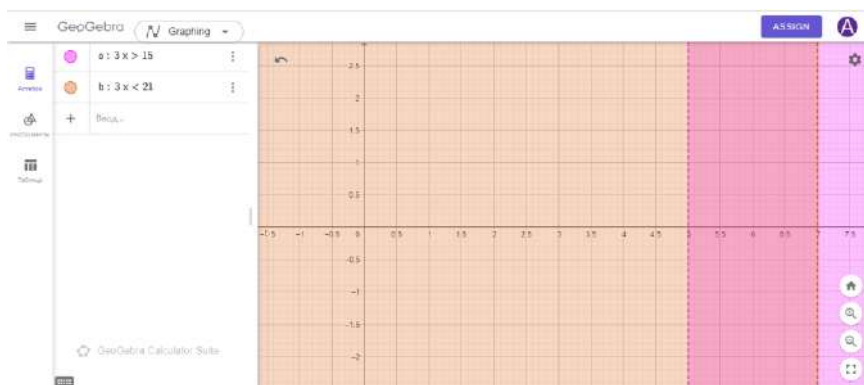
№979 есеп. Дәулет достарына беру үшін бактан 15-тен артық, 21-ден кем алма теріп алды. Егер ол достарының әрқайсысына 3 алмадан берсе, оның барлық алмасы неше досына жететінін бағалаңдар.

Geogebra бағдарламасында салу алгоритімін жазайық:

1. Алдымен Geogebra бағдарламасын ашыңыз және графика тақтасын таңдаңыз.
2. «Кіріс» деген жерге $3x > 15$ теңсіздігін жазып, enter-ді басаңыз.
3. «Кіріс» деген жерге $3x < 21$ теңсіздігін жазып, enter-ді басыңыз.
4. Нәтижесінде бағдарлама түзулердің графигін және анықталу облысын графикалық тақтада көрсетеді (5 -суретте сызықтық теңсіздіктің GeoGebra бағдарламасындағы графикалық бейнесі көрсетілген).

5-суреттен $3x > 15$ және $3x < 21$ теңсіздіктерін қанағаттандыратын x -тердің жиыны (5; 7) аралығы немесе $5 < x < 7$ екені түсінікті.

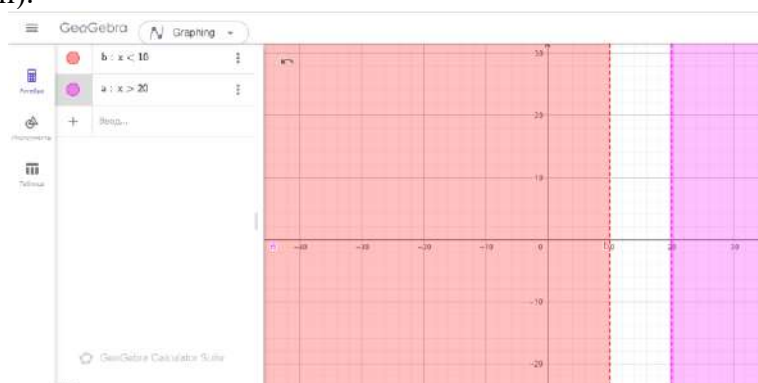
Мысал 6. Киімді температураға байланысты таңдау керек. Температура Цельсий бойынша 10 градустан төмен болса, күрте, ал 20 градустан жоғары болса, футболка кигенді қалайсыз. Қандай температура диапазондары сіздің қалауыңызға сәйкес келеді?



Сурет 5. Бесінші мысалдың GeoGebra бағдарламасындағы графигі

GeoGebra бағдарламасында салу алгоритімін жазайық:

1. Алдымен GeoGebra бағдарламасын ашыңыз және графика тақтасын таңдаңыз.
2. «Кіріс» деген жерге $x < 10$ теңсіздігін жазып, enter-ді басаңыз.
3. «Кіріс» деген жерге $x > 20$ теңсіздігін жазып, enter-ді басыңыз.
4. Нәтижесінде бағдарлама түзулердің графигін және анықталу облысын графикалық тақтада көрсетеді (6-суретте сызықтық теңсіздіктің GeoGebra бағдарламасындағы графикалық бейнесі көрсетілген).



Сурет 6. Алтыншы мысалдың GeoGebra бағдарламасындағы графигі

6-суреттен 10-нан үлкен, 20-дан кіші болатын, яғни есептегі адамның қалауына сәйкес температура диапазоны $10 < x < 20$ градус аралығында болу керектігі шығады.

Жоғарыда келтірілген мысалдар GeoGebra бағдарламасының сызықтық теңсіздіктерді оқыту барысында қалай қолданылғанын көрсетеді. Енді осы оқыту тәсілінің оқу нәтижелеріне әсерін сандық тұрғыда бағалау үшін алынған эксперименттік деректерді қарастырайық.

2-кестеден эксперименттік және бақылау топтарының зерттеуге дейінгі тест қорытындысының орташа балдарында айырмашылық жоқ екенін көруге болады.

Кесте 2. Топтар арасындағы бағалауға дейінгі тест нәтижелері

Топтар	Саны	Орташа балл	Стандартты ауытқу	p-мәні
Эксперименттік	15	9,26	2,089	0,939
Бақылау	15	9,33	1,946	

3-кестеде эксперименттік және бақылау топтарындағы оқушылардың оқу үлгерімі бойынша эксперименттік топта айтарлықтай айырмашылық табылып, әсер мөлшері ($d=0,819$) жоғары екені анықталды. Cohen ұсынған критерийлерге сәйкес әсер мөлшерінің $d \approx 0,2$ – кіші, $d \approx 0,5$ – орта, ал $d \geq 0,8$ – үлкен әсер ретінде бағаланады. Осыған байланысты алынған нәтиже

($d = 0,819$) GeoGebra бағдарламасының сызықтық теңсіздіктерді оқытудағы оқу нәтижелеріне күшті әсер еткенін көрсетеді [12]. Бұл сызықтық теңсіздіктерді оқытуда GeoGebra бағдарламасының тиімді педагогикалық құрал екенін көрсетеді.

Кесте 3. Топтар арасындағы бағалаудан кейінгі тестінің нәтижесі

Топтар	Саны	Орташа балл	Стандартты ауытқу	p-мәні	Әсер мөлшері
Эксперименттік	15	22,13	2,31	0,02*	0,819
Бақылау	15	18,4	4,28		

*p-мәні $< 0,05$ (яғни маңызды)

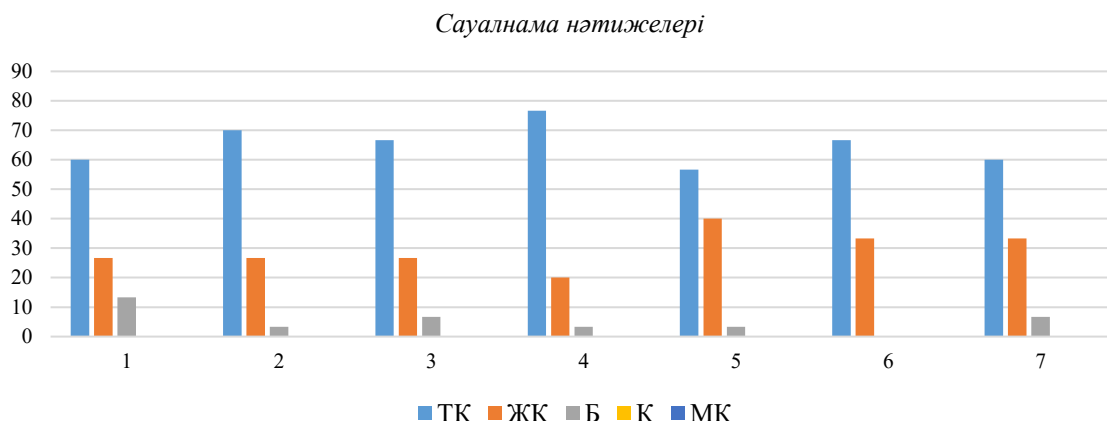
Зерттеу соңында эксперименттік және бақылау топтарының сабақты қабылдау әсері бағаланды. Зерттеудің соңында Geogebra бағдарламасының оқушылардың оқуына әсері туралы көзқарастарын одан әрі зерттеу үшін сауалнама жүргізілді. Сауалнама 7 сұрақтан тұрады. Барлық сұрақтардың жауабы Ликерт шкаласы ([11]) бойынша жасалды. Сауалнамадағы сұрақтар: 1-толықтай келісемін, 2-жартылай келісемін, 3-бейтарап, 4-келіспеймін, 5-мүлдем келіспеймін.

Сызықтық теңсіздіктерді оқыту кезінде оқушылардың Geogebra бағдарламасының көмегімен тақырыпты қабылдау деңгейі жоғары екенін 4-кестеден көре аламыз.

Кесте 4. Сауалнама қорытындысы

Сұрақтар	Пайыздық (%) көрсеткіші				
	ТК	ЖК	Б	К	МК
1. Маған сызықтық теңсіздіктерді GeoGebra арқылы оқыған ұнады	60	26,7	13,3	0	0
2. GeoGebra маған сызықтық теңсіздіктердің мазмұнын түсінуге көмектесті	70	26,7	3,3	0	0
3. GeoGebra-ның көмегімен сызықтық теңсіздіктерді үйрену өте маңызды	66,7	26,7	6,7	0	0
4. GeoGebra сызықтық теңсіздіктерге берілген есептерді оңай түсінуге көмектесті	76,7	20	3,3	0	0
5. GeoGebra-ның көмегімен сызықтық теңсіздіктер есептерін шешуде өзіме деген сенімділігім артты	56,7	40	3,3	0	0
6. GeoGebra менің шығармашылығымды арттырды	66,7	33,3	0	0	0
7. Маған GeoGebra-ның көмегімен сызықтық теңсіздіктерді оқыған ұнады	60	33,3	6,7	0	0
Барлық сұрақтар бойынша жиынтық нәтиже	65,26	29,53	5,23	0	0

Сауалнама нәтижелері төменде диаграмма түрінде келтірілген (7-суретте GeoGebra бағдарламасын қолдану бойынша жүргізілген сауалнама нәтижелерінің диаграммасы көрсетілген).



Сурет 7. Сауалнама нәтижелері

Дискуссия

Сауалнама нәтижелері көрсеткендей, оқушылардың басым бөлігі GeoGebra бағдарламасының тиімділігін оң қабылдады: жауаптардың 65,26%-ы «толықтай келісемін», 29,53%-ы «жартылай келісемін», ал 5,23%-ы бейтарап нұсқаны таңдады. «Келіспеймін» және «мүлдем келіспеймін» жауаптары мүлдем болмады. Бұл жағдай оқушылардың бағдарламаға деген қызығушылығының жоғары екенін және оның оқу процесіндегі маңыздылығын айқын дәлелдейді.

Сауалнама оқу сапасын тікелей бағалауға арналмаса да, оқушылардың оқу материалын түсіну деңгейі, визуализация дағдылары, өзіне деген сенімділігі және пәнге қызығушылығы сияқты оқу сапасының маңызды жанама көрсеткіштерін бағалауға мүмкіндік берді.

Бұл зерттеуде «оқу сапасының артуы» ұғымы оқушылардың оқу материалын саналы түсінуі, шешімдер жиынын интерпретациялау қабілетінің қалыптасуы, визуализацияны қолдану дағдыларының дамуы және оқу іс-әрекетіне деген уәжінің артуы арқылы түсіндірілді.

Білім беру зерттеулерінде бұл көрсеткіштер оқу сапасының құрамдас бөліктері ретінде қарастырылады.

Сауалнама деректері бойынша GeoGebra бағдарламасы оқушылардың:

- математикалық ұғымдарды меңгеруіне,
- мазмұнды визуализациялауына,
- сабаққа белсенді қатысуына,
- өзіне деген сенімділігін арттыруына ықпал еткені анықталды.

Тест нәтижелері де бұл қорытындыларды қуаттайды. Зерттеуге дейінгі бастапқы тестте (pre-test) эксперименттік және бақылау топтарының үлгерімдерінде елеулі айырмашылық байқалған жоқ. Алайда қорытынды тест (post-test) нәтижелері бойынша эксперименттік топтың үлгерімі бақылау тобымен салыстырғанда айтарлықтай жоғары болды. Есептелген әсер мөлшері (Cohen's $d = 0,819$) GeoGebra бағдарламасының оқушылардың оқу нәтижелеріне күшті ықпалын дәлелдеді.

Осылайша, зерттеу нәтижелері оқу процесінде GeoGebra бағдарламасын қолдану математикалық ұғымдарды түсіндіруді жеңілдетіп қана қоймай, оқушылардың танымдық қызығушылығын арттыратынын, визуализация дағдыларын дамытатынын және жалпы оқу сапасын жақсартатынын көрсетті.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, GeoGebra бағдарламасы 6-сынып оқушыларының сызықтық теңсіздіктерді меңгеруіне айтарлықтай оң әсерін тигізді. Бағдарламаны қолдану оқушылардың математикалық ұғымдарды терең түсінуіне, оқу үлгерімін арттыруына,

мазмұнды визуалды түрде қабылдауына, өзіне деген сенімділігін нығайтуына және шығармашылық қабілеттерін дамытуына ықпал етті.

Эксперимент барысында алынған деректер GeoGebra бағдарламасының дәстүрлі оқыту әдістеріне қарағанда тиімдірек екенін дәлелдеді. Эксперименттік топтың үлгерімінің айтарлықтай артуы (Cohen's $d = 0,819$) бағдарламаның оқыту процесіндегі тиімділігін нақты көрсетеді. Сонымен қатар, сауалнама нәтижелері оқушылардың пәнге қызығушылығының артқанын және GeoGebra-ның оқу процесін жеңілдететінін дәлелдеді.

Алайда зерттеу шектеулі сипатта болды, себебі ол тек 6-сынып оқушыларының шағын тобына жүргізілді. Сондықтан келешекте әртүрлі сыныптар мен оқу контингенттері аясында кеңейтілген зерттеулер жүргізу қажет.

Жалпы алғанда, бұл зерттеу нәтижелері GeoGebra бағдарламасының сызықтық теңсіздіктерді оқытуда тиімді педагогикалық құрал екенін және оны оқу үдерісіне енгізу білім сапасын арттыруға ықпал ететінін көрсетті.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

- [1] Zengin, Y., Furkan, H., Kutluca, T. The effect of dynamic mathematics software geogebra on student achievement in teaching of trigonometry // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2011, Vol.31, p. 183–187. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.12.038>
- [2] Klemer A., Rapoport S. Origami and GeoGebra activities contribute to geometric thinking in second graders // *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 2020, 16(11), p. 1-12. <https://doi.org/10.29333/ejmste/8553>
- [3] Dirgha Raj Joshi, Kailash Bahadur Singh. Effect of Using Geogebra on Eight Grade Students' Understanding in Learning Linear Equations // *Mathematics teaching research journal*, 2020, Vol 20, № 3, p. 76-83
- [4] Nazihatulhasanah A., Nurbiha A. S. The Effects of GeoGebra on Students Achievement // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2015, Vol.172, p. 208-214. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.356>
- [5] Mthethwa M., Bayaga, A. Geogebra for learning and teaching: A parallel investigation // *South African Journal of Education*, 2020, Vol.40, №2, p. 1-12. <https://doi.org/10.15700/saje.v40n2a1669>
- [6] Боровский А.В., Веревкина В.Е. Предметные и метапредметные проблемы школьного курса математики. Тема «Неравенства» // *Наука и Школа*, 2015. № 5, с. 77-87.
- [7] Имранов Б. О системе изучения неравенств // *Математика в школе*, 2012, №7, 38с.
- [8] Панкратова Л.В. Формирование исследовательских умений в обучении математике учащихся общеобразовательных школ средствами неравенств. Диссертация на соискание ученой степени кандидата педагогических наук: 2014, 219 стр.
- [9] Алдамуратова Т., Байшоланова К., Байшоланов Е. 6 сынып математика – 2018, Баспа: Атамұра.
- [10] Абылкасымова А.Е., Кучер Т., Жумагулова З. 6-сынып математика – 2018, Баспа: Мектеп.
- [11] Wuensch, Karl L. (October 4, 2005). «What is a Likert Scale? and How Do You Pronounce 'Likert?'». East Carolina University. Retrieved April 30, 2009.
- [12] Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. – 2nd ed. – Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1988. – 567 p. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>

References

- [1] Zengin, Y., Furkan, H., Kutluca, T. The effect of dynamic mathematics software geogebra on student achievement in teaching of trigonometry // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2011, Vol.31, p. 183–187. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.12.038>
- [2] Klemer A., Rapoport S. Origami and GeoGebra activities contribute to geometric thinking in second graders // *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 2020, 16(11), p. 1-12. <https://doi.org/10.29333/ejmste/8553>
- [3] Dirgha Raj Joshi, Kailash Bahadur Singh. Effect of Using Geogebra on Eight Grade Students' Understanding in Learning Linear Equations // *Mathematics teaching research journal*, 2020, Vol 20, № 3, p. 76-83
- [4] Nazihatulhasanah A., Nurbiha A.S. The Effects of GeoGebra on Students Achievement // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2015, Vol.172, p. 208-214. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.356>

- [5] Mthethwa M., Bayaga, A. *Geogebra for learning and teaching: A parallel investigation* // *South African Journal of Education*, 2020, Vol.40, №2, p. 1-12. <https://doi.org/10.15700/saje.v40n2a1669>
- [6] Borovskij A.V., Verevkin V.E. (2015) *Predmetnye i metapredmetnye problemy shkol'nogo kursa matematiki. Tema «Neravenstva»* [Subject and meta-subject problems of the school mathematics course. Theme: Inequalities]. *Nauka i Shkola*, № 5, 77-87. (In Russian)
- [7] Imranov B. O (2012) *Sisteme izuchenija neravenstv* [System for studying inequalities]. *Matematika v shkole*. №7. 38. (In Russian)
- [8] Pankratova L.V. (2014). *Formirovanie issledovatel'skih umenij v obuchenii matematike uchashhihsja obshheobrazovatel'nyh shkol sredstvami neravenstv*. *Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata pedagogicheskikh nauk* [Formation of research skills in teaching mathematics to secondary school students using inequalities]. 219 str. (In Russian)
- [9] Aldamuratova T., Bajsholanova K., Bajsholanov E. (2018) *6 synyp matematika* [6th grade mathematics]. *Baspa: Atamyra*. (In Kazakh)
- [10] Abylkasymova A.E., Kucher T., Zhumagulova Z. (2018) *6-synyp matematika* [6th grade mathematics]. *Baspa: Mektep*. (In Kazakh)
- [11] Wuensch, Karl L. (October 4, 2005). «What is a Likert Scale? and How Do You Pronounce 'Likert?'». *East Carolina University*. Retrieved April 30, 2009.
- [12] Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. – 2nd ed. – Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1988. – 567 p. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>

Н.Б. Оспанова^{1*} , Н.И. Пак² 

¹Кокшетауский Университет имени Шокана Уалиханова, г. Кокшетау, Казахстан

²Красноярский государственный педагогический университет им. В.П.Астафьева,
г. Красноярск, Россия

*e-mail: nazgulospanova718@gmail.com

УЧЕБНЫЕ ИГРОВЫЕ ВИКТОРИНЫ В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ МАТЕМАТИКИ В УСЛОВИЯХ STEM

Аннотация

Несмотря на значительный дидактический потенциал STEM-технологий, их внедрение в подготовку будущих учителей математики в педагогических вузах сталкивается с рядом трудностей. Основная проблема связана с особенностями предметного формата обучения: он не позволяет одновременно осваивать несколько дисциплин и реализовывать межпредметные проекты из-за отсутствия соответствующих методик. В этой ситуации перспективным решением может стать использование игровых технологий, которые способны мотивировать преподавателей к интеграции в учебный процесс знаний из смежных дисциплин. В работе обосновывается эффективность учебных вопросных викторин как инструмента методической подготовки будущих учителей математики. Такие викторины не только повышают познавательную активность студентов, но и способствуют формированию у них STEM-компетентности. Важное преимущество викторин — способность пробуждать у обучающихся интерес к интегрированным знаниям. Это достигается за счёт включения в них вопросов и заданий из различных предметных областей. Для систематизации обучающего и диагностирующего материала предлагается применять метод пирамиды Барбары Минто. Он позволяет выстроить многопрофильное дерево вопросов и заданий, охватывающего разные направления подготовки. Разрабатывать викторины можно как в популярных облачных сервисах, так и с помощью специализированного конструктора.

Ключевые слова: STEM-образование, геймификация, учебные вопросные викторины, метод пирамиды, вопросное дерево.

Н.Б. Оспанова¹, Н.И. Пак²

¹Шокан Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті, Көкшетау, Қазақстан

²В.П.Астафьев атындағы Красноярск мемлекеттік педагогикалық университеті, Красноярск, Ресей
**STEM ЖАҒДАЙЫНДА БОЛАШАҚ МАТЕМАТИКА МҰҒАЛІМДЕРІН ӘДІСТЕМЕЛІК
ДАЙЫНДАУДА ОҚЫТУҒА АРНАЛҒАН ОЙЫН ВИКТОРИНАЛАРЫ**

Аңдатпа

STEM технологияларының жоғары дидактикалық әлеуетіне қарамастан, оларды педагогикалық жоғары оқу орындарында болашақ математика мұғалімдерін даярлау үдерісіне енгізу белгілі бір қиындықтарды тудырады. Негізгі мәселе оқытудың пәндік форматының ерекшелігінен туындайды: ол тиісті әдіснамалардың болмауына байланысты бірнеше пәнді бір уақытта меңгеруге немесе пәнаралық жобаларды жүзеге асыруға мүмкіндік бермейді. Бұл жағдайда жағдайда перспективалы шешім ретінде мұғалімдерді байланысты пәндерден алған білімдерін оқу процесіне енгізуге ынталандыратын ойын технологияларын пайдалану ұсынылады. Мақалада болашақ математика мұғалімдерінің әдістемелік даярлығын қамтамасыз етуде оқу сұрақтық викториналарының тиімділігі негізделеді. Мұндай викториналар оқушылардың танымдық белсенділігін арттырып қана қоймай, сонымен қатар STEM құзыреттілігін дамытуға ықпал етеді. Викториналардың маңызды артықшылығы – білім алушылардың кіріктірілген білімге деген қызығушылығын ояту қабілеті. Бұл әртүрлі пәндік салалардан алынған сұрақтар мен тапсырмаларды қамту арқылы жүзеге асады. Оқытушылық және диагностикалық материалды жүйелеу мақсатында Барбара Минтоның пирамида әдісін қолдану ұсынылады. Аталған әдіс дайындықтың әртүрлі бағыттарын қамтитын көпсалалы

сұрақтар мен тапсырмалар ағашын құруға мүмкіндік береді. Викториналарды танымал бұлтты сервистерде де, сондай-ақ мамандандырылған конструкторлардың көмегімен де әзірлеуге болады.

Түйін сөздер: STEM білім беру, геймификация, білім беру викториналары, пирамида әдісі, сұрақ ағашы.

N.B. Ospanova¹, N.I. Pak²

¹Kokshetau Shoqan Ualikhanov University, Kokshetau, Kazakhstan

²Krasnoyarsk state pedagogical university named after V.P. Astafiev, Krasnoyarsk, Russia

EDUCATIONAL GAME QUIZZES IN THE METHODOLOGICAL TRAINING OF FUTURE MATHEMATICS TEACHERS IN THE CONTEXT OF STEM

Abstract

Despite the substantial didactic potential of STEM technologies, their integration into the preparation of future mathematics teachers at pedagogical universities is accompanied by a number of challenges. The primary difficulty stems from the subject-oriented structure of teacher education, which limits opportunities for simultaneous mastery of multiple disciplines and the implementation of interdisciplinary projects due to the absence of well-established instructional methodologies. In this regard, the adoption of game-based learning technologies represents a promising approach, as such technologies can motivate teachers to incorporate interdisciplinary knowledge into the instructional process. This paper substantiates the effectiveness of educational question-based quizzes as a methodological tool for the professional training of future mathematics teachers. These quizzes not only enhance students' cognitive engagement but also foster the development of their STEM competencies. A key advantage of quiz-based learning lies in its capacity to stimulate learners' interest in integrated knowledge domains, which is achieved through the inclusion of questions and tasks drawn from diverse subject areas. To systematize both instructional and diagnostic content, the Barbara Minto Pyramid Principle is proposed. It enables the construction of a multidisciplinary tree of questions and tasks covering different areas of teacher training. Quizzes can be developed using popular cloud-based services as well as specialized quiz-building tools.

Keywords: STEM education, gamification, educational quizzes, pyramid method, question tree.

Введение

Основные положения. Основными результатами статьи являются: созданная база учебных вопросов по информатике, математике, физике и технологии; отбор программных приложений и созданные в них игровые викторины; методические рекомендации к использованию этих викторин в методической подготовке будущих учителей математики. Результаты исследования свидетельствуют о целесообразности внедрения вопросных викторин как эффективного инструмента в методической подготовке будущих учителей.

Материалы статьи могут быть полезны для магистрантов, аспирантов, преподавателей педвузов, связанных с методическими дисциплинами.

В условиях стремительной цифровизации образования и перехода к экономике знаний формирование STEM-компетентности у будущих учителей становится не просто желательной целью, а стратегической необходимостью. Современный педагог должен не только владеть предметными знаниями, но и уметь интегрировать междисциплинарные подходы, формировать у школьников навыки XXI века: критическое мышление, креативность, командную работу и технологическую грамотность. Обозначенная проблема особенно остро проявляется при подготовке учителей математики, где требуется не только глубокое понимание предмета, но и умение демонстрировать его связи с естественными науками, инженерными дисциплинами и цифровыми технологиями. Необходимость формирования и развития у будущих учителей STEM-компетентности заставляет искать новые подходы и методы в методической системе подготовки студентов педагогических вузов. Решение проблемы подготовки педагогов нового типа вызывает определенные трудности, связанные со слабой существующей методической базой применения STEM-технологий обучения. Главная трудность заключается в предметном формате учебного процесса, который препятствует распространению междисциплинарных

учебных проектов в методической подготовке студентов [1]. В настоящее время представляет интерес применение геймификации в методической подготовке будущих учителей. Особенно это важно для обучения студентов естественно-научных специальностей педагогических вузов в условиях STEM-образования. Игровые технологии в обучении мотивируют студентов к активной учебной конкуренции, сотрудничеству друг с другом, образовательным достижениям [2].

Возникает вопрос – какие игровые технологии и в какой методической конфигурации способны максимально эффективно повысить результативность подготовки будущих учителей математики в условиях STEM-образования?

Цель исследования – создать и апробировать систему учебных игровых викторин, включающих вопросы по математике, информатике, физике и технологиям, как средства методической подготовки будущих учителей математики, обеспечивающей развитие STEM-компетентности и навыков междисциплинарного взаимодействия.

Обзор литературы

Идею применения игровых технологий, активно распространяемую в наше время, нельзя считать новой [3]. О ней говорил еще в прошлом столетии русский педагог и писатель К. Д. Ушинский, который рекомендовал делать учебный процесс менее монотонным за счет добавления игр и интересных упражнений. Использование игровых элементов помогает задействовать эмоциональную составляющую человека, что способствует к более глубокому вовлечению в серьезную деятельность.

В настоящее время появление и распространение термина «геймификация» связано не только с маркетинговым приемом бизнеса, но и становится популярным трендом образования. Действительно, для многих очевидным является факт, что с помощью игры можно повысить интерес к любой деятельности [4].

Поэтому игровые технологии отлично подходят для работы с проблемами, возрастающими из низкой мотивации к обучению: незаинтересованность, отсутствие обратной связи, неинтересные задания и пр.

Суть геймификации состоит в использовании игровых элементов в учебном контексте. Это позволяет достигать поставленных целей, придает традиционному процессу обучения большую легкость, гибкость и привлекательность.

Можно выделить 4 основных принципа геймификации в образовании: *мотивация, открытие, статус, вознаграждение*.

Согласно первому *принципу мотивации*, студенты должны хотеть взаимодействовать с окружающей средой (группой), осуществлять учебную деятельность. Можно предположить, что самыми сильными мотиваторами к образовательной деятельности обучаемого являются: желание получить полезные знания, удовлетворить любопытство и стремление избежать дискомфорта в учебной среде.

Принцип открытий. Игровой контент, обеспечивающий радость приобретения нового знания, открытия новых перспектив и возможностей в обучении, похвала, вознаграждения порождают положительные эмоции и желание достигать конечных целей проекта, соревнования или задания.

Принцип статуса. Желание человека обрести определенный статус заложено в нем природой – практически каждый хочет стать лучшим в том, чем он занят. Статус демонстрирует преимущества как себе самому, так и другим людям. Для обучаемых формирование положительной самооценки во многом будет способствовать результативности самостоятельной учебной деятельности.

Принцип вознаграждения. Награда, бесспорно, лучший инструмент для образовательного процесса. Самым привлекательным для обучаемого является награда в виде бонусов для повышения рейтинга успеваемости, зачета по темам и разделам изучаемых дисциплин, а порой всего курса. Очевидно, что награды будут привлекательны для студентов в зависимости от их ценностей и интересов.

Методология исследования

На подготовительном этапе исследования проводился анализ научной литературы по STEM-образованию, геймификации и методической подготовке учителей математики; проектировались структура и содержание учебных игровых викторин (с вопросами по математике, информатике, физике и технологиям); определялась модель методической подготовки с включением викторин

Для создания игровых образовательных проектов необходимо иметь базу учебных вопросов и заданий. Для структурности, систематичности и полноты этой базы по заданным предметным областям удобно использовать метод пирамиды Б.Минто [5]. Метод позволяет построить проблемное дерево вопросов и заданий, в частности по математике, информатике, физике, технологиям [6]. С помощью этого дерева необходимо создать базу вопросов в виде таблицы с ответами и сложностью вопроса. В образовательных условиях республики Казахстан иногда полезно использовать контент в таблице на трех языках: казахском, английском и русском. К примеру, фрагмент таблицы для организации вопросных викторин показан в таблице 1.

Таблица 1. База учебных вопросов

№	Вопрос на русском	Вопрос на казахском	Вопрос на английском	Ответы: (К, Р, А)	Сложность
1	Какова формула для расчета силы тяжести?	Ауырлық күшін есептеу формуласы қандай?	What is the formula for calculating gravity?	$F = m \cdot g$	средний
2	Что такое сетевой протокол?	Желілік протокол дегеніміз не?	What is a network protocol?	Набор правил для обмена данными в сети.	легкий
3	Как определить факториал числа n ?	n санының факториалы қалай анықталады?	How to determine the factorial of a number n ?	$n! = n \times (n-1) \times (n-2) \dots \times 1$.	средний

На основе подобной базы вопросов и заданий можно создавать игровые викторины с помощью различных сервисов и приложений, доступных в сети Интернет. Наиболее популярные среди них: Сервис Learningapps.org; Сервис Plickers (<https://get.plickers.com/>); Конструктор BAMBOOZLE (<https://www.baamboozle.com/>) и др.

К примеру, с помощью Сервиса Wordwall (<https://wordwall.net/ru>) можно создавать и использовать разные средства обучения в дистанционном и смешанном обучении. Имеется коллекция разнообразных шаблонов для интерактивных упражнений: кроссворды, викторины, флеш-карточки заданий и пр. Обычно многих привлекает создание «барабана» с вопросами для игры "Что? Где? Когда?". Примеры викторин по математике, созданные студентами можно посмотреть по ссылкам: <https://wordwall.net/play/82010/735/984>, <https://wordwall.net/play/81692/269/244>, <https://wordwall.net/ru/resource/81679800>.

На формирующем и контрольном этапах исследования осуществлялось внедрение системы учебных игровых викторин в учебный процесс экспериментальной группы студентов с мониторингом их вовлечённости и обратной связи.

Результаты исследования

Для построения игровых викторин важно создать учебную базу вопросов, предназначенных для разных целей обучения и диагностики знаний [7]. В технологии STEM-обучения

целесообразно составить дерево вопросов по 4-м учебным дисциплинам старшей школы. Например, основополагающие вопросы и фрагменты «веток» дерева по этим предметам представлены на рис 1.



Рисунок 1. Дерево знаний по физике, математике, информатике, технологиям

Создаваемая база вопросов является открытой, может непрерывно корректироваться и расширяться. Ее можно использовать для организации и проведения учебных игровых викторин. А сами викторины (процесс их создания и использования) являются *объектами* и *средствами* обучения студентов в условиях STEM-образования. Другими словами, методическим приемом для формирования STEM-компетентности студентов является проективный принцип разработки учебных цифровых ресурсов – создаем учебное средство, с помощью которого обучаемся [8].

С примерами, созданных студентами викторин, можно ознакомиться по ссылкам:

Ссылка на викторину по информатике:

<https://quizizz.com/admin/quiz/67324f7dbf26007232f7b532>

Ссылка на викторину по физике:

https://quizizz.com/admin/quiz/67322bfe862f6015727f69e0?source=quiz_share

Ссылка на викторину по математике:

<https://quizizz.com/admin/quiz/67322a5488e7a510a2938472?at=673257ebf434090627e3bddf>

Ссылка по технологиям:

<https://quizizz.com/admin/quiz/6732c1f7deac542a85117d93?searchLocale=>

В каждой из викторин имеется 25 вопросов, время прохождения 25-30 минут.

Были созданы средства, диагностирующие знания в формате игровой викторины по технологии, информатике, математике и физике (Рис.2).

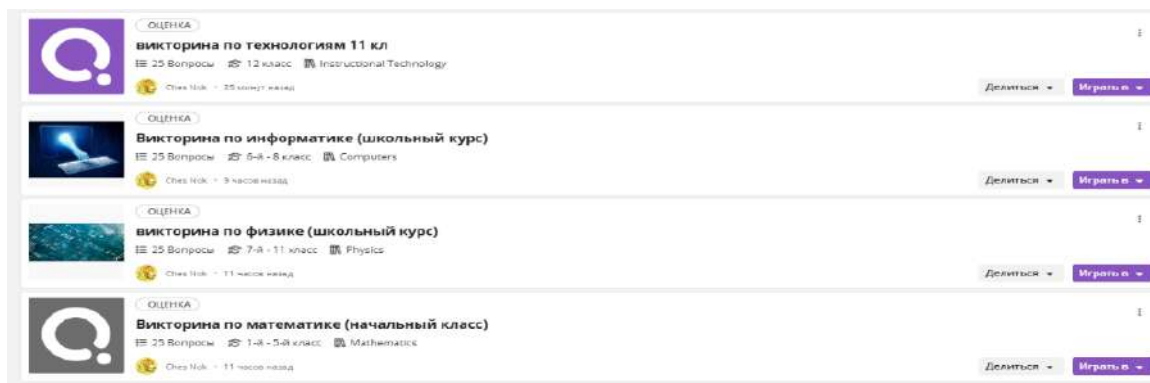


Рисунок 2. Комплекс учебных игровых викторин для STEM-образования

В качестве другого примера приведем созданный студентами учебное средство в сервисе «QUIZZZZ» (<https://quizizz.com/join?gc=871994>, код 871 994). Программа представляет веб-инструмент для проведения экспресс-опросов, тестов и викторин по различным предметам для оценивания учащихся (Рис. 3).

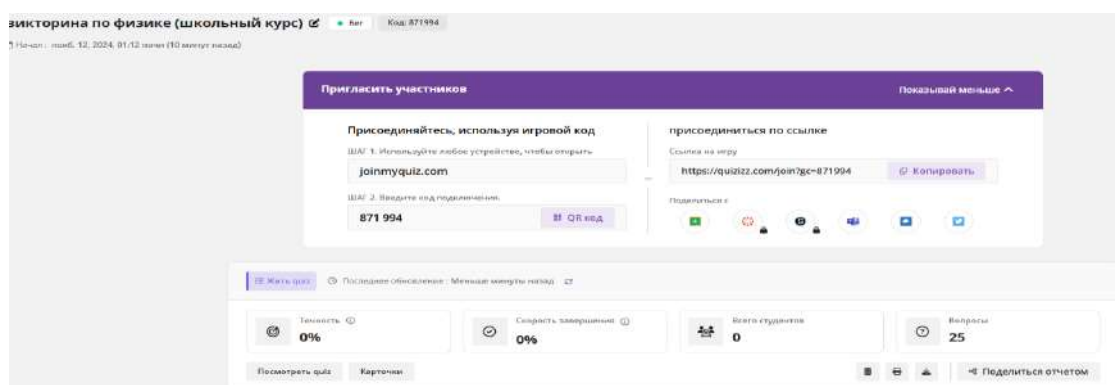


Рисунок 3. Пример учебной игровой викторины в сервисе QUIZZZZ

Для начала игровой учебной деятельности ученику необходимо авторизоваться с компьютера, ноутбука или смартфона. Затем обучаемые получают задания, со случайной последовательностью вопросов. Во вкладке «Участники» указаны точность, баллы и оценки, полученные каждым из участников. Можно сортировать участников по точности, баллам, оценке, имени, фамилии или времени отправки (Рис.4).

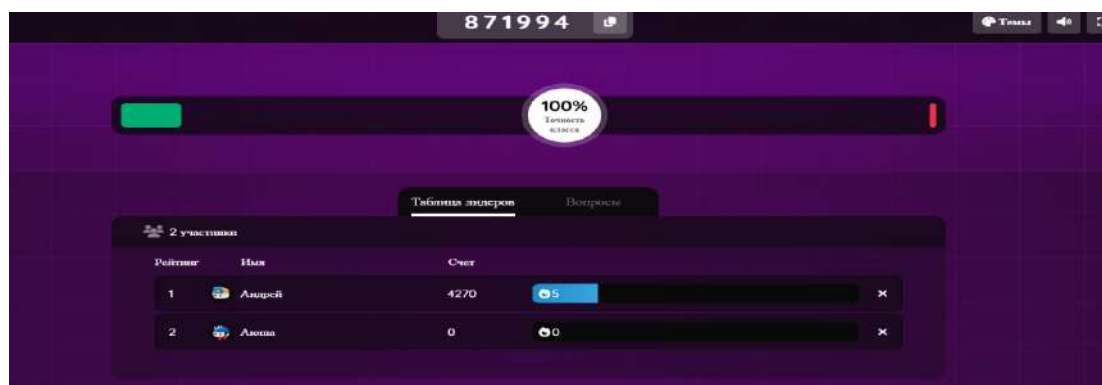


Рисунок 4. Экран оценивания игровой ситуации

Педагог может отслеживать работу каждого обучающегося и получать полную картину работы группы, а также экспортировать полученные данные в таблицу Excel (Рис.5).

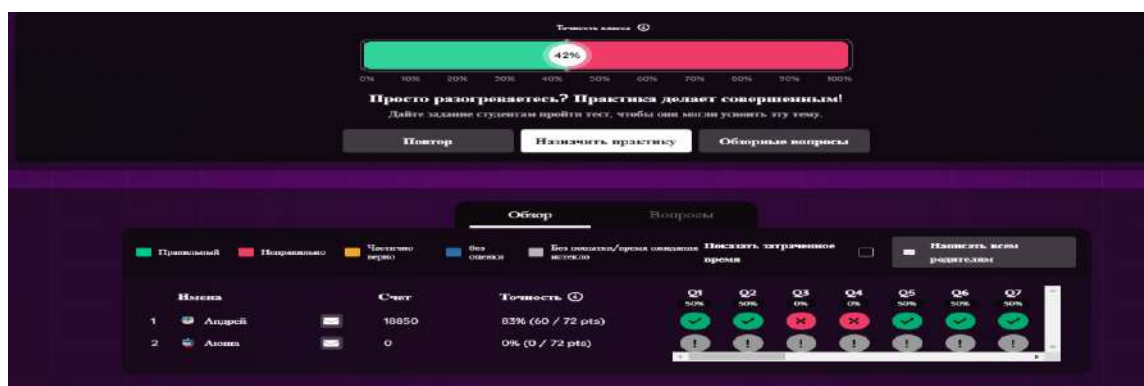


Рисунок 5. Экран для педагога

Рассмотрим пример проведения игры в качестве методического средства для привлечения студентов к выполнению STEM-проектов и как учебного элемента, позволяющего научить студентов создавать и использовать игровые викторины в будущей профессиональной деятельности. Для создания базы междисциплинарных проектов используется метод пирамиды Барбары Минто, позволяющий на основе принципов МЕСЕ разработать дерево вопросов для игровых викторин.

В учебном процессе студенты совместно создали проблемное дерево вопросов по истории информатики, затем небольшими подгруппами разрабатывали вопросные викторины с помощью вышеописанных сервисов. На учебных занятиях каждая подгруппа реализовала игровой сценарий своей разработки. Например, группу студентов разбили на несколько команд и раздали им бумаги для ответов. На большом экране высвечивается барабан с вопросами, «крутили» его, на каждый выпавший вопрос давали командам 1-10 минут на ответ, затем собирали их ответы (подписанные листы бумаги). После окончания игры модератор подводил итоги.

После проведения нескольких подобных занятий в игровой форме, студентам были розданы анкеты, в которых предлагалось ответить на некоторые вопросы викторины (для понимания, что усвоили) и их отношение к методике проведения занятий в игровой форме (для оценки их познавательной активности и мотивации).

Анкетирование проведено среди 32 студентов 3-го курса направления «Педагогическое образование (математика)» Кокшетауского университета имени Ч. Валиханова. Анкета включала 12 вопросов (6 тестовых, 6 оценочных) и заполнялась анонимно в электронной форме сразу после завершения серии игровых занятий. Результаты усвоения знаний студентов показали, что наивысший уровень усвоения продемонстрирован по математике (82 %), наименьший – по физике (68 %). Средний процент правильных ответов по всем вопросам – 74 %. Оценка отношения студентов к игровой методике проводилась с помощью ответов на вопрос «Насколько вы готовы использовать игровые викторины в своей будущей педагогической практике?» по пятибалльной шкале. Обработанные результаты следующие:

- 5 («Определённо готов») – 42 %;
- 4 («Скорее готов») – 38 %;
- 3 («Затрудняюсь ответить») – 15 %;
- 2–1 («Не готов») – 5 %.

Можно представить итоговое заключение: 80 % студентов высоко оценили интерес и активность во время занятий. 86 % выразили готовность применять игровые викторины в будущей профессиональной деятельности. Таким образом, следует констатировать, что

интеграция игровых механик повышает мотивацию и вовлеченность обучающихся, что особенно актуально для STEM-образования [9, 10].

Проведенное исследование позволило обосновать возможность и целесообразность использования учебных вопросных викторин в методической подготовке будущих учителей. Рассмотренная методика способствует повышению их познавательной активности и мотивации к изучению дисциплин методической подготовки и выполнению учебных STEM-проектов. Основными результатами работы являются: созданная база учебных вопросов по информатике, математике, физике и технологии; отбор программных приложений и созданные в них игровые викторины; методические рекомендации к использованию этих викторин в методической подготовке будущих учителей математики.

Выводы

Образовательные игры обладают уникальным потенциалом создавать контексты для глубокого обучения через активное участие и решение проблем. В современной образовательной практике термин «геймификация» стал ключевым для понимания роли игровых элементов в обучении. Он подчёркивает важность игровых сценариев, которые способствуют развитию критического мышления и творческих навыков. Принципиально важно понимать геймификацию как внедрение игровых элементов в учебный процесс, а не просто использование игр. Также, для современных студентов использование цифровых игр и интерактивных методов является естественным и способствует более успешному усвоению знаний. Разработка и апробация системы учебных игровых викторин как инструмента подготовки учителей математики позволяют расширить арсенал педагогических методов, способствует формированию их STEM-компетентности. Исследование демонстрирует, как игровые форматы могут способствовать интеграции знаний по математике, информатике, физике и технологиям. Это помогает будущим учителям видеть взаимосвязи между дисциплинами и применять их в образовательной практике, что соответствует ключевым принципам STEM-образования.

Внедрение разработанной системы викторин в учебный процесс педагогических вузов может повысить качество подготовки учителей математики, сделав их более готовыми к работе в условиях STEM-образования.

Таким образом, интеграция игровых викторин в методическую подготовку будущих учителей является не только актуальной, но и обоснованной с позиций международного педагогического опыта и теоретических разработок.

Материалы статьи могут быть полезны для магистрантов, аспирантов, преподавателей педвузов, связанных с методическими дисциплинами.

Список использованных источников

- [1] Пак Н. И. Ментальный подход к цифровой трансформации образования // Открытое образование. 2021. № 25(5). С. 4–14. <https://openedu.rea.ru/jour/article/view/828?locale=ru>
- [2] Яковлева Е. В., Гольцова Н. В. Игровые механики геймификации в профориентации и профессиональном самоопределении детей разных возрастных групп в системе образования // Вестник Череповецкого государственного университета. 2022. № 1(106). С. 188–199. <https://cyberleninka.ru/article/n/igrovyie-mehaniki-geymifikatsii-v-proforientatsii-i-professionalnom-samoopredelenii-detey-raznyh-vozrastnyh-grupp-v-sisteme>
- [3] Федорцова С.С. Игровые технологии обучения на занятиях в высшей школе // Столыпинский вестник №1/2024: <https://stolypin-vestnik.ru/stolypinskij-vestnik-1-2024/>
- [4] Самылкина Н.Н., Мишин В.А. Методика разноуровневого персонализированного обучения программированию в основной школе // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. - 2025. - Т. 22. - №3. - С. 268-287. <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-raznourovneвого-personalizirovannogo-obucheniya-programmirovaniyu-v-osnovnoy-shkole>

- [5] Минто Б., Принцип пирамиды Минто: золотые правила мышления, делового письма и говорения (Манн, Иванов и Фербер, 2018), 272 с. <https://www.litres.ru/book/barbara-minto/princip-piramidy-minto-r-zolotye-pravila-myshleniya-delovogo-28288501/chitat-onlayn/>
- [6] Pak N., Barkhatova D., Sidorenko E., Ospanova N. Information-object approach to the preparation of educational questions of the subject area. В сборнике: II International Scientific Forum on Sustainable Development and Innovation (WFSDI 2023). Conference Proceedings. Ekaterinburg, 2024. С.1434-1439. <https://elibrary.ru/item.asp?id=75056457>
- [7] Бархатова Д. А., Пак Н. И. Структурно-ментальный подход к составлению учебных вопросов. Информатика и образование. 2024;39(6):5–12. DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-6-5-12
- [8] Е.Б. Бидайбеков, Н.Т. Ошанова Цифровизация математического образования: создание электронных средств обучения математике // ВЕСТНИК КазНПУ им. Абая, серия Физико-математические науки», №2(86), 2024, с.138-145. DOI: 10.51889/2959-5894.2024.86.2.013
- [9] Оспанова Н.Б., Камалова Г.Б. О подготовке будущего учителя математики к реализации steam-подхода в образовании//ВЕСТНИК КазНПУ им. Абая, серия «Физико-математические науки», №3(79), 2022 г. С.134-142. DOI: 10.51889/9109.2022.18.50.016
- [10] Гринберг Г.М., Оспанова Н.Б., Пак Н.И. Применение геймификации в подготовке студентов в условиях steam-образования// [Электронный ресурс] : материалы XXVIII Междунар. науч.-практ.конф. «Решетневские чтения», под общ. ред. Ю. Ю. Логинова.- Красноярск: РИО СибГУ им. М. Ф. Решетнева, в 2 частях. Часть 2. Стр. 756-758.

References

- [1] Pak, N.I. (2021) Mental'nyy podkhod k tsifrovoy transformatsii obrazovaniya [Mental approach to the digital transformation of education]. Otkrytoye obrazovaniye, №. 25(5), 4–14. <https://openedu.rea.ru/jour/article/view/828?locale=ru> (In Russian)
- [2] Yakovleva, E.V., Gol'tsova, N.V. (2022) Igrovye mekhaniki geymifikatsii v proforientatsii i professional'nom samoopredelenii detey raznykh vozrastnykh grupp v sisteme obrazovaniya [Game mechanics of gamification in career guidance and professional self-determination of children of different age groups in the education system]. Vestnik Cherepovetsкого gosudarstvennogo universiteta, № 1(106), 188–199. <https://cyberleninka.ru/article/n/igrovye-mekhaniki-geymifikatsii-v-proforientatsii-i-professionalnom-samoopredelenii-detey-raznykh-vozrastnykh-grupp-v-sisteme> (In Russian)
- [3] Fedortsova, S.S. (2024) Igrovye tekhnologii obucheniya na zanyatiyakh v vysshey shkole [Game-based learning technologies in higher education classes]. Stolypinskiy vestnik, № 1. <https://stolypin-vestnik.ru/stolypinskij-vestnik-1-2024/> (In Russian)
- [4] Samylkina, N.N., Mishin, V.A. (2025) Metodika raznourovneвого personalizirovannogo obucheniya programmirovaniyu v osnovnoy shkole [Methodology of multi-level personalized teaching of programming in lower secondary school]. Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Informatizatsiya obrazovaniya, Vol. 22, No. 3, 268–287. <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-raznourovneвого-personalizirovannogo-obucheniya-programmirovaniyu-v-osnovnoy-shkole> (In Russian)
- [5] Minto, B. (2018) Printsip piramidy Minto: zolotye pravila myshleniya, delovogo pis'ma i govoreniya [The Minto Pyramid Principle: golden rules of thinking, business writing and speaking]. Moscow: Mann, Ivanov i Ferber, 272. <https://www.litres.ru/book/barbara-minto/princip-piramidy-minto-r-zolotye-pravila-myshleniya-delovogo-28288501/chitat-onlayn/> (In Russian)
- [6] Pak, N., Barkhatova, D., Sidorenko, E., Ospanova, N. (2024) Information-object approach to the preparation of educational questions of the subject area [Information-object approach to the preparation of educational questions of the subject area]. In: II International Scientific Forum on Sustainable Development and Innovation (WFSDI 2023). Conference Proceedings. Ekaterinburg, 1434–1439. <https://elibrary.ru/item.asp?id=75056457> (In Russian)
- [7] Barkhatova, D.A., Pak, N.I. (2024) Strukturno-mental'nyy podkhod k sostavleniyu uchebnykh voprosov [Structural-mental approach to designing educational questions]. Informatika i obrazovanie, Vol. 39, No. 6, 5–12. DOI: [10.32517/0234-0453-2024-39-6-5-12](https://doi.org/10.32517/0234-0453-2024-39-6-5-12). (In Russian)
- [8] Bidaybekov, E.Y., Oshanova, N.T. (2024) Tsifrovizatsiya matematicheskogo obrazovaniya: sozдание elektronnykh sredstv obucheniya matematike [Digitalization of mathematics education: development of electronic learning tools for mathematics]. Vestnik KazNPU im. Abaya. Seriya: Fiziko-matematicheskie nauki, No. 2(86), 138–145. DOI: [10.51889/2959-5894.2024.86.2.013](https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.86.2.013) (In Russian)
- [9] Ospanova, N.B., Kamalova, G.B. (2022) O podgotovke budushchego uchitelya matematiki k realizatsii STEAM-podkhoda v obrazovanii [On preparing future mathematics teachers for the implementation of the

STEAM approach in education]. *Vestnik KazNPU im. Abaya. Seriya: Fiziko-matematicheskie nauki*, № 3(79), 134–142. DOI: [10.51889/9109.2022.18.50.016](https://doi.org/10.51889/9109.2022.18.50.016). (In Russian)

[10] Grinberg, G.M., Ospanova, N.B., Pak, N.I. (2024) *Primenenie geymifikatsii v podgotovke studentov v usloviyakh STEM-obrazovaniya* [Application of gamification in student training under STEM education conditions]. In: *Proceedings of the XXVIII International Scientific and Practical Conference “Reshetnev Readings”*. Krasnoyarsk: Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Part 2, 756–758. (In Russian)

ИНФОРМАТИКА COMPUTER SCIENCE

ГТАХР 05.13.19

10.51889/2959-5894.2025.92.4.012

Н.Б. Абуталипова^{1*}, Ж.Н. Оразбеков¹, Г.С. Набиева³, Д.А. Смаилова³

¹ Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

² С.Ж.Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медициналық университет, Алматы қ., Қазақстан

³ М.Тынышбаев атындағы АЛТ Университет, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: abutalipova90@gmail.com

КӘСІБИ БЕЙІМДІЛІКТІ ЖЕТІЛДІРУДЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ЖӘНЕ NLP ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ

Аңдатпа

Мақалада жасанды интеллект технологияларына негізделген кәсіби бейімділікті диагностикалау моделінің архитектурасы сипатталады. Модель деректерді зияткерлік чат-бот арқылы жинау, еңбек нарығы туралы ақпаратты NLP және кластерлеу әдістерімен талдау және білім алушылардың жеке профильдерін мамандық талаптарымен сәйкестендіру кезеңдерінен тұрады. Табиғи тілді өңдеу модельдері (BERT, GPT, Llama) пайдаланушы жауаптарын семантикалық талдауға мүмкіндік берсе, адаптивті диалог алгоритмдері деректерді жинаудың нақтылығын арттырады. Сәйкестендіру әдістері ретінде косинус ұқсастығы мен сиамдық нейрондық желілер қолданылып, кәсіби бағыттар мен жеке бейімділіктің үйлесімділігі бағаланады. Бұл тәсіл еңбек нарығы деректерімен біріге отырып, жекелендірілген кәсіби ұсынымдар қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: кәсіби бағдарлау, жасанды интеллект, машиналық оқыту, NLP, чат-бот, косинус ұқсастығы.

Н.Б. Абуталипова¹, Ж.Н. Оразбеков¹, Г.С. Набиева², Д.А. Смаилова³

¹ Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г.Алматы, Казахстан

² Казахский национальный медицинский университет имени С.Ж.Асфендиярова, г.Алматы, Казахстан

³ АЛТ Университет имени Мухамеджана Тынышпаева, г.Алматы, Казахстан

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И NLP ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ.

Аннотация

В статье представлена архитектура модели диагностики профессиональной склонности, основанной на технологиях искусственного интеллекта. Модель включает сбор данных через интеллектуальный чат-бот, анализ информации о рынке труда с применением методов NLP и кластеризации, а также сопоставление индивидуальных профилей обучающихся с требованиями профессиональных направлений. Модели обработки естественного языка (BERT, GPT, Llama) обеспечивают семантический анализ пользовательских ответов, тогда как адаптивные диалоговые алгоритмы повышают точность и полноту собираемых данных. Для оценки соответствия между профилем обучающегося и характеристиками профессий используются косинусное сходство и сиамские нейронные сети. Интеграция этих методов с данными рынка труда позволяет формировать персонализированные и обоснованные рекомендации по профессиональной ориентации.

Ключевые слова: профессиональная ориентация; искусственный интеллект; машинное обучение; NLP; чат-бот; косинусное сходство.

N.B. Abutalipova¹, Zh.N. Orazbekov¹, G.S. Nabiyeva², D. Smailova³

¹ Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

² Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Almaty, Kazakhstan

³ Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Almaty, Kazakhstan

APPLICATION OF MACHINE LEARNING AND NLP METHODS FOR ENHANCING PROFESSIONAL APTITUDE

Abstract

The article presents the architecture of an AI-based model for diagnosing professional inclination. The model consists of several interconnected components: data collection via an intelligent chatbot, analysis of labor market information through NLP and clustering, and matching learners' individual profiles with occupational requirements. Natural language processing models (BERT, GPT, Llama) enable semantic interpretation of user responses, while adaptive dialogue algorithms improve the accuracy and completeness of collected data. Matching techniques such as cosine similarity and Siamese neural networks are applied to assess the alignment between learner profiles and job characteristics. Integrating analytical results with labor market data ensures the generation of personalized and scientifically grounded career guidance recommendations.

Keywords: career guidance, artificial intelligence, machine learning, chatbot, cosine similarity.

Кіріспе

Негізгі тұжырымдар

Мақаланың негізгі тұжырымдамасы – жасанды интеллект технологияларын қолдану арқылы білім алушылардың кәсіби бейімділігін дәл және жекелендірілген түрде диагностикалайтын модель ұсыну. Модель психометриялық тесттерді, NLP талдауын және машиналық оқытуды біріктіріп, пайдаланушы профилін мамандық талаптарымен сәйкестендіреді. Зерттеу нәтижелері AI негізіндегі тәсілдің дәстүрлі кәсіби бағдарлау әдістеріне қарағанда тиімдірек екенін көрсетеді.

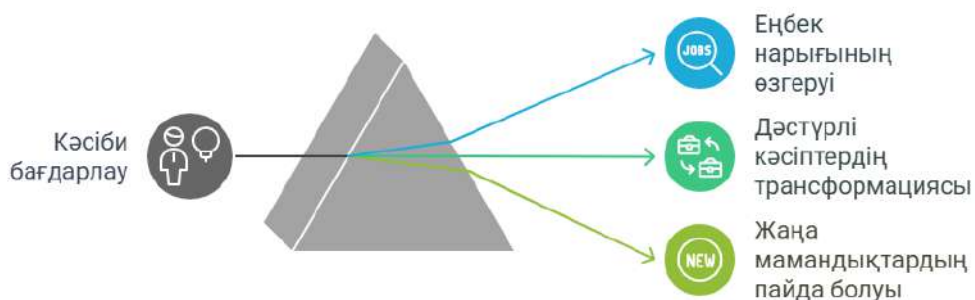
Қазіргі заманда еңбек нарығының қарқынды өзгеруі, мамандықтар спектрінің күрт кеңеюі және цифрлық трансформация кәсіби бағдарлау жүйелерінің маңыздылығын айтарлықтай арттырып отыр. Бүгінгі еңбек нарығында ұсыныстарды жекелендіру маңызды талапқа айналды, себебі жұмыс іздеушінің жеке қалаулары, тұлғалық ерекшеліктері және когнитивтік қабілеттері ұсынылатын мамандыққа сәйкестікті айқындайтын негізгі факторлардың бірі болып табылады. Сондықтан үміткерлерді бос жұмыс орындарымен тиімді сәйкестендіретін, дербестендірілген ұсынымдар бере алатын интеллектуалды жүйелерді әзірлеудің қажеттілігі артуда. Ұсыныстар жүйесі жекелендіру тенденциясы әсіресе жоғары бәсекелі еңбек нарықтарында ерекше байқалады, себебі кандидаттың жеке қалаулары мен тұлғалық сипаттамаларын ескеру ұсыныстардың өзектілігі мен нәтижелілігін айтарлықтай жоғарылатады.

Дәстүрлі кәсіби бағдарлау мен жұмысқа орналастыру жүйелері көбіне үміткердің кәсіби дағдылары мен жұмыс тәжірибесіне сүйенеді. Бұл тәсілдер тұлғаның психологиялық, мінез-құлықтық және мотивациялық ерекшеліктерін ескермейтіндіктен, кәсіби қанағаттанудың төмендеуіне, еңбек өнімділігінің азаюына және ұзақ мерзімді жұмыспен қамтылудың бұзылуына әкелуі мүмкін. Осыған байланысты тұлғалық типология мен психометриялық құралдарды кәсіби бағдарлау үдерісіне енгізу өзекті ғылыми міндет болып табылады. Бұл тәсілдер үміткердің қабілеті мен мамандық талаптарының сәйкестігін дәлірек анықтауға мүмкіндік береді. Кәсіби өзін-өзі анықтау үдерісі ерте жастан қалыптасып, жасөспірімдік кезеңде қарқын алады және адамның бүкіл болашақ кәсіби жолына әсер етеді. Сол себепті бұл үдерісті қолдайтын заманауи технологиялық шешімдерді енгізу – білім беру жүйесінің стратегиялық бағыты. Жасанды интеллект технологиялары (NLP, машиналық оқыту, нейрондық желілер) кәсіби бағдарлаудың тиімділігін арттырып, білім алушының тұлғалық және когнитивтік ерекшеліктеріне негізделген жекелендірілген кәсіби ұсынымдарды қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Зерттеудің мақсаты – AI технологияларына негізделген кәсіби бейімділікті диагностикалау моделін ұсыну, оның архитектурасын негіздеу және тиімділігін бағалау.

Жоғарыдағы мақсатқа сәйкес зерттеу барысында келесі зерттеу сұрақтары қарастырылады: зерттеу аясында жасанды интеллект технологияларының кәсіби бейімділікті диагностикалаудағы тиімділігі мен дәлдігін анықтау басты міндеттердің бірі болып табылады; бұл ретте AI модельдерінің (NLP, косинус ұқсастығы, сиамдық нейрондық желілер) диагностикалық нәтижелердің сапасына ықпалын жан-жақты бағалау көзделеді; сонымен қатар пайдаланушы профилін мамандық талаптарымен сәйкестендіру үдерісіне қандай архитектураның тиімді екендігін айқындау; интеллектуалды чат-бот арқылы жиналатын деректердің сенімділігін арттыру тетіктерін талдау маңызды бағыттардың бірі ретінде қарастырылады. Еңбек нарығының үнемі өзгеріп тұратын динамикасын ескере отырып, жекелендірілген кәсіби ұсынымдардың өзектілігін қамтамасыз ету механизмдері де зерттеудің өзекті аспектілеріне жатады.

1-сурет кәсіби бағдарлау үдерісіне ықпал ететін көпқырлы факторлардың өзара байланысын көрсетеді және зерттеудің теориялық бөлімімен тікелей байланысты. Кәсіби бейімділікті диагностикалау моделін әзірлеуде еңбек нарығындағы өзгерістерді, дәстүрлі кәсіптердің трансформациясын, жаңа мамандықтардың пайда болуын, сондай-ақ жасанды интеллект технологияларының мүмкіндіктері мен шектеулерін қатар ескеру қажет. Бұл факторлар білім алушылардың кәсіби бағдарын қалыптастыруда шешуші рөл атқарады және ұсынылған AI-моделінің не үшін қажет екенін негіздейді.



Сурет 1. Кәсіби бағдарлауға әсер ететін негізгі факторлар

Зерттеу әдіснамасы

Бұл зерттеу білім алушылардың жеке ерекшеліктері мен еңбек нарығы қажеттіліктерін ескере отырып, олардың кәсіби бағдарын жекелендіру мен оңтайландыруға бағытталған. Зерттеу нысаны кәсіби таңдау үдерісімен және адамның өмірлік қызметіндегі "мамандық" ұғымымен тығыз байланысты. Сонымен қатар, кәсіби қызметтің кеңірек саласы шеңберіндегі құзыреттерді нақтылайтын "мамандану" ұғымы да жиі қолданылады [1].

Кәсіби таңдау мәселесінде маңызды теориялардың бірі – Джон Холландтың концепциясы болып табылады. Бұл теория бойынша адамдар өздерінің негізгі тұлға типтеріне сай мамандықты таңдауға бейімделеді. Холланд тұлғаның алты негізгі типін бөліп көрсетті, әрқайсысы белгілі бір кәсіби бағыттар мен қалаулармен тығыз байланысты. Осы типтер негізінде адам өзінің кәсіби бағдарын анықтай алады [2].

- Реалистік: практикалық қызметке, құралдармен және механизмдермен жұмыс істеуге бағытталған.
- Зерттеушілік: талдауға, ғылыми зерттеулерге, білім іздеуге бейім.
- Артистік: шығармашылықпен, эмоционалдылықпен, өзін-өзі көрсетуге ұмтылумен сипатталады.

- Элеуметтік: басқаларға көмектесуге, қарым-қатынасқа, адамдармен өзара әрекеттесуге бағытталған.

- Кәсіпкерлік: көшбасшылыққа, сендіруге, ұйымдастыруға, коммерциялық табысқа жетуге бағытталған.

- Дәстүрлі: құрылымдалған қызметті, деректермен жұмыс істеуді, ережелерді сақтауды қалайды.

Кәсіби өзін-өзі анықтау үдерісін түсінуде типологиялық тәсілден бөлек, оның қалыптасу кезеңдері де маңызды рөл атқарады. И.С. Конның пікірінше, бұл үдеріс балалық шақтан басталып, жасөспірімдік кезеңде толықтай қалыптасады және адамның бүкіл кейінгі өміріне елеулі ықпалын тигізеді [3].

Идеяны дамыта отырып, Е.А. Климов өзін-өзі тануды өзін-өзі анықтаудың негізгі элементі ретінде қарастырады. Оның кәсіби өзін-өзі анықтау моделі келесі компоненттерді қамтиды:

- кәсіби қауымдастыққа өзінің тиесілігін сезіну.
- өзінің рөлін және кәсіби саладағы стандарттарға сәйкестігін бағалау.
- өзінің кәсіби сәйкестігінің әлеуметтік танылуы.
- өзінің күшті және әлсіз жақтарын, өзін-өзі жетілдіру әдістерін түсіну.
- болашақ кәсіби жолында өзін-өзі елестету [4].

Н.С. Пряжников кәсіби өзін-өзі анықтауды адамның өмір сүру барысында үздіксіз жүретін, бірнеше деңгейден тұратын және әртүрлі өмірлік аспектілермен тығыз байланысты үдеріс ретінде 2-суретте сипаттайды. Бұл процесс адамның тұлғалық ерекшеліктері, құндылықтары, қызығушылықтары мен қоршаған ортаның талаптарымен өзара әрекеттесе отырып қалыптасады [5].



Сурет 2. Кәсіби өзін-өзі анықтау аспектілері

Жүйе архитектурасы модульдік негізде құрастырылған, бұл оның икемділігін және әртүрлі функцияларды бір жүйеде үйлестіру мүмкіндігін арттырады. Құрамына кәсіби бейімділікті бағалау, психологиялық тестілеу, еңбек нарығы деректерін талдау, қолданушының жеке профилін құру және мамандықтарға сәйкестендіру модульдері кіреді. Бұл компоненттер өзара байланысып, қолданушыға кәсіби бағыт таңдауда жан-жақты және дәлелді ұсыныстар ұсынуға мүмкіндік береді. Кәсіби бағдарлау платформасының жұмысы дәйекті модульдер түрінде ұйымдастырылған, олардың әрқайсысы ұсыныстардың толықтығы мен дәлдігін қамтамасыз ететін нақты функцияны орындайды. 3-суретте кәсіби бейімділікті диагностикалау үдерісінің негізгі кезеңдері көрсетілген. Үдеріс пайдаланушы деректерін жинаудан басталып, еңбек нарығы ақпаратын талдаумен жалғасады. Одан кейін алынған мәліметтер пайдаланушы профилімен сәйкестендіріледі. Соңғы кезеңде осы деректер негізінде жекелендірілген кәсіби ұсыныстар жасалады. Бұл цикл элементтердің өзара байланысын және диагностика моделінің дәйекті жұмысын бейнелейді [6].

Кәсіби бағдарлау жүйесін әзірлеу процесі кешенді және функционалды шешім құруға бағытталған бірқатар дәйекті кезеңдерді қамтиды.



Сурет 3. Мамандық ұсыныстарының циклі

Мамандық таңдауға арналған интеллектуалды жүйені әзірлеуді зерттеу 4-суретте көрсетілген психологиялық тесттерді цифрландыру, чат-бот интерфейсін құру, нарықтық деректерді талдау, пайдаланушы мен нарықтық деректерді сәйкестендіру алгоритмдерін жасау және соның негізінде жеке ұсыныстарды қалыптастыру кезеңдерінен тұрады.



Сурет 4. Мансаптық бағдарлау чат ботын әзірлеу

Білім алушылар профильдерін мамандық талаптарымен тиімді сәйкестендіру және жекелендірілген ұсыныстарды қалыптастыру үшін жүйеде машиналық оқытудың алгоритмдері қолданылады.

Деректерді жинау және оларды өңдеу үдерісін тиімді ұйымдастыру үшін жүйеге интерактивті диалогқа негізделген чат-бот модулі енгізіледі. Чат-бот пайдаланушымен табиғи тілде өзара әрекеттесуді қамтамасыз етеді және кәсіби бейімділікті диагностикалау үшін қажетті бастапқы ақпаратты жинаудың негізгі құралы ретінде қызмет етеді. Бұл мақсатта MBTI, Гарднердің көпқырлы интеллект теориясы және Холландтың RIASEC типологиясы сияқты кең таралған психометриялық тесттер цифрландырылып, чат-ботқа біріктірілді. Тест нәтижелері білім алушының тұлғалық ерекшеліктерін, қызығушылықтарын және кәсіби бейімділіктерін анықтауға мүмкіндік береді [7-8].

Пайдаланушымен өзара әрекеттесу сапасын арттыру үшін жүйеге адаптивті диалог алгоритмдері енгізіледі. Олардың қатарына шешім қабылдау ағаштары және күшейту арқылы оқыту (Reinforcement Learning) тәсілдері жатады [9]. Бұл алгоритмдер пайдаланушының жауап беру стиліне, таңдауларына және мінез-құлықтық ерекшеліктеріне бейімделе отырып, диалогтың жеке траекториясын құрастырады. Нәтижесінде жинақталатын деректердің толықтығы мен нақтылығы артып, диагностикалық модельдің сапасы жақсарады. Пайдаланушының қасиеттері мен кәсіби қызығушылықтары туралы алынған ақпарат кейіннен векторлық түрде өңделіп, кәсіби бағыттарды сәйкестендіру алгоритмдерінде қолданылады.

Зерттеу барысында кәсіби бейімділікті диагностикалауда жасанды интеллект технологияларының тиімділігі мен дәлдігін бағалау негізгі міндеттердің бірі ретінде айқындалды. Осы мақсатта NLP модельдері, косинус ұқсастығы және сиамдық нейрондық

желілердің диагностикалық нәтижелердің сапасына ықпалы кешенді түрде талданады. Сонымен қатар пайдаланушы профилін мамандық талаптарымен сәйкестендіру үдерісіне ең қолайлы архитектуралық шешімді анықтау зерттеудің маңызды бағыты болып табылады. Интеллектуалды чат-бот арқылы жиналатын деректердің толықтығын және сенімділігін арттыру тетіктерін қарастыру да зерттеу аясындағы назарға алынған мәселелердің бірі. Еңбек нарығындағы үнемі өзгеріп отыратын талаптарды ескере отырып, жекелендірілген кәсіби ұсынымдардың өзектілігін қамтамасыз ету механизмдерін талдау зерттеудің маңызды аспектілерін толықтырады.

Зерттеу нәтижелері

Кәсіби бейімділікті диагностикалау моделінде пайдаланылатын негізгі математикалық және машиналық оқыту әдістері зерттеу барысында тиімділігі тұрғысынан бағаланды. Жоғарыда келтірілгендей, пайдаланушы профилін мамандық талаптарымен сәйкестендіру үшін қолданылатын негізгі әдістердің бірі – косинус ұқсастығы. Косинус ұқсастығы (Cosine Similarity) – екі вектор арасындағы бағыттық жақындықты өлшейтін қарапайым әрі тиімді әдіс [10]. Ол векторлар арасындағы бұрыштың косинус мәнін есептейді:

- 1-ге жақын мән – олардың максималды ұқсастығын,
- 0-ге жақын мән – бағыттарының сәйкес еместігін білдіреді.

А және В векторлары үшін косинус ұқсастығы формуласы:

$$Similarity = \frac{A \times B}{\|A\| \times \|B\|} \quad (1)$$

мұндағы $A \times B$ - А және В векторларының скалярлық көбейтіндісі, ал $\|A\|$ және $\|B\|$ - олардың Евклид нормалары.

- А векторы – білім алушының жеке кәсіби профилін сипаттайтын параметрлерден тұрады. Бұған оның психологиялық типі (Holland RIASEC), қызығушылықтары, құндылықтары, когнитивтік ерекшеліктері, академиялық бейімдері және өзіндік бағалау көрсеткіштері кіреді.

- В векторы – белгілі бір мамандықтың немесе жұмыс бағытының талаптарын сипаттайтын параметрлердің векторлық көрінісі. Бұл талаптарға кәсіби құзыреттер, қажетті дағдылар, жұмыс ортасының психологиялық ерекшеліктері, еңбек нарығындағы сұраныс деңгейі және рөлдік сипаттамалар енеді.

Әдісті пайдаланушы профильдерінің (олардың дағдыларына, қызығушылықтарына, жеке қасиеттеріне негізделген) векторлық бейнесін бос жұмыс орындарының сипаттамалары мен лауазымдық міндеттемелердің векторлық бейнесімен салыстыру үшін қолданылады. Косинус ұқсастығының жоғары мәні оқушы мен белгілі бір мамандық арасындағы әлеуетті сәйкестікті көрсетеді, бұл тиісті ұсыныстарды қалыптастырудың негізі болып табылады.

Зерттеу барысында сәйкестендіру дәлдігін арттыру үшін сиамдық нейрондық желілер (Siamese Networks) пайдаланылды. Бұл нейрондық желілер жұптық деректерді (“қолданушы – мамандық”) салыстыруға мамандандырылған және ұқсас/ұқсас емес жұптар арасындағы қашықтықты ажыратуға мүмкіндік береді.

$$L = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \max(0, m - y_i * d(x_i, x'_i)) \quad (2)$$

мұндағы, $d(x_i, x'_i)$ - эмбеддингтер арасындағы қашықтық, y_i - ұқсастық белгісі (ұқсас жұптар үшін - 1, ұқсас емес жұптар үшін -1), m - маржа мәні, N - жұптар саны [11].

Сиамдық нейрондық желілер косинус ұқсастығына қарағанда күрделірек семантикалық байланыстарды модельдеуге мүмкіндік береді, нәтижесінде мамандықтар мен пайдаланушы профилдері арасындағы сәйкестендіру сапасы артты.

Дискуссия

Ұсынылған кәсіби бейімділікті диагностикалау моделі жасанды интеллекттің бірнеше технологиялық бағытын біріктіреді. NLP архитектуралары (BERT, GPT, Llama) пайдаланушы жауаптарын мағыналық деңгейде талдауға мүмкіндік беріп, психометриялық ақпаратты сандық репрезентацияға айналдырады. Бұл тәсіл кәсіби қызығушылықтар мен тұлғалық ерекшеліктерді автоматты түрде анықтауды жеңілдетеді және сәйкестендіру кезеңіне сапалы дерек береді. Модельдегі адаптивті диалог механизмдері деректерді жинаудың сенімділігін арттырады. Шешім ағаштары мен күшейту арқылы оқыту әдістері пайдаланушының жауап беру стиліне бейімделіп, ақпараттың нақтылығын жоғарылатады. Бұл диагностикалық үдерісте жеке траекторияны қалыптастыруға мүмкіндік береді. Пайдаланушы профилін мамандық талаптарымен салыстыру косинус ұқсастығы мен сиамдық нейрондық желілер арқылы жүзеге асырылады. Косинус ұқсастығы бастапқы мағыналық жақындықты бағаласа, сиамдық желілер күрделірек семантикалық байланыстарды анықтайды. Сонымен қатар еңбек нарығы деректерінің NLP және кластерлеу әдістерімен талдануы ұсыныстардың өзектілігін сақтап, жекелендірілген кәсіби бағдарлауды қамтамасыз етеді.

Қорытынды

Бұл зерттеудің нәтижесінде жасанды интеллект технологияларына негізделген кәсіби бейімділікті диагностикалау моделінің ғылыми негізі, құрылымы және негізгі әдістемелік шешімдері айқындалды. Модель психометриялық деректерді, мәтіндік жауаптарды және еңбек нарығы туралы ақпаратты біртұтас талдау мүмкіндігін беретін интеграцияланған тәсіл ұсынады. Зерттеу сұрақтарын талдау барысында AI әдістерінің тұлғалық ерекшеліктер мен кәсіби талаптар арасындағы байланысты анықтауда жоғары әлеуетке ие екені көрсетілді.

Модельдің векторлық сәйкестендіру тәсілдеріне (косинус ұқсастығы, сиамдық желілер) сүйенуі кәсіби бағыттарды ғылыми түрде негізделген түрде ұсынуға мүмкіндік беретіні анықталды. Сонымен қатар, психологиялық тесттерді цифрландыру және бейімделмелі диалог механизмдерін пайдалану деректер сапасын арттыруға әсер ететіні байқалды. Бұл зерттеу кәсіби бағдарлаудың дәстүрлі тәсілдерін толықтырып, деректерге негізделген шешім қабылдауды күшейтетін жаңа әдістемелік бағыт ұсынады.

Алдағы зерттеулер модельдің нақты білім беру орталарында қолданылу тиімділігін бағалауды, пайдаланушылардың мінез-құлықтық деректерін талдауды кеңейтуді және еңбек нарығының динамикасына бейімделетін автоматтандырылған механизмдерді жетілдіруді талап етеді. Бұл модельді тәжірибеде қолдану білім алушыларға кәсіби өзін-өзі тану мен мамандық таңдау үдерісінде анағұрлым дәл әрі сенімді қолдау көрсетудің жаңа мүмкіндіктерін ашады.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

- [1] Петровский А.В., Ярошевский М.Г. // Психология. Словарь. Москва: Политиздат, 1990. С. 89–91. ISBN 5-250-00364-8
- [2] Holland J. L. // *Making vocational choices: a theory of vocational personalities and work environments*. 3rd ed. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources, 1997. 303 p. ISBN 0-911907-27-0
- [3] Кон И. С. // Психология ранней юности: книга для учителя. М.: Просвещение, 1989. 254с. ISBN 5-09-001053-6.
- [4] Климов Е. А. // Психология профессионального самоопределения: учеб. пособие. – М.: Академия, 2004. 304 с. ISBN 5-7695-2398-0.
- [5] Пряжников Н.С. // *Профессиональное самоопределение: теория и практика*. – Москва: Академия, 2007. 256 с.
- [6] Sahana Kumari B., Thyagaraju G. S., Hooli R., U. S. Rohan, Siddivinayak B., Tirupati S. K. *AI-Powered Career Guidance System Using Machine Learning // International Journal of Innovative Research in Engineering and Management (IJIREM)*. 2025.Vol.12, Issue 5. P. 65–67. DOI: <https://doi.org/10.55524/ijirem.2025.12.5.9>.

- [7] Dascălu M.-I., Hang A., Puskás I.-F., Bodea C.-N. CareProfSys: a job recommender system based on machine learning and ontology to support learners' employability at regional level // *Issues in Information Systems*. – 2023. Vol. 24, № 3. P. 71–82. DOI: https://doi.org/10.48009/3_iis_2023_107
- [8] Sarsenbar S., Kabdiyev A., Varlamis I., Sardianos S., Razhametov B. // *Generating job recommendations based on user personality and Gallup tests* // *Algorithms*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/a18050275>.
- [9] Jain R. K., Prajapat S., Paliwal R., Rai A. NEXTSTEP-AI: An AI-Powered Personalized Career Guidance Chatbot Using NLP, Machine Learning and Blockchain // *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*. 2025. Vol. 12, Iss. 6 (June). P.514–520. URL: <http://www.jetir.org/papers/JETIRGW06084.pdf>
- [10] Salton G., Wong A., Yang C. S. A Vector Space Model for Automatic Indexing // *Communications of the ACM*. 1975. Vol. 18, № 11. P. 613–620. URL: <https://doi.org/10.1145/361219.361220>
- [11] Dhelim S., Aung N., Bouras M.A., Ning H., Cambria E. // *A Survey on Personality-Aware Recommendation Systems* // *Artificial Intelligence Review*. arxiv.org/abs/2101.12153?utm_source
- [12] OpenAI Research. Evaluation of GPT-4 for Personalized Career Guidance. OpenAI Technical Report, 2023.

References

- [1] Petrovskiy A.V., Yaroshevskiy M.G. (1990) *Psikhologiya. Slovar [Psychology. Dictionary]*. Moskva: Politizdat, 89–91. ISBN 5-250-00364-8.
- [2] Holland J. L. *Making vocational choices: a theory of vocational personalities and work environments*. 3rd ed. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources, 1997. 303 p. ISBN 0-911907-27-0.
- [3] Kon I. S. (1989) *Psikhologiya ranney yunosti [Early Adolescence Psychology: A Teacher's Guide]: kniga dlya uchitelya*. M.: Prosveshchenie, 254. ISBN 5-09-001053-6.
- [4] Klimov E. A. (2004) *Psikhologiya professional'nogo samoopredeleniya [Psychology of professional self-determination]: ucheb. posobie*. M.: Akademiya, 304. ISBN 5-7695-2398-0.
- [5] Pryazhnikov N.S. (2007) *Professional'noe samoopredelenie: teoriya i praktika [Professional self-determination: theory and practice]*. Moskva: Akademiya, 256.
- [6] Sahana Kumari B., Thyagaraju G. S., Hooli R., U. S. Rohan, Siddivinayak B., Tirupati S. K. AI-Powered Career Guidance System Using Machine Learning // *International Journal of Innovative Research in Engineering and Management (IJIREM)*. 2025. Vol.12, Issue 5. P. 65–67. DOI: <https://doi.org/10.55524/ijirem.2025.12.5.9>.
- [7] Dascălu M.-I., Hang A., Puskás I.-F., Bodea C.-N. CareProfSys: a job recommender system based on machine learning and ontology to support learners' employability at regional level // *Issues in Information Systems*. – 2023. Vol. 24, № 3. P. 71–82. DOI: https://doi.org/10.48009/3_iis_2023_107.
- [8] Sarsenbar S., Kabdiyev A., Varlamis I., Sardianos S., Razhametov B. // *Generating job recommendations based on user personality and Gallup tests* // *Algorithms*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/a18050275>
- [9] Jain R. K., Prajapat S., Paliwal R., Rai A. NEXTSTEP-AI: An AI-Powered Personalized Career Guidance Chatbot Using NLP, Machine Learning and Blockchain // *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*. 2025. Vol. 12, Iss. 6 (June). P.514–520. URL: <http://www.jetir.org/papers/JETIRGW06084.pdf>
- [10] Salton G., Wong A., Yang C. S. A Vector Space Model for Automatic Indexing // *Communications of the ACM*. 1975. Vol. 18, № 11. P. 613–620. URL: <https://doi.org/10.1145/361219.361220>
- [11] Dhelim S., Aung N., Bouras M.A., Ning H., Cambria E. // *A Survey on Personality-Aware Recommendation Systems* // *Artificial Intelligence Review*. arxiv.org/abs/2101.12153?utm_source
- [12] OpenAI Research. Evaluation of GPT-4 for Personalized Career Guidance. OpenAI Technical Report, 2023.

G. Aksholak^{1*} , R. Magazov¹ 

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: gaksholak@gmail.com

APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS TO ANALYZE MALICIOUS NETWORK TRAFFIC

Abstract

The increasing deployment of Internet of Things (IoT) devices has made networks more vulnerable to malicious activities, necessitating effective traffic classification methods. This study investigates machine learning-based approaches to classify network traffic using the CTU-IoT-Malware-Capture-3-1conn.log.labeled dataset, which includes over 150,000 records labeled as benign or malicious. Key numeric features such as packet counts, data volumes (bytes), protocol types, and source IP frequencies were selected to enhance the models' predictive capabilities. Preprocessing involved normalization with StandardScaler to ensure equal contribution of features to model predictions. Four machine learning algorithms were evaluated: Logistic Regression, Random Forest, Support Vector Machines (SVM), and Gradient Boosting. The experiments utilized a 5-fold cross-validation framework to ensure robustness and reliability. Gradient Boosting outperformed other models with a mean accuracy of 99.13%, followed by Random Forest at 99.11%. To address class imbalance, SMOTE was applied, significantly improving the recall of minority classes. This study demonstrates the potential of machine learning for improving IoT network security by identifying anomalous behaviors in real-world attack scenarios. The results underline the importance of preprocessing, feature selection, and evaluation in achieving high detection accuracy.

Keywords: IoT security, malicious traffic detection, machine learning, feature selection, SMOTE, anomaly detection, cybersecurity.

Г.И. Акшолок¹, Р.С. Мағазов¹

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., Қазақстан

ЗИЯНДЫ ЖЕЛІЛІК ТРАФИКТІ АНЫҚТАУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ

Аңдатпа

IoT құрылғыларының көбеюі желілерді зиянды әрекеттерге осал етті, бұл трафикті жіктеудің тиімді әдістерін қолдануды талап етеді. Бұл зерттеу CTU-IoT-Malware-Capture-3-1conn деректер жинағын пайдалана отырып, желілік трафикті жіктеудің машиналық оқытуға негізделген тәсілдерін қарастырады. Деректер қоры қатерсіз немесе зиянды деп белгіленген 150 000-нан астам жазбаларды қамтиды. Модельдердің болжамды мүмкіндіктерін кеңейту үшін пакеттер саны, деректер көлемі (байттар), Протокол түрлері және дереккөздердің IP мекенжай жиіліктері сияқты негізгі сандық сипаттамалар таңдалды. Деректер модель болжамдарына өнімділіктің тең үлесін қамтамасыз ету үшін StandardScaler көмегімен алдын ала қалыпқа келтірілді. Машиналық оқытудың төрт алгоритмі бағаланды: логистикалық регрессия, кездейсоқ орман, тірек векторлық әдіс (SVM) және градиенттік үдеу. Тәжірибелер сенімділікті қамтамасыз ету үшін 5 есе кросс-тексеру жүйесі қолданылды. Градиенттік үдеу басқа модельдерге қарағанда жоғарғы дәлдікті көрсетті (99,13%), содан кейін кездейсоқ орман (99,11%). Деректердегі теңгерімсіздікті жою үшін SMOTE алгоритмі қолданылды, бұл азшылықтардың кері байланысын едәуір жақсартты. Бұл зерттеу нақты шабуыл сценарийлеріндегі қалыптан тыс мінез-құлықты (anomalous behaviors) анықтау арқылы заттардың интернет желісінің қауіпсіздігін жақсарту үшін машиналық оқытудың әлеуетін көрсетеді. Нәтижелер жоғары анықтау дәлдігіне қол жеткізу үшін алдын ала өңдеудің, өнімділікті таңдаудың және бағалаудың маңыздылығын көрсетеді.

Түйін сөздер: Интернет заттарының қауіпсіздігі, зиянды трафикті анықтау, Машиналық оқыту, мүмкіндіктерді таңдау, SMOTE, аномалияларды анықтау, киберқауіпсіздік.

Г.И. Акшопак¹, Р.С. Магазов¹

¹Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ВРЕДОНОСНОГО СЕТЕВОГО ТРАФИКА

Аннотация

Растущее число устройств Интернета вещей сделало сети уязвимыми для вредоносной деятельности, что потребовало использования эффективных методов классификации трафика. В этом исследовании рассматриваются подходы, основанные на машинном обучении, для классификации сетевого трафика с использованием набора данных STU-IoT-Malware-Capture-3-1conn. База данных содержит более 150 000 записей, помеченных как доброкачественные или вредные. Чтобы расширить возможности прогнозирования моделей, были выбраны основные числовые характеристики, такие как количество пакетов, объем данных (байты), типы протоколов и частоты IP-адресов источников. Данные были предварительно нормализованы с помощью StandardScaler, чтобы обеспечить равную долю производительности в прогнозах модели. Были оценены четыре алгоритма машинного обучения: логистическая регрессия, случайный лес, метод опорных векторов и градиентное ускорение. Эксперименты 5-кратная система перекрестного тестирования использовалась для обеспечения надежности. Градиентное ускорение показало более высокую точность, чем другие модели (99,13%), за которыми следует случайный лес (99,11%). Алгоритм SMOTE использовался для устранения дисбаланса данных, что значительно улучшило обратную связь меньшинств. Это исследование демонстрирует потенциал машинного обучения для повышения безопасности Интернета вещей путем выявления аномального поведения (anomalous behaviors) в реальных сценариях атак. Результаты подчеркивают важность предварительной обработки, выбора производительности и оценки для достижения высокой точности обнаружения.

Ключевые слова: безопасность Интернета вещей, обнаружение вредоносного трафика, машинное обучение, выбор функций, SMOTE, обнаружение аномалий, кибербезопасность.

Introduction

The integration of Internet of Things (IoT) technology across various industrial sectors has brought considerable advances in automated processes and network connectivity. At the same time, this proliferation of IoT devices has exposed networks to new security risks. A common characteristic of many IoT deployments is insufficient built-in security, which makes them vulnerable to exploitation through attack vectors such as Distributed Denial of Service (DDoS), data exfiltration, and port scanning.

Current threat statistics paint a concerning picture. The AV-TEST Institute records over 450,000 new malware and unwanted applications daily [1]. The 2025 Astra Security Report documents 560,000 daily malware detections [2], indicating a significant rise. This surge underscores the urgent need for automated methods that can detect threats intelligently. Prior studies [3], [4] emphasize that handling these challenges requires robust anomaly detection to identify malicious traffic quickly.

Anomaly detection involves defining patterns of “normal” behavior based on business operations and identifying deviations that may indicate potential threats [5]. Manual monitoring becomes practically impossible in IoT environments due to the massive volume and variety of data traffic these networks generate. Machine learning offers a solution by automating the detection of anomalies, which helps organizations identify and respond to attacks more quickly. Previous research has demonstrated the value of this approach – for example, Rana showed how real-time anomaly detection can effectively counter threats like DoS attacks [6].

The aim of the present study is to assess the capability of several supervised machine learning classifiers to differentiate between benign and malicious IoT traffic. Logistic Regression, Random Forest, Support Vector Machine, and Gradient Boosting models are examined using a labeled dataset representing realistic IoT attack scenarios. The evaluation framework includes data normalization, correlation analysis, and class balancing, allowing the assessment of model behavior under conditions that reflect real-world intrusion detection requirements.

This research provides several key contributions:

- A comparative evaluation of four supervised ML algorithms for IoT malicious traffic classification using real- world network data
- An empirical analysis of feature importance and the effect of normalization on model accuracy
- The integration of SMOTE to address severe class imbalance, significantly improving recall for minority attack classes
- A robust methodology that can be extended toward lightweight, real-time IoT intrusion detection systems

The remainder of this paper is organized as follows: Section II reviews literature review and research gaps; Section III presents the proposed methodology; Section IV details the experimental results; Section V discusses findings and limitations; and Section VI concludes with future research directions.

Literature review

Detecting anomalies in network traffic plays a central role in cybersecurity. When systems can identify deviations from normal behavior, they can spot new types of threats that signature-based methods might miss. This capability has made anomaly detection an active research area, particularly as machine learning techniques have matured.

A. Machine Learning-Based Intrusion Detection

Almutairi et al. explored machine learning methods for IDS in IoT networks [7]. They assessed various ML algorithms, including SVMs, Random Forests, and J48 Decision Trees, finding that Random Forests provided the best balance between performance and computational efficiency. Similarly, Hussain et al. identify challenges in resource-constrained IoT environments, including the need for lightweight and real-time detection systems [8].

As Iglesias and Zseby note [9], efficient feature selection not only reduces computational costs but also enhances detection accuracy. Disha and Waheed demonstrated the effectiveness of the Gini Impurity-based Weighted Random Forest (GIWRF) feature selection technique in reducing dimensionality while maintaining high classification accuracy [10]. Fernandes et al. provided a comprehensive survey on network anomaly detection, highlighting the importance of feature engineering for model efficiency [11].

Wang et al. explored encrypted malicious traffic detection using flow-based machine learning approaches [12]. Their work highlighted the effectiveness of Random Forest classifiers for achieving an optimal balance between detection accuracy and computational cost, making them suitable for large-scale IoT network environments.

B. Deep Learning and Hybrid Approaches

To overcome the limitations of static ML models, several studies explored deep learning for capturing temporal and spatial dependencies in network data. Radford et al. highlighted the suitability of Long Short-Term Memory (LSTM) for sequence-based anomaly detection in network traffic, achieving significant performance improvements with AUC scores of 0.84 on benchmark datasets [13]. Fotiadou et al. demonstrated the effectiveness of Convolutional Neural Networks (CNNs) and LSTMs for analyzing sequential traffic data [14].

Balyan et al. proposed a hybrid intrusion detection model combining Enhanced Genetic Algorithm (EGA) and Particle Swarm Optimization (PSO) with an improved Random Forest (IRF) method [15]. Their model effectively tackled data imbalance issues by enhancing minor data samples, achieving high accuracy (98.979%) for binary classification using the NSL-KDD dataset.

Fu et al. introduced Whisper, a system leveraging frequency- domain features for real-time malicious traffic detection, achieving robustness against diverse attack types [16]. Complementarily, Koumar et al. proposed NetTiSA, a compact feature set optimized for high-speed network traffic classification [17].

C. Feature Engineering and Data Balancing

Feature selection and data balancing remain major determinants of IDS performance. Alduailij et al. presented a method for DDoS attack detection in cloud computing using Mutual Information and Random Forest Feature Importance techniques [18]. Their results showed that Random Forests and

Gradient Boosting outperformed other methods in accuracy and feature relevance. Subbiah et al. employed Boruta feature selection with a Grid Search Random Forest to develop an IDS for wireless sensor networks, achieving 99% accuracy [19]. Several studies emphasized the role of Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE) to mitigate class imbalance, which often causes models to favor benign traffic. This preprocessing method has consistently improved recall for minority attack categories, as confirmed by Al-Amri et al. [20].

D. Research Gap

Although prior works have achieved promising results, several limitations persist. Many models rely on simplified or filtered datasets, failing to represent the full diversity of IoT network traffic. Deep learning-based approaches, while accurate, are computationally intensive, making them unsuitable for real-time or edge deployments. Few studies conduct systematic evaluations comparing classical and ensemble ML models under balanced, standardized preprocessing conditions. The impact of feature scaling and class balancing techniques has not been consistently quantified across models.

To bridge these gaps, the present study conducts a comprehensive comparative analysis of four supervised ML algorithms – Logistic Regression, SVM, Random Forest, and Gradient Boosting—on the CTU-IoT-Malware-Capture-3-1 dataset. The proposed framework emphasizes feature normalization, correlation analysis, and class rebalancing, providing new insights into optimizing ML-based intrusion detection for heterogeneous IoT environments.

Research methodology

The proposed system follows a multi-layered architecture consisting of data acquisition, preprocessing, feature selection, and machine learning model evaluation. Each component is designed to handle specific aspects of IoT network traffic classification, as illustrated in Fig. 1.

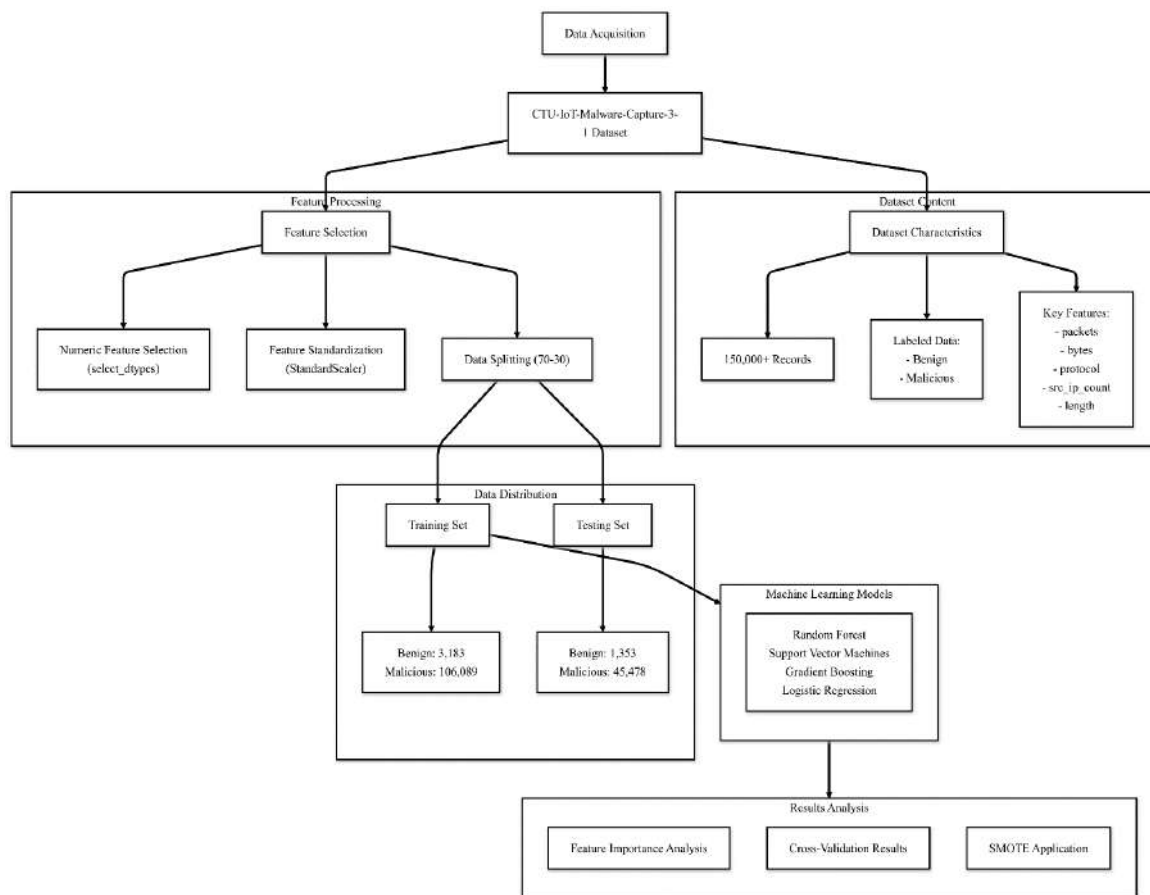


Fig. 1. Architecture of the developed system

A. Data Description

The CTU-IoT-Malware-Capture-3-1 dataset [21], a part of the IoT-23 dataset, is a comprehensive labeled collection of network traffic data designed for analyzing malicious activities in IoT environments. It contains over 150,000 records of network connections, each labeled as either Benign (normal traffic) or Malicious (malicious traffic), enabling clear differentiation for machine learning tasks.

This dataset includes key features such as:

- packets: Number of packets in a connection, where high counts can indicate Distributed Denial of Service (DDoS) attacks.
- bytes: Total data volume, often suggesting potential data exfiltration in cases of large values.
- protocol: Protocol type (e.g., TCP, UDP, ICMP), aiding in understanding connection behavior.
- src_ip_count: Frequency of requests from a single IP, which may point to scanning activities.
- length: Packet size, helpful for identifying anomalies in traffic patterns.

B. Data Preprocessing

Data preprocessing ensures consistency and comparability across all features. The following steps were performed:

- 1) Numeric Filtering: Only numeric columns were retained using the `select_dtypes` function to prevent categorical encoding bias.
- 2) Standardization: All numeric features were normalized via `StandardScaler` from `scikit-learn` to achieve zero-mean and unit-variance scaling:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

where, μ is the mean and σ is the standard deviation. This process prevents features with large ranges from dominating model training.

- 3) Data Splitting: The dataset was divided into 70% training and 30% testing subsets.
- 4) Balancing with SMOTE: To mitigate severe class imbalance ($\approx 3k$ benign vs $106k$ malicious), the Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE) was applied to equalize both classes. This step significantly improved recall for minority samples and stabilized learning across folds.

C. Feature Selection and Correlation Analysis

Feature selection is a critical step in optimizing machine learning models. It involves identifying the most relevant attributes to enhance model performance, interpretability, and computational efficiency. We implemented specific methods to preprocess the dataset and ensure that features were suitable for machine learning tasks.

Numeric Feature Selection

Using the `select_dtypes` method from the `pandas` library, we filtered numeric features from the dataset:

```
numeric_dataset = dataset.select_dtypes(include='number')
```

This ensures that only numeric data is used, simplifying input for machine learning algorithms and avoiding errors during training. Key numeric features included:

- packets: Indicates potential DDoS attacks due to high counts.
- bytes: Suggests data exfiltration when values are unusually large.
- src_ip_count: High frequencies from a single IP may indicate scanning activity.

These features provide a direct correlation with network behaviors and serve as strong indicators of malicious activity.

D. Machine Learning Models and Evaluation

The study evaluates several machine learning models, each chosen for its specific strengths in detecting network anomalies:

- Random Forest (RF): Known for its robustness and ability to handle high-dimensional data effectively.
- Support Vector Machines (SVM): Effective in binary classification with non-linear data distributions.
- Gradient Boosting (GB): Provides iterative improvements, optimizing performance for complex datasets.
- Logistic Regression (LR): A simple yet effective baseline model for binary classification, offering probabilistic insights into predictions.

Each model was trained using 5-fold cross-validation to ensure robustness and to prevent overfitting. Evaluation metrics included accuracy, precision, recall, F1-score, and AUC (Area Under Curve), defined as:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (2)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (5)$$

where TP, TN, FP, and FN represent true positives, true negatives, false positives, and false negatives, respectively.

Results of the study

This section presents a detailed analysis of the results, including visualizations and comparisons in accordance with the research methodology. Key observations and trends are contextualized by comparing them with relevant prior studies.

A. Feature Correlation Analysis

Figure 2 illustrates the correlation of features with malicious traffic. Features such as `id.orig_p` and `id.resp_p` exhibit the highest correlations, indicating their importance in detecting anomalies. In contrast, the `missed_bytes` feature shows minimal correlation, suggesting limited utility for prediction purposes.

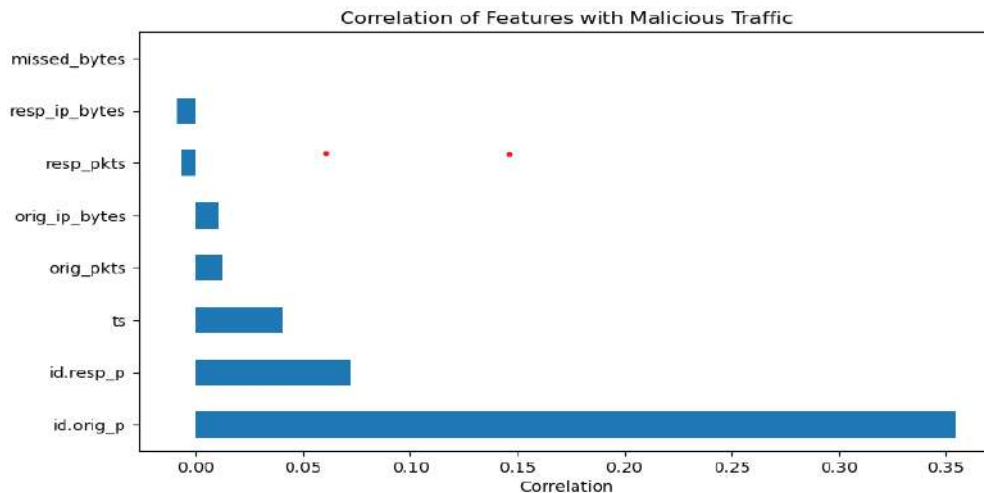


Fig. 2. Correlation of Features with Malicious Traffic

B. Impact of Feature Scaling

Fig. 3 compares model performance with and without feature scaling. Logistic Regression and SVM demonstrated significant performance improvements post-scaling, achieving higher precision and recall. Random Forest and Gradient Boosting, being tree-based models, were less affected by scaling.

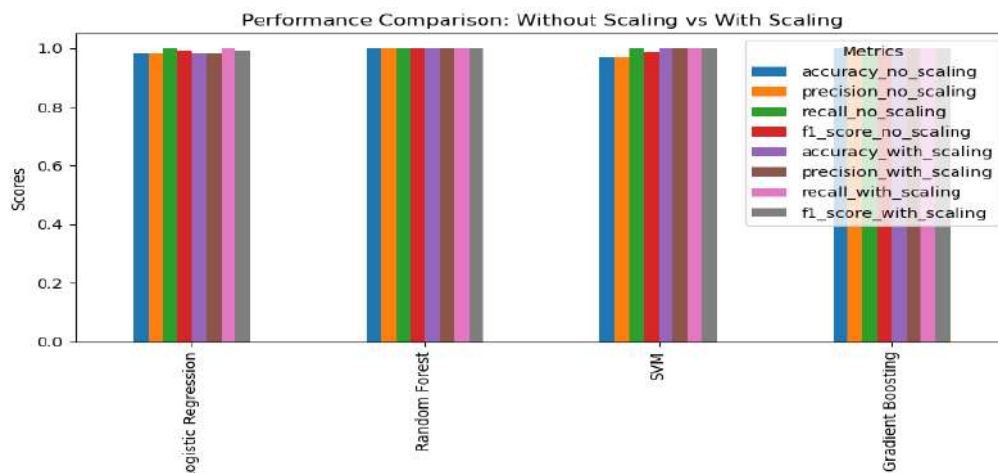


Fig. 3. Model performance with and without feature scaling

Feature scaling has proven essential for models sensitive to feature ranges, such as Logistic Regression and SVM. Similar findings in previous works validate the benefit of preprocessing in achieving balanced and accurate predictions.

C. SMOTE Application Results

Class imbalance was addressed using SMOTE, balancing the number of benign and malicious samples. Before SMOTE, the dataset had 3183 benign and 106,089 malicious samples. Post-SMOTE, both classes had equal representation (106,089 samples each), significantly improving model recall.

Fig. 4 highlights the effect of SMOTE on class distribution, balancing the originally skewed dataset. Model performance, particularly recall and F1-score, improved significantly after addressing class imbalance.

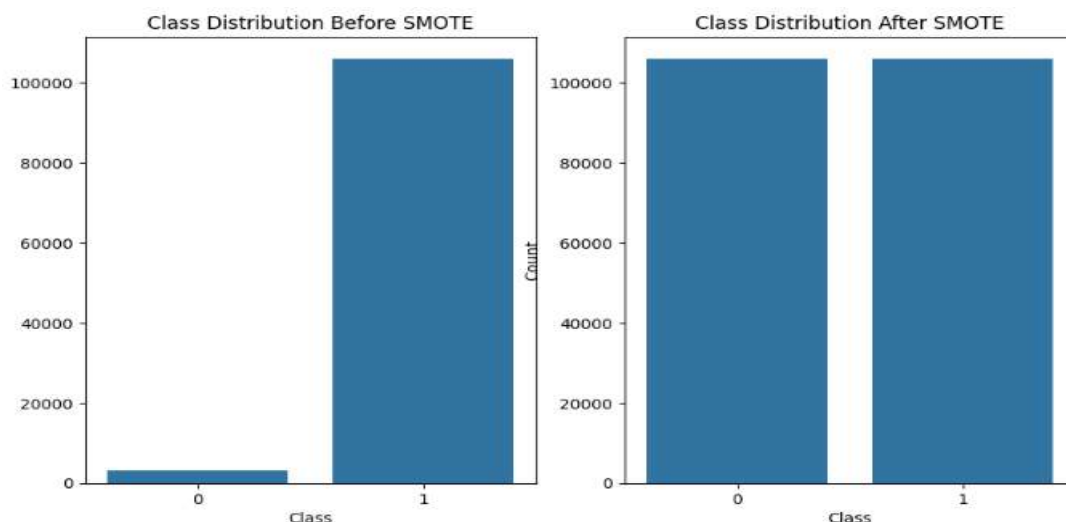


Fig. 4. Effect of SMOTE on Class Distribution

D. Cross-Validation Results

Cross-validation ensured reliable evaluation, preventing overfitting and confirming model robustness across different data splits. Using 5-Fold Cross-Validation, the models were evaluated for stability and consistency. Table 1 displays the result of the accuracy of four algorithms.

Table 1. Accuracy results of the LR, RF, SVM and Gradient Boosting

5 Fold	LR	RF	SVM	GB
1	98.55%	96.03%	97.09%	96.03%
2	98.69%	99.67%	97.09%	99.79%
3	97.89%	99.91%	97.09%	99.91%
4	97.93%	99.97%	97.09%	99.96%
5	98.61%	99.95%	97.09%	99.94%
Mean Accuracy	98.34%	99.11%	97.09%	99.13%

The results, shown in Fig. 5, demonstrate that Gradient Boosting achieved the highest mean accuracy score of 99.13%, followed closely by Random Forest with an accuracy of 99.11%. The Logistic Regression algorithm yielded an accuracy of 98.34%, while SVM achieved a slightly lower accuracy of 97.09%.

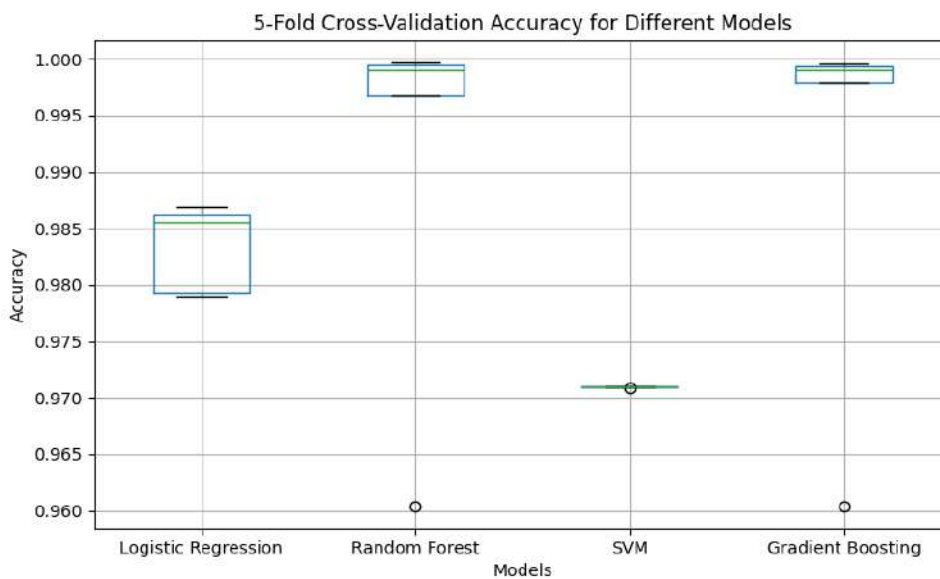


Fig. 5. Distribution of 5-fold cross-validation accuracy

These findings indicate that Gradient Boosting and Random Forest are particularly effective in handling complex datasets and providing robust classification performance, whereas Logistic Regression serves as a strong baseline method. SVM, while slightly less accurate, remains consistent in its performance.

E. Computational Cost Evaluation

To assess the feasibility of deploying the evaluated machine learning models in resource-constrained IoT environments, measurements were conducted for both training time and inference latency for each classifier using the same preprocessing pipeline (StandardScaler and SMOTE). The results are summarized in Fig. 6.

Training Time. Logistic Regression achieved the fastest training time (1.40~s), followed by Random Forest (5.46 ~s) and Gradient Boosting (19.08~s). SVM required 488.46 s, confirming its impracticality for large-scale or real-time IoT deployments.

Inference Latency. Logistic Regression also achieved the lowest inference time (1.30 ~ms). Gradient Boosting and Random Forest produced moderate delays (24.84 ~ms and 80.81 ~ms, respectively), while SVM exhibited prohibitively high latency (5136.24 ~ms).

Prediction Throughput. Logistic Regression reached the highest throughput (35.95M predictions/s), followed by Gradient Boosting (1.89M/s) and Random Forest (0.58M/s). SVM yielded only 9,118 predictions/s.

Accuracy-Efficiency Trade-off. Gradient Boosting provides the best balance between accuracy and computational efficiency. Random Forest offers competitive performance at lower cost, while Logistic Regression remains suitable for lightweight edge-level IoT devices. SVM demonstrated excessive overhead and is unsuitable for real-time IoT intrusion detection.

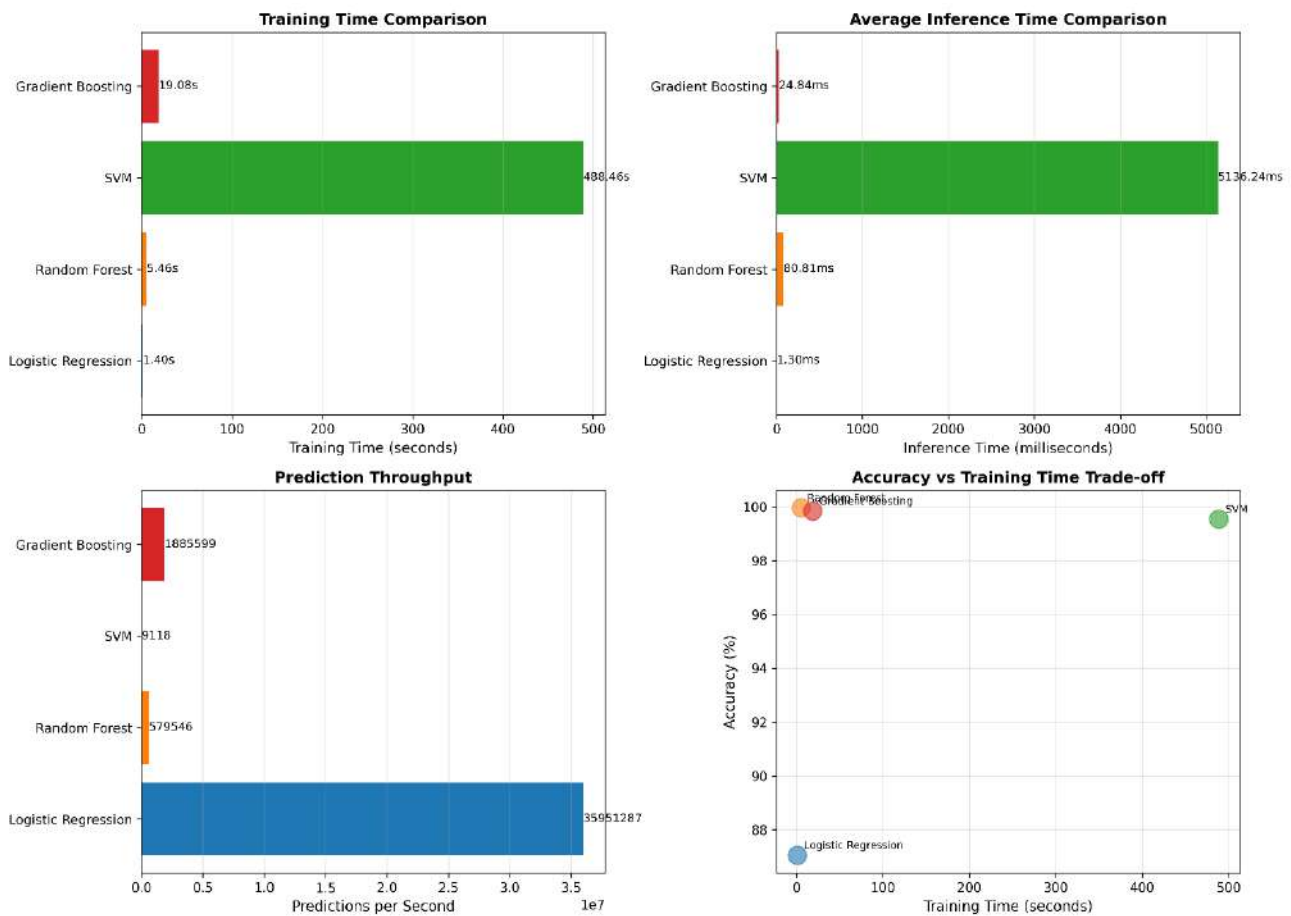


Fig. 6. Computational cost analysis comparing (a) training time, (b) average inference time, (c) prediction throughput and (d) accuracy-efficiency trade-off

Discussion

The findings of this study underscore the potential of machine learning algorithms in detecting malicious IoT network traffic. By leveraging a well-labeled dataset, we demonstrated the effectiveness of preprocessing steps such as feature scaling and SMOTE to address challenges like imbalanced data and feature dominance.

5-fold cross-validation ensured robust model evaluation, reducing the likelihood of overfitting. As shown in Table 1, Gradient Boosting exhibited minimal variance across folds, indicating its stability for this classification task.

Features such as `id.orig_p` and `id.resp_p` showed strong correlations with malicious traffic, corroborating findings from studies emphasizing the role of port-related features in identifying network anomalies.

Class imbalance, a common challenge in IoT datasets, was effectively mitigated using SMOTE. This approach not only balanced the dataset but also significantly improved recall for the minority class, aligning with the objective of enhancing anomaly detection.

The results validate the applicability of machine learning models in IoT security. However, real-time implementation remains a challenge due to computational constraints. Future research could explore lightweight models or hybrid approaches combining machine learning with deep learning techniques for real-time detection.

The high performance of ensemble models suggests their utility in developing scalable anomaly detection systems for IoT networks. Future work could incorporate additional contextual features, such as temporal patterns, to improve detection capabilities further.

Exploring advanced data augmentation techniques beyond SMOTE could help enhance model performance on imbalanced datasets. The study primarily focused on binary classification, overlooking multi-class scenarios that are often encountered in complex IoT environments. The dataset, while comprehensive, may not fully represent all potential attack vectors in real-world networks, limiting the generalizability of the findings.

Conclusion

This research highlights the potential of machine learning algorithms in detecting malicious IoT network traffic. By leveraging a well-curated dataset and employing advanced preprocessing techniques, including feature selection and normalization, we developed effective models for binary traffic classification. Among the evaluated algorithms, Gradient Boosting demonstrated superior performance, achieving an accuracy of 99.13%. The application of SMOTE addressed class imbalance, significantly enhancing recall for minority classes and improving the overall robustness of the models.

The study establishes a comprehensive framework for malicious traffic detection, emphasizing the critical role of preprocessing and model evaluation through cross-validation. The findings contribute to IoT security by offering scalable solutions for real-time traffic monitoring and anomaly detection. Future research should focus on incorporating deep learning techniques and real-time implementation to further enhance detection capabilities and address evolving cyber threats. This study serves as a foundation for advancing IoT network security, bridging the gap between academic research and industrial applications.

This work contributes to the field by providing a robust methodology for malicious traffic detection in IoT environments. It highlights the significance of preprocessing steps, feature importance analysis, and the integration of machine learning models tailored for imbalanced datasets. The findings not only validate the efficacy of ensemble models in IoT security but also provide a foundation for further exploration, such as incorporating real-time detection and hybrid approaches that combine machine learning with deep learning methods.

By addressing the critical challenge of class imbalance and demonstrating the effectiveness of advanced machine learning techniques, this study offers valuable insights for both researchers and practitioners working to enhance IoT network security.

References

- [1] AV-TEST Institute, "Malware Statistics," 2025. Available online: <https://www.av-test.org/en/statistics/malware/> (accessed on 17 June 2025). (in English)
- [2] R. Goyal, 30+ Malware Statistics You Need To Know In 2025, Available online: <https://www.getastra.com/blog/security-audit/malware-statistics/> (accessed on 1 February 2025). (in English)
- [3] Nassif, A. B., Talib, M. A., Nasir, Q., & Dakalbab, F. M. (2021). Machine learning for anomaly detection: A systematic review. *Ieee Access*, 9, 78658-78700. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3083060>
- [4] Alshammari, A., & Aldribi, A. (2021). Apply machine learning techniques to detect malicious network traffic in cloud computing. *Journal of Big Data*, 8(1), 90. <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00475-1>
- [5] Quiroz-Vázquez, C., IBM. 2025. Anomaly detection in machine learning: Finding outliers for optimization of business functions. Available online: <https://www.ibm.com/think/topics/machine-learning-for-anomaly-detection>. (accessed on 17 June 2025). (in English)
- [6] Rana, S. (2019). Anomaly Detection in Network Traffic using Machine Learning and Deep Learning Techniques. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 10(2), 1063-1067. <https://doi.org/10.17762/turcomat.v10i2.13626>

- [7] Almutairi, Y. S., Alhazmi, B., & Munshi, A. A. (2022). Network intrusion detection using machine learning techniques. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 16(3), 193-206. <https://doi.org/10.12913/22998624/149934>.
- [8] Hussain, F., Abbas, S. G., Shah, G. A., Pires, I. M., Fayyaz, U. U., Shahzad, F., ... & Zdravevski, E. (2021). A framework for malicious traffic detection in IoT healthcare environment. *Sensors*, 21(9), 3025. <https://doi.org/10.3390/s21093025>
- [9] Iglesias, F., & Zseby, T. (2015). Analysis of network traffic features for anomaly detection. *Machine Learning*, 101, 59-84. <https://doi.org/10.1007/s10994-014-5473-9>.
- [10] Disha, R. A., & Waheed, S. (2022). Performance analysis of machine learning models for intrusion detection system using Gini Impurity-based Weighted Random Forest (GIWRF) feature selection technique. *Cybersecurity*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s42400-021-00103-8>
- [11] Fernandes, G., Rodrigues, J. J., Carvalho, L. F., Al-Muhtadi, J. F., & Proença, M. L. (2019). A comprehensive survey on network anomaly detection. *Telecommunication Systems*, 70, 447-489. <https://doi.org/10.1007/s11235-018-0475-8>
- [12] Wang, Z., Fok, K. W., & Thing, V. L. (2022). Machine learning for encrypted malicious traffic detection: Approaches, datasets and comparative study. *Computers & Security*, 113, 102542. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2021.102542>
- [13] Radford, B. J., Apolonio, L. M., Trias, A. J., & Simpson, J. A. (2018). Network traffic anomaly detection using recurrent neural networks. Available online: <https://arxiv.org/abs/1803.10769> (accessed on 5 July 2025). (in English)
- [14] Fotiadou, K., Velivassaki, T. H., Voulkidis, A., Skias, D., Tsekeridou, S., & Zahariadis, T. (2021). Network traffic anomaly detection via deep learning. *Information*, 12(5), 215. <https://doi.org/10.3390/info12050215>
- [15] Balyan, A. K., Ahuja, S., Lilhore, U. K., Sharma, S. K., Manoharan, P., Algarni, A. D., ... & Raahemifar, K. (2022). A hybrid intrusion detection model using ega-pso and improved random forest method. *Sensors*, 22(16), 5986. <https://doi.org/10.3390/s22165986>.
- [16] Fu, C., Li, Q., Shen, M., & Xu, K. (2021, November). Realtime robust malicious traffic detection via frequency domain analysis. In *Proceedings of the 2021 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security* (pp. 3431-3446). (in English) <https://doi.org/10.1145/3460120.3484585>.
- [17] Koumar, J., Hynek, K., Pešek, J., & Čejka, T. (2024). NetTiSA: Extended IP flow with time-series features for universal bandwidth-constrained high-speed network traffic classification. *Computer Networks*, 240, 110147. (in English) <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2023.110147>.
- [18] Alduailij, M., Khan, Q. W., Tahir, M., Sardaraz, M., Alduailij, M., & Malik, F. (2022). Machine-learning-based DDoS attack detection using mutual information and random forest feature importance method. *Symmetry*, 14(6), 1095. (in English) <https://doi.org/10.3390/sym14061095>.
- [19] Subbiah, S., Anbananthen, K. S. M., Thangaraj, S., Kannan, S., & Chelliah, D. (2022). Intrusion detection technique in wireless sensor network using grid search random forest with Boruta feature selection algorithm. *Journal of Communications and Networks*, 24(2), 264-273. <https://doi.org/10.23919/JCN.2022.000002>
- [20] Al-amri, R., Murugesan, R. K., Man, M., Abdulateef, A. F., Al-Sharaf, M. A., & Alkahtani, A. A. (2021). A review of machine learning and deep learning techniques for anomaly detection in IoT data. *Applied Sciences*, 11(12), 5320. <https://doi.org/10.3390/app11125320>
- [21] Stratosphere Laboratory. A labeled dataset with malicious and benign IoT network traffic. Available online: <https://www.stratosphereips.org/datasets-iot23>. (accessed on 20 December 2024). (in English)

Г.Б. Елубай^{1*} , Б.С. Ахметов¹ , В.А. Лахно² 

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Ұлттық биоресурстар және табиғатты пайдалану университеті, Киев қ., Украина

*e-mail: g.elubaeva@abaiuniversity.edu.kz

АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ТАЛАПТАРЫНА СӘЙКЕС ЖЕКЕ УНИВЕРСИТЕТТІК VDI БҰЛТЫНЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

Аңдатпа

Мақалада виртуалды жұмыс орындарын (VDI) қолдана отырып, жеке университеттің бұлтты есептеу түйіндерінің оңтайлы санын бағалаудың кеңейтілген математикалық моделі және университеттердің бұлтқа бағытталған оқу ортасының (ББОО) ақпараттық қауіпсіздік талаптары ұсынылған. Бұрынғы белгілі тәсілдерден айырмашылығы, әзірленген модель ресурстық жүктемені (CPU, RAM) ғана емес, сонымен қатар виртуалды машиналар мен серверлердің қауіпсіздік деңгейіне қойылатын талаптарды да ескереді. Ұсынылған модельде ББОО қауіпсіздігінің сандық параметрлері енгізілген және виртуалды машинаны орналастыру міндеті ресурстарды пайдалану тиімділігі мен ББОО қауіпсіздік талаптарын сақтау арасындағы тепе-теңдікті сақтайтын көп өлшемді оңтайландыруға дейін азаяды. Ұсынылған тәсілдің практикалық маңыздылығын растайтын университеттің АТ-инфрақұрылымының типтік параметрлерімен бұлттың жұмысын имитациялық модельдеу жүргізілді. Модель ҚР университеттерінің білім беру ортасында қорғалған бұлтты платформаларды жобалау үшін қолдануға болады.

Түйін сөздер: жеке бұлт, VDI, виртуализация, университеттің АТ инфрақұрылымы, ақпараттық қауіпсіздік, математикалық модель.

Г.Б. Елубай¹, Б.С. Ахметов¹, В.А. Лахно²

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г.Алматы, Казахстан

²Национальный университет биоресурсов и природопользования г.Киев, Украина

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ VDI-ОБЛАКА ЧАСТНОГО УНИВЕРСИТЕТА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Аннотация

В статье предложена расширенная математическая модель оценки оптимального количества вычислительных узлов частного университетского облака с использованием виртуальных рабочих мест (VDI), и с учетом требований информационной безопасности облако-ориентированной учебной среды (ООУС) университетов. В отличие от ранее известных подходов, разработанная модель учитывает не только ресурсную нагрузку (CPU, RAM), но и требования к уровню защищенности виртуальных машин и серверов. В предлагаемой модели введены количественные параметры защищенности ООУС, а задача размещения ВМ сведена к многокритериальной оптимизации, балансирующей между эффективностью использования ресурсов и соблюдением требований безопасности ООУС. Проведена имитационная симуляция работы облака с типичными параметрами университетской ИТ-инфраструктуры, подтверждающая практическую значимость предложенного подхода. Модель целесообразна для проектирования защищенных облачных платформ в образовательной среде университетов РК.

Ключевые слова: частное облако, VDI, виртуализация, университетская ИТ-инфраструктура, информационная безопасность, математическая модель.

G.B. Yelubay, B.S. Akhmetov, V.A. Lakhno

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

MATHEMATICAL MODEL OF A PRIVATE UNIVERSITY'S VDI CLOUD IN COMPLIANCE WITH INFORMATION SECURITY REQUIREMENTS

Abstract

The article offers an extended mathematical model for estimating the optimal number of computing nodes in a private university cloud using virtual workstations (VDI), and taking into account the information security requirements of a cloud-based learning environment (OSS) of universities. Unlike previously known approaches, the developed model takes into account not only the resource load (CPU, RAM), but also the requirements for the security level of virtual machines and servers. In the proposed model, quantitative parameters of the security of the OSS are introduced, and the task of VM deployment is reduced to a multi-criteria optimization balancing between resource efficiency and compliance with the security requirements of the OSS. A simulation simulation of the cloud operation with typical parameters of the university IT infrastructure has been carried out, confirming the practical significance of the proposed approach. The model is suitable for designing secure cloud platforms in the educational environment of universities of the Republic of Kazakhstan.

Keywords: private cloud, VDI, virtualization, university IT infrastructure, information security, mathematical model.

Кіріспе

Осы мақалада Қазақстан Республикасының университеттері мен білім беру мекемелеріне арналған бұлтқа бағытталған оқу ортасында (ББОО) виртуалды жұмыс орындарын (VDI) орналастыруға арналған жекеменшік бұлт инфрақұрылымын оңтайлы жобалаудың жаңа тәсілі ұсынылады. Ерекшелігі – есептеу ресурстарын жоспарлау кезінде тек техникалық сипаттамалар емес, сонымен қатар ақпараттық қауіпсіздік талаптары, атап айтқанда, серверлердің сенім деңгейі, қолжетімділік пен оқшаулау саясаты, сондай-ақ ішкі және сыртқы қауіптерге төзімділік секілді аспектілер ескеріледі. Ұсынылған тәсіл ББОО-ға тән жүктеменің маусымдық және динамикалық сипатын ескере отырып, виртуализацияланған инфрақұрылымды икемді масштабтауды қамтамасыз етуге және қауіпсіздікті сақтай отырып ресурстарды тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

Университеттер мен басқа да білім беру мекемелерінде (мектептер, колледждер және т.б.) жекеменшік бұлттар негізінде виртуалды жұмыс орындары (VDI) инфрақұрылымын енгізу ортақ есептеу ресурстарын тиімді пайдалануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, Қазақстан (ҚР) университеттері үшін бұл тәсіл пайдаланушылардың ағымдағы қажеттіліктері мен бұлтты университеттік инфрақұрылымға жүктеме деңгейіне байланысты икемді масштабтауды жүзеге асыруға жол ашады. Мақалада ұсынылған тәсіл ҚР университеттері мен ғылыми-білім беру мекемелеріне, ақпараттық технологиялық ортасы сессия кезеңдерінде жүктеменің қарқынды өзгеруімен және бұлтты инфрақұрылымның ақпараттық қауіпсіздігіне қойылатын жоғары талаптармен сипатталатын ұйымдарға, өзекті болып табылады. Университеттің бұлтты инфрақұрылымына (немесе [1, 2] деректеріне сәйкес – бұлтқа бағытталған оқу ортасына – ББОО) түсетін жүктеменің өзгермелілігі мен пайдаланушылар талаптарының әртүрлілігін ескере отырып, бұлтты платформаның тұрақты және қауіпсіз жұмысын қамтамасыз ету үшін қажет есептеу түйіндерінің (серверлердің) санын бағалау мәселесі өзекті болып отыр. Бұған дейін ұсынылған VDI-бұлттарындағы кластер түйіндерінің санын бағалауға арналған математикалық модельдер [3, 4] әдетте, ресурстық жүктемені талдауға [5–7] негізделіп, виртуалды машиналардың ресурстарды тұтыну параметрлері берілген жағдайда физикалық серверлер санын азайту тиімділіктің негізгі өлшемі деп қарастырады. Алайда біз бұл тәсілдер бұлтқа бағытталған оқу ортасының (ББОО) принципті аспектісі – ақпараттық қауіпсіздікті (АҚ), оның ішінде физикалық түйіндерге деген сенім деңгейін, оқшаулау талаптарын, қолжетімділік саясатын және ішкі/сыртқы қатерлерге төзімділікті ескерусіз қалдырады деп санаймыз [8–11].

Зерттеу әдіснамасы

Университеттің бұлтқа бағытталған оқу ортасы (ББОО) үшін келесі шарттарды қамтамасыз ететін есептеу түйіндерінің (М) ең аз қажетті санын анықтау:

- виртуалды машиналарды (ВМ) ресурстарды (CPU, RAM және т.б.) ескере отырып дұрыс орналастыру;
- ақпараттық қауіпсіздік талаптарын (оқшаулау, түйіндерге деген сенім) қанағаттандыру;
- динамикалық жүктемеге бейімделу және жекеменшік бұлттың (ҚР университеті мысалында) масштабталуы.

Зерттеу нәтижелері

Келесі белгілерді енгізейік. Сәйкесінше университеттің ББОО серверлері үшін.

M – ББОО университетінің қол жетімді физикалық серверлерінің (түйіндерінің) жалпы саны;

R – ресурстар түрлерінің жалпы саны (мысалы, CPU, RAM, және т.б.);

C_{jk} – j серверіндегі k ресурсының сыйымдылығы, $j \in \{1, \dots, M\}, k \in \{1, \dots, R\}$;

$S_j \in [0,1]$ – j серверінің қауіпсіздік (сенім) деңгейі. Яғни, S_j неғұрлым жоғары болса, ББОО соғұрлым қауіпсіз болады.

Және ВМ параметрлеріне де ұқсас түрде.

N – Университеттің ББОО-сында (бұлтқа бағытталған оқу ортасында) орналастырылуы қажет виртуалды машиналар (ВМ) саны;

$active(t) \subseteq \{1, \dots, N\}$ – t уақыт мезетіндегі белсенді виртуалдық машиналар жиынтығы;

r_{jk} – t уақыт мезетінде ВМ үшін ең аз қажетті k типті ресурстар;

$a_j(t)$ – t уақыт мезетінде виртуалды машинаның (ВМ) нақты CPU тұтынуы;

$H_i \in [0,1]$ – t уақыт мезетінде виртуалды машина (ВМ) үшін талап етілетін қауіпсіздік деңгейі.

Сонымен қатар, біз осындай айнымалыларды қолданамыз:

$x_{ij}(t) \in \{0,1\}$ – егер ВМ i уақыттың t мезетінде j серверіне орналастырылса – мәні 1, орналастырылмаса – 0-ге тең болатын бинарлық айнымалы;

$y_j(t) \in \{0,1\}$ – t уақыт мезетінде сервер j -дің пайдаланылып-пайдаланылмайтыны, яғни бұл әдетте бинарлық айнымалымен белгіленеді:

1 - егер сервер сол уақытта нақты ВМ-дерді орналастырып, жұмыс істеп тұрса;

0 - егер сервер бос немесе өшірулі күйде болса;

$\alpha \in [0,1]$ – қауіпсіздік резервтеу деңгейі (ББОО университетінің қауіпсіздігін бағалау кезіндегі агрессивтілік коэффициенті);

$\lambda > 0$ – ББОО қауіпсіздігінің сәйкес келмеуі үшін айыппұл коэффициенті.

Біз келесі шектеулерді қолданамыз.

Әрбір ВМ бір серверде орналастырылған, яғни.

$$\sum_{j=1}^M x_{ij}(t) = 1, \forall i \in active(t).$$

Әрбір ББОО серверіндегі ресурстар бойынша шектеу.

Әр ресурс үшін k

$$\sum_{i \in active(t)} x_{ij}(t) \cdot r_{jk} \leq C_{jk}, \forall j, \forall k.$$

Онда CPU үшін,

$$\sum_{i \in active(t)} x_{ij}(t) \cdot a_j(t) \leq C_j^{CPU}, \forall j.$$

Онда [3, 7] еңбектерінен айырмашылығы ретінде университеттің ББОО-сына (бұлтқа бағытталған оқу ортасына) қатысты қауіпсіздік шектеуін енгіземіз (қатаң немесе жұмсақ тәсіл).

Қатаң тәсіл

$$x_{ij}(t) = 1 \Rightarrow S_j \geq R_i(t).$$

Айыппұл салумен жұмсақ тәсіл

$$x_{ij}(t) \cdot \max(0, R_i(t) - S_j) \geq 0.$$

Сонымен қатар, университеттің ББОО-сында түйіндердің ең төменгі рұқсат етілетін қорғалу деңгейін белгілеуге болады.:

$$S_j \geq S_{\min}.$$

Онда мақсатты функцияның екі нұсқасын қарастырамыз.

1-нұсқа – екі критерийлі есеп (университеттің ББОО-сындағы ақпараттық қауіпсіздік пен қаржы үнемділігін қатар ескеру).

$$\min\{\sum_{j=1}^M y_i(t) + \lambda \cdot \sum_{i,j} x_{ij}(t) \cdot \max(0, R_i(t) - S_j)\},$$

мұндағы бірінші қосылғыш – университеттің ББОО-сында пайдаланылған серверлер саны (ресурстық тиімділік), ал екінші қосылғыш – қауіпсіздік талаптарының бұзылуы үшін салынатын айыппұлдар сомасы.

2 нұсқа-өлшенген критерийлік түрлендіру

$$\min\left\{\beta \cdot \sum_j y_i(t) + (1 - \beta) \cdot \sum_{i,j} x_{ij}(t) \cdot \max(0, R_i(t) - S_j)\right\}$$

мұндағы β -қауіпсіздікпен салыстырғанда тиімділіктің маңыздылық дәрежесі.

Содан кейін біз $M(t)$ төменгі бағасын есептейміз.

[3, 7] еңбектеріндегі сияқты, университеттің ББОО-сындағы ақпараттық қауіпсіздік пен оның масштабталуын қамтамасыз ететін жаңа ішкі жиындарды ескере отырып, Мартелло-Тосс бағалау әдісін кеңейтілген түрде қолданамыз:

$$\begin{aligned}\alpha_1(t) &= \{i \in \text{active}(t) | \alpha_i(t) > C_{CPU} - \alpha\} - \text{«үлкен» ВМ}; \\ \alpha_2(t) &= \{i | C_{CPU} - \alpha \geq \alpha_i(t) > 0,5 \cdot C_{CPU}\}; \\ \alpha_3(t) &= \{i | 0,5 \cdot C_{CPU} \geq \alpha_i(t) > \alpha\}.\end{aligned}$$

Содан кейін төменгі шекараны бағалау үшін біз осындай тәуелділікті қолданамыз:

$$M_1(\alpha, t) = |\alpha_1(t) + \alpha_2(t)| + \max\left(0, \frac{\sum_{i \in \alpha_3(t)} \alpha_i(t) - (C_k \cdot |\alpha_2(t)| - \sum_{i \in \alpha_2(t)} \alpha_i(t))}{C_k}\right).$$

немесе

$$M_2(\alpha, t) = |\alpha_1(t) + \alpha_2(t)| + \max\left(0, \alpha_3(t) - \sum_{i \in \alpha_2(t)} \left\lfloor \frac{C_k - \alpha_i(t)}{\alpha} \right\rfloor\right).$$

Онда соңғы бағалау

$$M(t) = \max_{\alpha \in [0, 0.5]} (M_1(\alpha, t), M_2(\alpha, t)).$$

Сондай-ақ, университеттің ББОО динамикалық масштабтауын ескереміз. Тиісінше, ең жоғары жүктемелер кезінде бағалау мүмкіндігі келесідей жазылады:

$$t^* = \arg \max_t \left(\sum_{i,j} x_{ij}(t) \cdot \alpha_i(t) \right),$$

$$M_{peak} = M(t^*).$$

Дискуссия

Бұл жұмыста ЖРН AP19678846 «Цифрлық трансформация жағдайында жоғары оқу орындарының инфрақұрылымын дамыту негізінде оқу процесін ұйымдастырудың гибриді және қашықтық нысандарының тиімділігін арттыру» гранты аясында жүргізілген зерттеу шеңберінде университеттік ортада виртуалды жұмыс орындары инфрақұрылымын жүзеге асыруға бағытталған жекеменшік бұлтты виртуализация кластері үшін есептеу түйіндерінің оңтайлы санын бағалаудың математикалық моделі әзірленіп, формализацияланды. Бар [3, 7] еңбектерде келтірілген бұрынғы тәсілдерден ерекшелігі – ұсынылған модельдің жаңалығы мынада: алғаш рет университеттің бұлтқа бағытталған оқу ортасындағы (ББОО) ақпараттық қауіпсіздік параметрлері енгізілді. Сонымен қатар, виртуалды машиналарды орналастыруды модельдеу барысында есептеу түйіндерінің қорғалу деңгейі мен виртуалды машиналар тарапынан қойылатын қауіпсіздік талаптарының сандық сипаттамалары енгізілді. Бұл өз кезегінде нақты университеттің ББОО инфрақұрылымын жобалау кезінде қауіпсіздіктің әкімшілік және техникалық аспектілерін ескеруге мүмкіндік береді. Сондай-ақ жүктеме мен қорғалу деңгейінің уақыт бойынша динамикасы ескерілді. Яғни мақалада баяндалған модель ББОО-да виртуалды машиналар тарапынан ресурстарға қойылатын сұраныстың уақыт өте өзгеріп отыратын құрылымын, сондай-ақ олардың ақпараттық қауіпсіздікке қойылатын талаптарының динамикалық өзгеру мүмкіндігін есепке алады. Кластер түйіндерінің қажетті санына арналған төменгі және жоғарғы шектер кеңейтіліп, Мартелло - Тосс әдісін бейімдеуге негізделген жаңа бағалау формулалары ұсынылды. Бұл формулалар виртуалды машиналардың ресурстық қажеттіліктері мен физикалық түйіндердің қорғалу деңгейіне қойылатын шектеулерді бір мезгілде ескеруге мүмкіндік береді. Сондай-ақ университеттің ББОО-сындағы ВМ-ді орналастырудың көпкритерийлі оңтайландыру есебі одан әрі дамытылып, сапа функциясы ұсынылды. Ол бір мезетте пайдаланылатын физикалық түйіндер санын азайту критерийін және қорғалу деңгейінің сәйкес келмеуі үшін айыппұл критерийін қамтиды, бұл өз кезегінде ББОО инфрақұрылымының тиімділігі мен қауіпсіздігі арасында икемді тепе-теңдік орнатуға мүмкіндік береді.

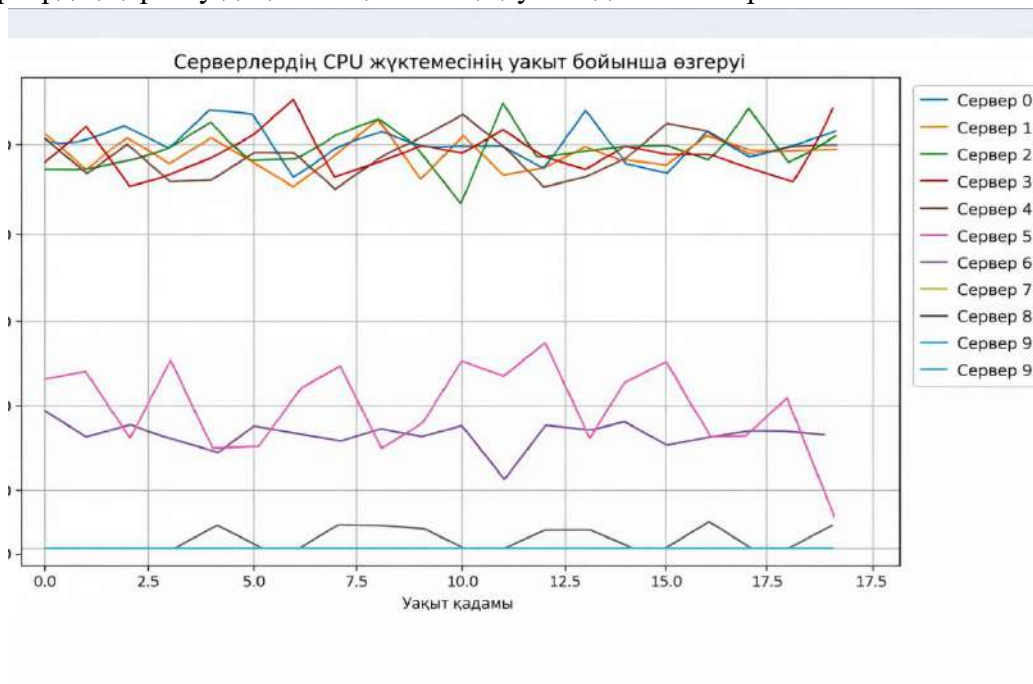
Жалпы алғанда, ұсынылған модель ақпараттық қауіпсіздікке (АҚ) жоғары талаптар қойылатын жағдайларда жекеменшік университеттік бұлтты масштабтау міндеттерін шешуде неғұрлым дәл әрі өзекті нәтижелер алуға мүмкіндік береді және ҚР университеттерінің қорғалған бұлттық ортасындағы ресурстарды басқарудың зияткерлік жүйелерін синтездеу үшін базалық негіз ретінде қолайлы болып табылады.

Әзірленген математикалық модельді апробациялау үшін ресурстық және ақпараттық қауіпсіздік (АҚ) талаптарын ескере отырып, университеттің жекеменшік бұлтында виртуалды машиналарды (ВМ) орналастыру бойынша имитациялық модельдеу жүргізілді. Модель Python ортасында жүзеге асырылып, серверлер саны шектеулі жағдайдағы ББОО (бұлтқа бағытталған оқу ортасы) шеңберінде жүктемені тарату мен ақпараттық қауіпсіздік талаптарының орындалуын талдауға мүмкіндік берді. Нәтижелер 1-суретте көрсетілген.

Симуляция барысында әрқайсысы 100 шартты бірлік көлеміндегі есептеу қуатына және нақты қорғалу деңгейіне ие 10 физикалық серверден тұратын бұлттық инфрақұрылым қарастырылды $S_j \in [0.6, 1.0]$. Виртуалды машиналардың саны – 50 деп алынды ($N = 50$), олардың әрқайсысы CPU ресурстарының базалық тұтынуы бойынша әртүрлі (5-тен 20 шартты бірлікке дейінгі диапазонда) және орналастыру платформасына қойылатын жеке қауіпсіздік деңгейі талаптарына ие. Уақыт бойынша $T = 20$ дискретті қадам қабылданды (ООУС серверлерінің жүктеме динамикасын эмуляциялау үшін).

Әрбір уақыттық кадамда барлық виртуалды машиналарды (ВМ) серверлерге орналастыру әрекеті орындалады. Орналастырудың сәтті болуы келесі шарттардың бір уақытта орындалуына байланысты:

- серверде қолжетімді CPU ресурстарының жеткіліктілігі;
- сервердің қорғалу деңгейінің ВМ-нің қауіпсіздік талаптарына сәйкестігі. $BM S_j \geq R_i$.



Сурет 1. Уақыт бойынша ББОО университетінің серверлерін жүктеуді модельдеуге арналған есептеу экспериментінің графигі

Симуляция нәтижелері 1-суретте әрбір сервердің уақыт бойынша CPU жүктемесі түрінде график түрінде көрсетілген. Талдау орташа белсенділік кезеңдерінде жүктеменің серверлер арасында біркелкі бөлінетінін көрсетті. Ал жүктеменің мерзімді шарықтау сәттері университеттің бұлтқа бағытталған оқу ортасы (ББОО) инфрақұрылымының статикалық конфигурациясы жағдайында барлық талаптарды қанағаттандырудың күрделілігін айғақтайды. Серверлердің жүктелу дәрежесіндегі айқын айырмашылықтар олардың қорғалу деңгейі бойынша жүргізілген сүзгілеумен түсіндіріледі.

Симуляция барысында ресурстар тапшылығы мен серверлерге деген сенім деңгейінің жеткіліксіздігі жағдайында жүйенің бірқатар ВМ-ді орналастыра алмағаны тіркелді. Атап айтқанда, шамамен 40 жағдайда ВМ-нің орналастырылмауы орын алды, бұл көбінесе қауіпсіздікке жоғары талап қоятын ВМ-дердің бүкіл симуляция бойы орналастырыла алмаған уақыттық кадамдарында байқалды.

Жалпы алғанда, жүргізілген симуляция жекеменшік университеттік бұлт архитектурасын жобалау кезінде ақпараттық қауіпсіздік талаптарын ескерудің қажеттілігін дәлелдейді. Мақалада ұсынылған модель көрсеткендей, қорғалу деңгейіне қойылатын талаптарды ескермеу есептеу түйіндерінің қажетті санын бағалау кезінде ресурстардың жартылай қолжетімсіз болу қаупіне әкелуі мүмкін, тіпті CPU ресурстары формалды түрде жеткілікті болған жағдайда да.

Қорытынды

ЖРН AP19678846 «Цифрлық трансформация жағдайында жоғары оқу орындарының инфрақұрылымын дамыту негізінде оқу процесін ұйымдастырудың гибриді және қашықтық нысандарының тиімділігін арттыру» аясында университеттің бұлтқа бағытталған оқу

ортасының (ББОО) техникалық шектеулері мен ақпараттық қауіпсіздік (АҚ) талаптарын ескере отырып, жекеменшік университеттік виртуализация бұлттындағы есептеу түйіндерінің оңтайлы санын бағалауға арналған математикалық модель әзірленді.

Қолданыстағы тәсілдерден айырмашылығы, ұсынылған модель ББОО серверлерінің сенімділік деңгейін және виртуалды машиналардың қауіпсіздік талаптарын ескеруге мүмкіндік береді. Бұл ақпараттық қауіпсіздік (АҚ) тәуекелдерін формализациялап, оларды мақсатты функция құрамына қосуға жол ашады. Соның нәтижесінде ресурстық тиімділік пен университеттік ББОО қауіпсіздігі арасында тепе-теңдік орнатуға бағытталған ВМ-дерді орналастырудың көпкритерийлі оңтайландыру есебін құру мүмкін болды.

Python бағдарламалау ортасында жүргізілген симуляция АҚ факторларын елемеу кейбір ВМ-дерді орналастыра алмауға әкелетінін көрсетті, тіпті кластердің жалпы есептеу қуаты жеткілікті болып көрінген жағдайда да. Бұл нәтижелер университеттің бұлттық инфрақұрылымын жоспарлау және масштабтау модельдеріне ақпараттық қауіпсіздік саясатын кіріктірудің өзектілігін растайды.

Біз әзірленген модель ақпараттық қауіпсіздік талаптарын ескере отырып, жүктемені бейімделген түрде теңгеруге бағытталған білім беру саласындағы интеллектуалды бұлтты басқару жүйелерін жобалауға негіз бола алады деп есептейміз.

Алғыс.

Бұл зерттеу мақаласы Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландыратын «Цифрлық трансформация жағдайында жоғары оқу орындарының инфрақұрылымын дамыту негізінде оқу процесін ұйымдастырудың гибриді және қашықтық нысандарының тиімділігін арттыру» (ИРН АР19678846) жобасы аясында орындалды.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

[1] Литвинова, С. Г. (2014). Понятия и основные характеристики облако ориентированной учебной среды школы. Информационные технологии и средства обучения, 40(2), 26-41.

[2] Шевченко, В. Г., & Лавріненко, В. М. (2017). Формування професійної компетентності у майбутніх фахівців екологів під час лабораторних занять з екологічних біотехнологій. Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти, 4(11).

[3] Аверьянихин, А.Е., Котельницкий, А. В., & Муравьев, К. А. (2016). Методика расчета оптимального числа узлов кластера виртуализации частного облака виртуальных рабочих столов по критерию эффективности. Международный научно-исследовательский журнал, (5-3 (47)), 6-13. DOI: <https://doi.org/10.18454/IJR.2016.47.187>

[4] Ворожцов А.С., Тутова Н.В., Тутов А.В. Методика оптимального распределения виртуальных серверов в центрах обработки данных // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №7. – С. 5-10.

[5] Tutov A.V. Models and methods of resources allocation of infocommunication system in cloud data centers. H&ES Research. 2018. Vol. 10. No. 6. Pp. 100–00. doi: <https://doi.org/10.24411/2409-5419-2018-10192>

[6] Воробьев, А. А., & Данг, С. Б. (2016). Формализация задач оптимизации размещения виртуальных машин и распределения сетевых ресурсов в облачной вычислительной системе. Системы управления и информационные технологии, (3), 28-32.

[7] Bichler M., Speitkamp B. A Mathematical Programming Approach for Server Consolidation Problems in VirtualizedData Centers - Ieee transactions on services computing. 2010 VOL.3 p.4. DOI Bookmark: 10.1109/TSC.2010.25

[8] Ахметов, Б., & Лахно, В. (2022). Защита информации и кибербезопасность цифровой образовательной среды университета. Вестник КазАТК, 120(1), 134-141. <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2022-120-1>

[9] Alqahtani, M. A. (2022). Factors affecting cybersecurity awareness among university students. Applied Sciences, 12(5), 2589. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12052589>

[10] Ulven, J. B., & Wangen, G. (2021). A systematic review of cybersecurity risks in higher education. *Future Internet*, 13(2), 39. DOI: <https://doi.org/10.3390/fi13020039>

[11] Haque, M. A., Ahmad, S., John, A., Mishra, K., Mishra, B. K., Kumar, K., & Nazeer, J. (2023). Cybersecurity in universities: an evaluation model. *SN Computer Science*, 4(5), 569. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42979-023-01984-x>

References

[1] Litvinova, S. G. (2014). Ponyatiya i osnovnye harakteristiki oblako orientirovannoj uchebnoj sredy shkoly [Concepts and main characteristics of a cloud-based learning environment for schools]. *Informacionnye tekhnologii i sredstva obucheniya*, 40(2), 26-41. (In Russian)

[2] Shevchenko, V. G., & Lavrinenko, V. M. (2017). Formuvannya profesijnoi kompetentnosti u majbutnih fahivciv ekologiv pid chas laboratornih zanyat' z ekologichnih biotekhnologij [Formation of professional competence among future environmental specialists during laboratory classes on environmental Biotechnologies]. *Naukovi zapiski. Seriya: Problemi metodiki fiziko-matematichnoi i tekhnologichnoi osviti*, 4(11). (In Ukraine)

[3] Aver'yanihin, A. E., Kotel'nickij, A. V., & Murav'ev, K. A. (2016). Metodika rascheta optimal'nogo chisla uzlov klastera virtualizacii chastnogo oblaka virtual'nyh rabochih stolov po kriteriyu effektivnosti [Methodology for calculating the optimal number of nodes in a private cloud virtualization cluster of virtual desktops based on the efficiency criterion]. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*, (5-3 (47)), 6-13. DOI: <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.47.187> (In Russian)

[4] Vorozhnev A.S., Tutova N.V., Tutov A.V. (2015) Metodika optimal'nogo raspredeleniya virtual'nyh serverov v centrakh obrabotki dannyh [The methodology of optimal distribution of virtual servers in data centers]. *T-Comm: Telekommunikacii i transport*. Tom 9. №7. 5-10. (In Russian)

[5] Tutov A.V. Models and methods of resources allocation of infocommunication system in cloud data centers. *H&ES Research*. 2018. Vol. 10. No. 6. Pp. 100–00. doi: <https://doi.org/10.24411/2409-5419-2018-10192>

[6] Vorob'ev, A. A., & Dang, S. B. (2016). Formalizaciya zadach optimizacii razmeshcheniya virtual'nyh mashin i raspredeleniya setevyh resursov v oblachnoj vychislitel'noj sisteme [Formalization of optimization tasks for virtual machine allocation and network resource allocation in a cloud computing system]. *Sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii*, (3), 28-32. (In Russian)

[7] Bichler M., Speitkamp B. A Mathematical Programming Approach for Server Consolidation Problems in VirtualizedData Centers - *Ieee transactions on services computing*. 2010 VOL.3 p.4. DOI Bookmark: 10.1109/TSC.2010.25

[8] Ahmetov, B., & Lahno, V. (2022). Zashchita informacii i kiberbezopasnost' cifrovoj obrazovatel'noj sredy universiteta [Information protection and cybersecurity of the university's digital educational environment]. *Vestnik KazATK*, 120(1), 134-141. <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2022-120-1> (In Russian)

[9] Alqahtani, M. A. (2022). Factors affecting cybersecurity awareness among university students. *Applied Sciences*, 12(5), 2589. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12052589>

[10] Ulven, J. B., & Wangen, G. (2021). A systematic review of cybersecurity risks in higher education. *Future Internet*, 13(2), 39. DOI: <https://doi.org/10.3390/fi13020039>

[11] Haque, M. A., Ahmad, S., John, A., Mishra, K., Mishra, B. K., Kumar, K., & Nazeer, J. (2023). Cybersecurity in universities: an evaluation model. *SN Computer Science*, 4(5), 569. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42979-023-01984-x>

N. S. Yesmukhamedov^{id}, S.Z. Sapakova^{1*}^{id}, B. K. Sinchev¹^{id}, L. Tukenova^{2,3}^{id}

¹ International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

² Al-Farabi Kazakh National university, Almaty, Kazakhstan

³ Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: s.sapakova@iitu.edu.kz

THE APPLICATION OF METAHEURISTIC METHODS FOR OPTIMIZATION OF DISTRIBUTED IT SYSTEMS

Abstract

This paper examines task distribution optimization methods in IT systems using metaheuristic algorithms such as Genetic Algorithm (GA), Particle Swarm Optimization (PSO), and Ant Colony Optimization (ACO). The study explores their applicability to solve complex problems in modern IT environments, where traditional methods fail to efficiently process large data volumes or provide the required accuracy. The research focuses on IT systems that need optimal allocation of computational and human resources to enhance performance and reduce costs. Mathematical models for dynamic optimization are developed, considering parameters such as cost, time, and quality of task execution. A comparative analysis of the three methods (GA, PSO, ACO) showed that each has its strengths and weaknesses in the context of optimization tasks: GA is most effective in terms of time but with higher costs, while PSO and ACO deliver better results in quality with lower time and memory costs. The practical value of the research lies in the potential application of the proposed methods for automating resource management processes in IT, significantly improving operational efficiency and reducing costs. The scientific value of the work is in expanding theoretical approaches to using metaheuristic methods to solve optimization problems in IT services and project management.

Keywords: task distribution optimization, metaheuristic methods, genetic algorithm, particle swarm optimization, ant colony optimization, IT systems, resource allocation, dynamic programming.

Н. С. Есмұхамедов¹, С. З. Сапақова¹, Б. К. Синчев¹, Л. Төкенова^{2,3}

¹ Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы қ., Қазақстан

² Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

³ Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

ТАРАТЫЛҒАН ІТ ЖҮЙЕЛЕРІН ТИІМДІЛЕУ ҮШІН МЕТАЭВРИСТИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРДІ ҚОЛДАНУ

Аңдатпа

Бұл мақалада тапсырмаларды бөлу процесін оңтайландыру үшін генетикалық алгоритм (GA), бөлшектер ройы (PSO) және құмырсқа колониясы (ACO) секілді метаэвристикалық әдістерді қолдану қарастырылады. Зерттеу заманауи ІТ жүйелерінде үлкен көлемдегі деректермен тиімді жұмыс істеуге және қажетті дәлдікті қамтамасыз етуге дәстүрлі тәсілдер жеткіліксіз болатын жағдайларда осы әдістердің қолданбалы мүмкіндіктерін зерттейді. Жұмыс ресурстарды – есептеу қуатын және адами ресурстарды – оңтайлы үлестіру арқылы өнімділікті арттыру мен шығындарды азайту мәселесіне бағытталған. Уақыт, шығын және орындау сапасы сияқты параметрлерді ескере отырып, динамикалық оңтайландыруға арналған математикалық модельдер жасалды. Үш әдістің (GA, PSO, ACO) салыстырмалы талдауы олардың әрқайсысының нақты жағдайларға байланысты күшті және әлсіз жақтарын көрсетті: GA жылдамдық бойынша тиімді, бірақ шығындары жоғары; ал PSO мен ACO сапа тұрғысынан жақсы нәтиже беріп, уақыт пен жад ресурстарын үнемдейді. Зерттеудің практикалық құндылығы – ІТ жүйелерінде ресурстарды басқару процесін автоматтандыру арқылы операциялық тиімділікті арттырып, шығындарды азайтуға мүмкіндік беруінде. Ғылыми құндылығы – метаэвристикалық әдістерді ІТ қызметтері мен жобаларды басқарудағы оңтайландыру мәселелеріне қолданудың теориялық негізін кеңейтуінде.

Түйін сөздер: тапсырмаларды бөлу, метаэвристикалық әдістер, генетикалық алгоритм, бөлшектер роясы, құмырсқа колониясы, ІТ жүйелері, ресурстарды бөлу, динамикалық бағдарламалау.

Н. С. Есмұхамедов¹, С. З. Сапакова¹, Б. К. Синчев¹, Л. Тукенова^{2,3}

¹Международный университет информационных технологий, г. Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

³Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИТ-СИСТЕМ

Аннотация

В статье рассматриваются методы оптимизации распределения задач в ИТ-системах с использованием метаэвристических алгоритмов, таких как генетический алгоритм (GA), алгоритм роя частиц (PSO) и алгоритм колонии муравьёв (ACO). Исследование направлено на анализ применимости этих алгоритмов для решения сложных задач в современных ИТ-средах, где традиционные методы не обеспечивают необходимой точности или скорости обработки больших объёмов данных. Основное внимание уделено системам, требующим эффективного распределения вычислительных и человеческих ресурсов с целью повышения производительности и снижения издержек. Разработаны математические модели динамической оптимизации с учётом таких параметров, как стоимость, время и качество выполнения задач. Сравнительный анализ показал, что каждый из алгоритмов обладает своими преимуществами: GA более эффективен по времени, но требует больших затрат, в то время как PSO и ACO обеспечивают высокое качество при меньших временных и вычислительных издержках. Практическая значимость работы заключается в возможности применения предложенных методов для автоматизации процессов управления ресурсами в ИТ, что способствует росту операционной эффективности и снижению расходов. Научная ценность заключается в расширении теоретических подходов к применению метаэвристических методов в решении задач оптимизации в области ИТ-услуг и управления проектами.

Ключевые слова: оптимизация распределения задач, метаэвристические методы, генетический алгоритм, алгоритм роя частиц, алгоритм колонии муравьёв, ИТ-системы, распределение ресурсов, динамическое программирование.

Introduction

In recent decades, information technologies (IT) have significantly transformed approaches to solving a wide range of problems across various fields, from business to science. Modern IT systems encompass distributed computing environments, cloud infrastructures, big data management systems, and many other complex components that require effective resource management. These systems often involve problems classified as NP-hard, making them difficult to solve using traditional optimization methods such as exact algorithms and linear programming. With the growing complexity and scalability of these systems, there is a need to develop more flexible and efficient methods to solve optimization problems that can account for dynamic changes and handle large volumes of data. One of the key challenges is optimizing resource allocation, load balancing, task scheduling, and query routing in IT systems, all of which directly impact the performance and efficiency of the entire infrastructure. However, traditional approaches based on deterministic methods are unable to effectively cope with the scalability and complexity of these tasks. In such conditions, metaheuristic methods, such as genetic algorithms, particle swarm optimization (PSO), and ant colony optimization (ACO), have become essential tools for solving optimization problems in IT systems. These methods allow for finding approximate solutions that, although not absolutely optimal, can significantly improve system performance in real-world conditions. The relevance of this research is due to the fact that optimization problems in IT systems, including tasks related to dynamic resource allocation and routing, are becoming increasingly complex due to the growing load and scalability of modern infrastructures. Traditional problem-solving methods are unable to cope with the increasing complexity and data volume, making it impossible to effectively solve these tasks in real-time. Metaheuristic approaches, such as genetic algorithms, PSO, and ACO, offer significant advantages in finding approximate solutions, leading to improved performance in conditions of high uncertainty and dynamism. The aim of this study is to explore and implement metaheuristic methods for solving optimization problems in large-scale IT systems. Specifically, the research focuses on

analyzing the application of genetic algorithms, particle swarm optimization, and ant colony optimization to tasks such as load balancing, computational task distribution, and query routing in distributed IT systems. It is expected that the use of these methods will significantly improve system efficiency by optimizing resource allocation, minimizing response time, and enhancing overall performance.

Literature review

This literature review examines various mathematical models and optimization methods applied to technological and IT systems, emphasizing their vital role in enhancing productivity, cost-efficiency, and task allocation under specific conditions. Studies have developed cyclic task distribution models that account for workload and stochastic parameters, with IT system operations modeled as queuing systems to ensure adaptive multi-criteria allocation that balances cost, time, and quality [1]. Research underscores the importance of mathematical models in IT system design and optimization, highlighting tools such as Fuzzy Logic Controllers and Coverage Path Planning algorithms used in robotic applications [2]. Resource allocation methods, based on linear programming and algorithmic algebra, are also explored, with prototypes developed for efficient IT resource distribution [3]. Optimization models for multi-channel service systems, which consider financial, time, and quality objectives, utilize utility functions for effective work package distribution [4]. The challenge of resource allocation in IT management is addressed, with a focus on optimal resource use and human resource modeling through combinatorial optimization techniques [5, 6]. Machine learning algorithms are employed for task classification and distribution, reducing workloads for key personnel in IT teams [7]. Queuing theory and Markov chains contribute to the optimization of information resource distribution across storage nodes, enhancing timeliness and security [8]. Dynamic project management models based on network graphs are developed for complex task planning in IT companies [9]. Functional network tools and linear programming are applied to distribute digital control functions in IT outsourcing, improving decision support systems [10]. Distributed information systems are optimized using integer programming, with a focus on data distribution across nodes [11]. Network Function Virtualization is used to deploy Service Function Chains, optimizing service request processing [12]. Artificial Intelligence tools and Petri nets are applied to model mass service enterprise operations, providing efficient management of information flows [13]. Bi-objective nonlinear integer programming models are proposed for flow shop scheduling, aimed at minimizing delays and workload imbalances [14]. Work management servers are utilized to enhance task allocation and performance assessment [15]. Empirically driven multi-criteria models are developed to improve task distribution in global software projects, addressing workforce capabilities and innovation [16]. Casual econometric models support long-term national industry development, highlighting the need for accurate and adaptable models under high uncertainty [17]. Finally, dynamic multi-criteria optimization models for IT project management are proposed, focusing on human resource distribution and practical implementation challenges [18]. This comprehensive review highlights the diverse applications of mathematical modeling in optimizing IT operations and project management, laying the groundwork for future research and practical advancements in the field.

Research methodology

Efficient work distribution in IT services relies on robust mathematical models that optimize task allocation, resource management, and performance metrics. This section outlines fundamental models applied in IT service optimization.

The assignment problem is a classical combinatorial optimization model used to allocate IT specialists to tasks while minimizing cost or maximizing efficiency. It can be formulated as:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}x_{ij}, \quad (1)$$

subject to:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, x_{ij} \in \{0,1\}. \quad (2)$$

Where c_{ij} represents the cost of assigning a specialist i to task j , and x_{ij} is a binary decision variable indicating whether the assignment occurs. The Hungarian algorithm is commonly used for solving this problem efficiently.

Optimization tasks in large IT systems, especially under conditions of high complexity and scalability, often prove to be NP-hard. NP (Non-deterministic Polynomial time) refers to a class of problems for which the solution can be verified in polynomial time relative to the size of the input data, but finding the solution may require exponential time. Problems belonging to the NP-hard class can be too complex for traditional solution methods, especially as the volume of input data increases. This makes traditional algorithms unsuitable for efficiently searching for solutions to such problems. This implies that finding an optimal solution for such tasks may be computationally infeasible using classical methods, making them extremely difficult to solve as data volumes grow. In such cases, heuristic and metaheuristic methods come to the rescue, significantly accelerating the process of finding approximate solutions applied in real-world conditions. Let's explore three of the most popular metaheuristic methods actively used for optimizing IT systems.

Given the NP-hard nature of large-scale IT optimization problems, heuristic and metaheuristic methods are often employed:

- Genetic Algorithms (GA): Applied for dynamic load balancing in cloud computing.
- Particle Swarm Optimization (PSO): Used for task scheduling in distributed IT environments.
- Ant Colony Optimization (ACO): effective for optimizing service request routing in decentralized IT infrastructures.

Genetic algorithms (GA) are based on the principles of natural selection and genetic evolution, making them a powerful tool for solving problems where it is important to optimize a large number of possible solutions while considering many factors. In the context of IT systems, GA is used for dynamic load balancing, distributing computational resources, and other tasks related to system performance optimization. A genetic algorithm begins by creating an initial population of random solutions. Then, over several generations, a process of selection, crossover, and mutation occurs, allowing for more optimal solutions to be found. Each element of the population is evaluated using a fitness function, which determines how effective each solution is in the current iteration. This process is repeated, improving the quality of the solution over several generations.

Particle Swarm Optimization (PSO) is a metaheuristic method based on observing the behavior of a flock of birds or a school of fish, where each particle represents a possible solution to the problem. The PSO algorithm models the collective behavior of particles, each of which moves through the search space, updating its position based on its own achievements and the achievements of other particles in the swarm. PSO is widely used in tasks such as distributing computational tasks across servers in distributed IT systems. This algorithm is effective in multi-task environments where optimal solutions must be found for several interrelated parameters, such as minimizing execution time or maximizing overall performance. PSO converges quickly to a good solution and is a suitable tool for problems requiring the optimization of multiple variables.

Ant Colony Optimization (ACO) is based on the behavior of real ants searching for the shortest path to a food source, leaving pheromones along the way. During the algorithm's operation, more effective paths receive more pheromones, which encourages further exploration of those paths, while less effective paths lose pheromones and eventually disappear. In IT systems, ACO is used for optimizing request routing in distributed and decentralized infrastructures. This can include optimizing data transmission routes or distributing service requests across servers in multi-server systems. The algorithm allows for finding solutions that minimize response time and system load while effectively balancing the exploration of new solutions with the use of already discovered paths.

Metaheuristic methods such as genetic algorithms, particle swarm optimization, and ant colony optimization provide powerful tools for solving complex optimization problems in IT systems. These methods are particularly useful when traditional algorithms are unable to effectively solve problems due to their high complexity. Each of these methods has its own characteristics and is applied to various types of problems such as load balancing, computational task distribution, and request routing. In the context of NP-hardness, where exact solutions may be computationally infeasible, metaheuristic methods enable significant results by minimizing computation time and improving system efficiency. Each of these models contributes to improving IT service efficiency, reducing operational costs, and enhancing system reliability. The choice of the appropriate model depends on the complexity of the IT environment and the optimization criteria.

Model Formulation

Let us define the problem as follows:

- N – set of tasks $\{1, 2, \dots, N\}$
 - t_{ij} – time required for worker j to complete task i .
 - x_{ij} – binary decision variable:
- M – set of workers $\{1, 2, \dots, M\}$
 - c_{ij} – cost of worker j performing task i .

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if task } i \text{ is assigned to worker } j; \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (3)$$

Constraints

Each task is assigned to exactly one worker:

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} = 1, \forall i \in N. \quad (4)$$

Workers have limited available time T_j :

$$\sum_{i=1}^N t_{ij} x_{ij} \leq T_j, \forall j \in M. \quad (5)$$

The objective is to minimize the total cost:

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M c_{ij} x_{ij}. \quad (6)$$

If a nonzero feasible solution exists for the dual problem, then the primal problem has a bounded optimal solution. We will now consider a more complex IT task distribution problem, where multiple project tasks need to be assigned to IT specialists while minimizing the cost and respecting constraints on workload and specialization.

Task Statement

In large-scale IT systems, optimization problems often arise in scenarios such as load balancing, task scheduling, resource allocation, and routing of requests. These problems tend to be NP-hard, meaning that finding the optimal solution can be computationally infeasible due to their inherent complexity. Traditional algorithms often struggle to find feasible solutions in a reasonable amount of time, especially when dealing with large volumes of data and highly dynamic environments.

Given this context, the challenge is to develop efficient methods for solving optimization problems in IT systems, particularly when faced with the following conditions:

1. **Scalability:** The system's size increases, both in terms of the number of tasks, resources, and users.
2. **Dynamic Nature:** The system experiences frequent changes, such as fluctuating workloads, new resource requirements, and changing network conditions.

3. Complexity: The relationships between various components of the system are complex, and traditional methods fail to provide efficient solutions in the time frame required.

The objective is to explore and implement metaheuristic approaches such as Genetic Algorithms (GA), Particle Swarm Optimization (PSO), and Ant Colony Optimization (ACO) to address these optimization problems. These approaches should efficiently find approximate solutions that balance performance (such as minimizing time, cost, or load) while handling the system's dynamic and complex nature.

Specifically, the following subproblems are of interest:

1. *Load Balancing*: Efficiently distribute tasks or requests across available servers or resources to avoid overload and ensure fair resource utilization.

2. *Task Scheduling*: Optimize the allocation of tasks to resources, ensuring minimal completion time while respecting constraints (e.g., deadlines, capacity).

3. *Routing*: Minimize response time and system load by optimizing the routing of requests, data packets, or service requests in a decentralized or distributed environment.

By applying metaheuristic methods, the aim is to significantly reduce the time complexity of finding near-optimal solutions, making it feasible to address large-scale IT optimization problems within practical time constraints.

Input Parameters and Data

For the implementation and evaluation of optimization algorithms (Genetic Algorithm, Particle Swarm Optimization, and Ant Colony Optimization) applied to the task of work distribution between workers in the IT services field, the following input parameters were used:

Number of Tasks (num_tasks): the task allocation involves distributing 10 individual tasks among workers. Each task corresponds to a specific job that must be assigned to one of the available workers.

Number of Workers (num_workers): the distribution of tasks is performed among 5 workers, with the flexibility for each worker to be assigned multiple tasks if needed.

Cost Matrix (cost_matrix): a randomly generated cost matrix of size 10 x 5 was used to model the cost of task execution. Each entry in the matrix, $cost\_matrix[i][j]$, indicates the cost of assigning task i to worker j . These costs could represent various factors such as execution time, resource consumption, or other relevant metrics in the optimization problem.

Relevant metrics in the optimization problem are summarized in Table 1, which presents the key algorithm parameters used in the Genetic Algorithm (GA) to ensure solution quality and computational efficiency. Table 1 provides an overview of the Genetic Algorithm parameters applied in the optimization process.

Algorithm Parameters

Table 1. Genetic Algorithm (GA)

<i>Parameter</i>	<i>Description</i>	<i>Value</i>
<i>Population Size</i>	<i>The number of individuals in the population.</i>	<i>50</i>
<i>Number of Generations</i>	<i>The number of generations to evolve.</i>	<i>100</i>
<i>Mutation and Crossover</i>	<i>Standard mutation and crossover operators applied.</i>	<i>Default operators</i>

The main control parameters of the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm used in the optimization process are summarized in Table 2. These parameters determine the balance between exploration and exploitation and directly influence convergence behavior.

Table 2. Particle Swarm Optimization (PSO)

<i>Parameter</i>	<i>Description</i>	<i>Value</i>
<i>Number of Particles</i>	<i>The number of particles in the swarm.</i>	<i>30</i>
<i>Number of Generations</i>	<i>The number of iterations (generations) of the algorithm.</i>	<i>100</i>
<i>Inertia Coefficient</i>	<i>The weight of the previous velocity of particles.</i>	<i>0.7</i>
<i>Acceleration Coefficients</i>	<i>The influence of the cognitive and social components.</i>	<i>1.5 for both</i>

The key control parameters of the Ant Colony Optimization (ACO) algorithm employed in the optimization model are presented in Table 3. These parameters regulate pheromone updating, path exploration, and convergence stability.

Table 3. Ant Colony Optimization (ACO)

Parameter	Description	Value
Number of Ants	The number of ants (agents) searching for the solution.	20
Number of Generations	The number of iterations (generations) of the algorithm.	100
Alpha (Pheromone Influence)	The influence of pheromone in the decision-making process.	1
Beta (Cost Influence)	The influence of task cost in the decision-making process.	2
Rho (Pheromone Evaporation Rate)	The rate at which pheromones evaporate.	0.1

Results of the study

Python was chosen for implementing the optimization algorithms due to its simplicity, availability of powerful libraries, and ease of development. The language offers a rich ecosystem of tools such as NumPy for array and matrix operations, SciPy for numerical methods, Pandas for data handling, and Matplotlib for result visualization. Specialized frameworks like DEAP for genetic algorithms, PySwarm for particle swarm optimization, and ACO-Pants for ant colony optimization were used to efficiently implement metaheuristic algorithms. These libraries accelerate development and testing, enabling a focus on solving the task and comparing different methods. This diagram (Fig.1) illustrates the comparative effectiveness of the algorithms (GA, PSO, ACO) in terms of minimizing the cost of task distribution among workers.

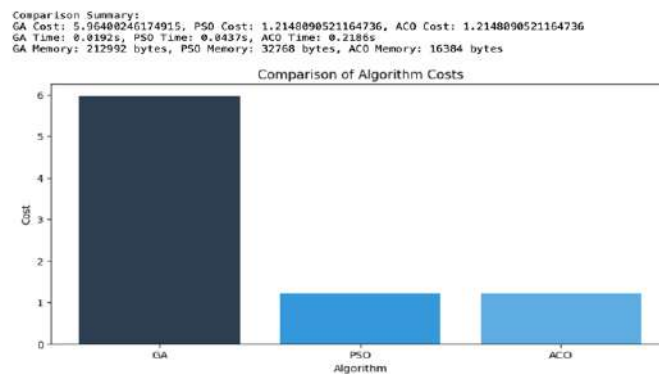


Figure 1. Comparison of algorithm Costs

The cost is calculated as the total execution cost for each worker. An algorithm with the lowest cost is considered more efficient in terms of task allocation quality. This metric is crucial for evaluating the optimality of solutions in distributed systems. This diagram (Fig. 2) shows the time each algorithm takes to solve the task.

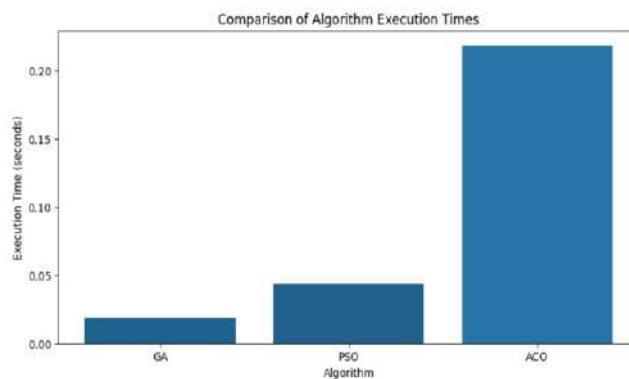


Figure 2. Comparison of algorithm execution times

Execution time is a critical performance indicator, especially when dealing with large datasets or real-time constraints. Algorithms with shorter execution times are preferable for tasks with strict time limitations. This diagram helps in selecting the fastest algorithm for solving time-sensitive tasks. This diagram (Fig. 3) demonstrates the memory efficiency of the algorithms.

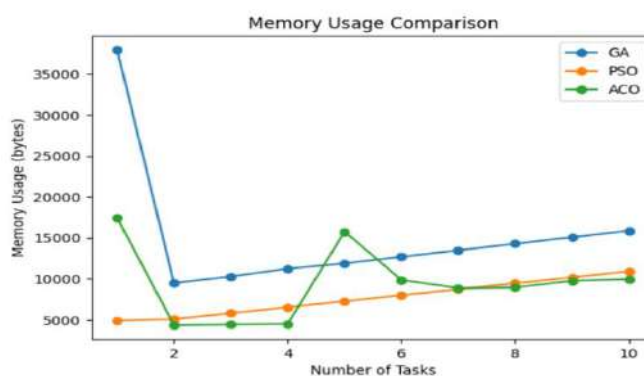


Figure 3. Comparison of memory usage

It measures the difference in memory usage before and after the algorithm's execution. Lower memory usage indicates better resource management, which is particularly important when working with limited computational resources. In scenarios involving large datasets or memory constraints, algorithms with lower memory consumption may be preferred.

The Genetic Algorithm (GA) may have higher execution time due to its complexity and the number of operations involved in managing the population, especially when the number of tasks increases. PSO (Particle Swarm Optimization) is typically more time-efficient for tasks with multiple parameters, as it uses a simpler logic for updating the states of particles. ACO (Ant Colony Optimization) exhibits unique behaviour that can be beneficial for distribution-related tasks, but it also tends to require more time and memory, depending on the complexity of the pheromone updating process. In the Ant Colony Optimization (ACO) algorithm Fig.4, pheromone values are initially set to 1, and each "ant" constructs a solution by selecting workers for tasks based on pheromone levels, with higher pheromone levels guiding more favourable paths.

```

def ant_colony_optimization(tasks, workers):
    num_ants = 50
    num_tasks = len(tasks)
    max_iter = 100
    alpha = 1
    beta = 2
    evaporation_rate = 0.5
    pheromone = np.ones((num_tasks, len(workers)))

    for iteration in range(max_iter):
        solutions = []
        for _ in range(num_ants):
            solution = []
            for task in range(num_tasks):
                distances = np.abs(np.array(workers) - tasks[task])
                distances = np.maximum(distances, 1e-6) # Avoid division by zero
                probabilities = pheromone[task] ** alpha * (1 / distances) ** beta
                probabilities = probabilities / probabilities.sum()

                # Handle NaN probabilities
                probabilities = np.nan_to_num(probabilities, nan=1e-6)

                chosen_worker = np.random.choice(len(workers), p=probabilities)
                solution.append(chosen_worker)
            solutions.append(solution)

        pheromone *= (1 - evaporation_rate)
        for solution in solutions:
            cost = np.sum(np.abs(np.array(workers)[solution] - tasks))
            for task, worker in enumerate(solution):
                pheromone[task, worker] += 1 / cost

        best_solution = min(solutions, key=lambda sol: np.sum(np.abs(np.array(workers)[sol] - tasks)))
    return np.sum(np.abs(np.array(workers)[best_solution] - tasks))

```

Figure 4. An Ant Colony Optimization (ACO) algorithm code

After constructing a solution, the algorithm calculates its fitness, typically a measure of cost or efficiency. After each iteration, pheromone values are updated according to the quality of the solutions; better solutions reinforce stronger pheromone trails, promoting the exploration of optimal paths. This process balances exploration and exploitation to find the best solution over multiple generations. Based on the comparison table 4, PSO and ACO exhibit the lowest cost and memory usage, making them more efficient for resource-constrained environments, with PSO slightly outperforming ACO in execution time.

Table 4. Comparison of Optimization Algorithms: GA, PSO, and ACO

Metric	GA (Genetic Algorithm)	PSO (Particle Swarm Optimization)	ACO (Ant Colony Optimization)
Cost	5.96	1.21	1.21
Execution Time	0.0192s	0.0437s	0.2186s
Memory Usage	212,992 bytes	32,768 bytes	16,384 bytes
Strengths	Fast execution time, robust for diverse solutions, good for large populations	Good convergence in high-dimensional spaces, less prone to local minima	Effective in multi-path and distributed systems, good for routing problems
Weaknesses	Higher memory usage, potentially slower with larger population sizes	Slower than GA in some cases, may get stuck in local optima	Slower than GA, memory-intensive with more iterations
Use Case	Large-scale task distribution with complex constraints	Distributed computing or systems with many variables	Systems requiring optimal routing or pathfinding in dynamic environments
Overall Efficiency	Least efficient in terms of cost and memory usage	Best balance between cost and memory	Efficient in routing but more memory-intensive than PSO

However, GA offers faster execution in some cases, albeit at a higher memory cost, which may limit its scalability in large systems. Overall, PSO strikes the best balance between cost, time, and memory usage, while ACO excels in pathfinding tasks, and GA is effective in situations requiring fast solutions with moderate resource requirements.

Discussion

In this study, a comparative analysis of three metaheuristic algorithms – Genetic Algorithm (GA), Particle Swarm Optimization (PSO), and Ant Colony Optimization (ACO) – was conducted for the

optimization of distributed IT systems. The results indicate that GA provides faster execution but at the cost of higher resource consumption and reduced accuracy. PSO and ACO, on the other hand, deliver better solution quality with lower time and memory requirements, making them more suitable in uncertain and resource-constrained environments. These findings align with previous research highlighting the effectiveness of PSO and ACO in dynamic and multi-variable conditions [3]. The relevance of hybrid approaches that combine the strengths of different algorithms is also supported [11, 13]. Thus, this study confirms the high practical value of metaheuristic methods for IT resource management. The outcomes provide a foundation for future research into adaptive and multi-objective optimization models, incorporating additional parameters such as energy efficiency, scalability, and fault tolerance. The perspectives of this study lie in the further development and integration of metaheuristic methods for optimizing IT service management, specifically task allocation in dynamic environments. By incorporating the latest advancements in machine learning and hybrid optimization algorithms, future research can explore more adaptive and robust models, addressing scalability and real-time optimization challenges. Unlike previous works that focus primarily on specific optimization techniques or theoretical models, this study emphasizes the application of a multi-method approach, combining GA, PSO, and ACO, to provide a more comprehensive and adaptable solution for real-world IT systems. This approach not only enhances task distribution efficiency but also facilitates better decision-making in environments with uncertain parameters and fluctuating workloads. Additionally, the integration of stochastic elements and combinatorial optimization sets this work apart from earlier studies, pushing the boundaries of optimization in complex IT operations.

Conclusion

This study demonstrates the effectiveness of metaheuristic algorithms – Genetic Algorithm (GA), Particle Swarm Optimization (PSO), and Ant Colony Optimization (ACO) – for solving task allocation problems in distributed IT systems. The comparative analysis revealed that while GA excels in speed, PSO and ACO provide better performance in terms of solution quality and resource efficiency. The integration of these methods into IT service management can lead to significant improvements in operational efficiency, decision-making, and cost reduction.

The research contributes to the theoretical foundation of metaheuristic optimization in IT contexts and highlights the potential of hybrid and adaptive strategies to handle dynamic, uncertain, and large-scale environments. The developed mathematical models and evaluation results offer a practical roadmap for future applications in cloud systems, IT outsourcing, and real-time resource scheduling.

Overall, the study advances the field by demonstrating a multi-method optimization approach that is both scalable and applicable to real-world IT challenges.

References

- [1] Gupta, C., Gupta, V. Enhancing bug allocation in software development: a multi-criteria approach using fuzzy logic and evolutionary algorithms // *PeerJ Computer Science*. – 2024. – Vol. 10. – P. e2111. (In English). DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2111>
- [2] Gupta, S., Singh, R.S. User-defined weight based multi-objective task scheduling in cloud using whale optimization algorithm // *Simulation Modelling Practice and Theory*. – 2024. – Vol. 133. – P. 102915. (In English). <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2024.102915>
- [3] Hao, Y., Zhao, C., Li, Z., Si, B., Unger, H. A learning and evolution-based intelligence algorithm for multi-objective heterogeneous cloud scheduling optimization // *Knowledge-Based Systems*. – 2024. – P. 111366. (In English). <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2024.111366>
- [4] Hemanth, S.V. et al. Multi-objective Ant Colony Optimization Technique for Task Scheduling in Cloud Computing // *Proc. of the 2024 Int. Conf. on Artificial Intelligence and Computer Vision*. – 2024. – DOI: <https://doi.org/10.1109/icaaic60222.2024.10575423> (In English)

- [5] Hu, Z., Liu, W., Ling, S., Fan, K. Research on multi-objective optimal scheduling considering the balance of labor workload distribution // PLOS ONE. – 2021. – Vol. 16, No. 8. – P. 1–15. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255737>
- [6] Ivchenko, I.Y. et al. Modeling optimization tasks in IT project management // Elektrotekhnichni ta Komp'uterni Systemy. – 2024. – No. 40(116). (In Russian). <https://doi.org/10.15276/eltecs.40.116.2024.3>
- [7] Jafarova, Sh.M., Akhmedova, S., Aliyeva, A. Research of methods of modeling of mass service enterprise // Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. – 2024. – Vol. 51, No. 3. – P. 54–59. (In Russian). <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2024-51-3-54-59>
- [8] Kolisch, R., Heimerl, C. An efficient metaheuristic for integrated scheduling and staffing IT projects based on a generalized minimum cost flow network // Naval Research Logistics. – 2012. – Vol. 59, No. 2. – P. 111–127. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1002/nav.21476>
- [9] Lamersdorf, A., Münch, J., Rombach, D. Towards a multi-criteria development distribution model: An analysis of existing task distribution approaches // Proc. of the 2008 IEEE Int. Conf. on Global Software Engineering. – 2014. (In English). <https://doi.org/10.1109/ICGSE.2008.15>
- [10] Lavrov, E. et al. Ergonomics of IT outsourcing: Development of a mathematical model to distribute functions among operators // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – No. 2. – P. 32–42. (In English). DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.66021>
- [11] Mazalov, A.N. et al. Mathematical model for optimizing distributed information systems // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1679, No. 2. – P. 022100. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1679/2/022100>
- [12] Mazza, A., Chicco, G., Russo, A. Multi-objective optimization of distribution systems assisted by decision theory criteria // IET Conference Publications. – 2012. – No. CP.2012.2020. (In English). <https://doi.org/10.1049/cp.2012.2020>
- [13] Mazur, N. The problem of resource allocation in the IT sphere // Logos Collection. – 2023. – October 27. (In English). DOI: <https://doi.org/10.36074/logos-27.10.2023.06>
- [14] Mathematical models of the cyclic work package distribution task. – Kharkiv: Kharkiv National University of Radioelectronics, 2022. – (Press of the KhNURE eBooks). (In English). DOI: <https://doi.org/10.30837/MMP.2022.007>
- [15] Nikolaev, V., Saenko, I. Optimization of information resources distribution in common information space // Trudy Uchebnykh Zavedeniy Svyazi. – 2024. – Vol. 10, No. 3. – P. 87–103. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.31854/1813-324X-2024-10-3-87-103>
- [16] Novozhylova, M., Karpenko, M. Solution of a multicriteria assignment problem using a categorical efficiency criterion // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2024. – No. 4. – P. 75–84. (In English). DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2024-4-7>
- [17] Turlakova, S. Research of mathematical methods and models of long-term industrial development // Economy of Industry. – 2022. – Vol. 4(100). – P. 53–77. (In Russian) . <https://doi.org/10.15407/economyindustry2022.04.053>
- [18] Xia, B., Zhou, Z., Liu, J. Research on deployment method of service function chain based on network function virtualization in distribution communication network // Proc. of the 2023 Int. Conf. on Information Technology. – 2023. – DOI: 10.1109/ITNEC56291.2023.10082364. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1109/ITNEC56291.2023.10082364>

М.С. Жасузақ^{1,2*} , Ж.Н. Кудиретулла¹ , Ж.А. Бурибаев^{1,2} , А.С. Еримбетова² 

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан.

²Институт информационных и вычислительных технологий, г.Алматы, Казахстан

*e-mail: zhassuzak.mukhtar@gmail.com

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ КАЗАХСКОГО ЖЕСТОВОГО ЯЗЫКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Аннотация

В статье рассматривается разработка системы распознавания казахского жестового языка и повышение её эффективности. Актуальной задачей является создание системы, способной распознавать казахский жестовый язык в режиме реального времени с целью облегчения коммуникации среди людей с нарушениями слуха и речи. В предлагаемом методе используется сверточная нейронная сеть YOLOv5 и библиотека MediaPipe, обеспечивающие высокоточное распознавание жестов в реальном времени. Для анализа распознанных знаков и их семантической обработки применяется сеть долговременной и кратковременной памяти (LSTM). Разработанная система позволяет анализировать движения рук пользователя в реальном времени и формировать осмысленные предложения из распознанных жестов. Кроме того, для удобства представления результатов пользователю был разработан веб-сайт на основе фреймворка Django. Экспериментальные результаты показали, что предложенная система обеспечивает высокую точность и надежность при распознавании казахского жестового языка в реальном времени.

Ключевые слова: казахский жестовый язык, сверточная нейронная сеть, реальное время, построение предложений, веб-приложение, нейронная сеть, распознавание жестов.

М.С. Жасузақ^{1,2}, Ж.Н. Құдіретулла¹, Ж.А. Бурибаев^{1,2}, А.С. Еримбетова²

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан.

²Ақпараттық және есептеу технологиялары институты, Алматы қ., Қазақстан

КОМПЬЮТЕРЛІК КӨРУ ЖӘНЕ ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП КАЗАҚ ҰМ-ИШАРА ТІЛІН ТАҢУ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа

Мақала қазақ ұм-ишара тілін таңу жүйесін әзірлеу және оның тиімділігін арттыру мәселелері қарастырылады. Бүгінгі таңда маңызды міндет – есту және сөйлеу қабілеті бұзылған адамдардың қарым-қатынасын жеңілдету мақсатында қазақ ұм-ишара тілін нақты уақыт режимінде тани алатын жүйе құру. Ұсынылып отырған әдісте нақты уақыт режимінде ымдарды жоғары дәлдікпен таңуды қамтамасыз ететін YOLOv5 свертпелі нейрондық желісі мен MediaPipe кітапханасы қолданылады. Танылған белгілерді талдау және олардың мағыналық өңдеу үшін ұзақ және қысқа мерзімді жады желісі (LSTM) пайдаланылады. Әзірленген жүйе пайдаланушының қол қимылдарын нақты уақыт режимінде талдап, танылған ымдардан мағыналы сөйлемдер құрауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, нәтижелерді пайдаланушыға ыңғайлы түрде ұсыну үшін Django фреймворкі негізінде веб-сайт жасалды. Эксперименттік нәтижелер ұсынылған жүйенің нақты уақыт режимінде қазақ ұм-ишара тілін таңуда жоғары дәлдік пен сенімділікті қамтамасыз ететінін көрсетті.

Түйін сөздер: қазақ ұм-ишара тілі, свертпелі нейрондық желі, нақты уақыт, сөйлем құрау, веб-қосымша, нейрондық желі, ымдарды таңу.

M.S. Zhassuzak^{1,2}, Zh.N. Kudiretulla¹, Zh.A. Buribaev^{1,2}, A.S. Yerimbetova²

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF A KAZAKH SIGN LANGUAGE RECOGNITION SYSTEM USING COMPUTER VISION AND DEEP LEARNING METHODS

Abstract

This paper discusses the development of a Kazakh Sign Language recognition system and the enhancement of its effectiveness. An urgent task is the creation of a system capable of recognizing Kazakh Sign Language in real-time to facilitate communication among individuals with hearing and speech impairments. The proposed method employs a YOLOv5 convolutional neural network and the Mediapipe library, ensuring high-precision real-time gesture recognition. For the analysis and semantic processing of the recognized signs, a Long Short-Term Memory (LSTM) network is utilized. The developed system allows for the real-time analysis of users' hand movements and the generation of meaningful sentences from the recognized gestures. Furthermore, a web application based on the Django framework was developed to conveniently present the results to users. Experimental results demonstrated that the proposed system provides high accuracy and reliability in recognizing Kazakh Sign Language in real-time.

Keywords: Kazakh Sign Language, convolutional neural network, real-time processing, sentence construction, web application, neural network, gesture recognition.

Введение

Основные положения

В ходе исследования была разработана система распознавания казахского жестового языка, способная работать в реальном времени и обеспечивать высокую точность и надёжность распознавания. Архитектура системы основана на сочетании нейросети YOLOv5 для локализации жестов, библиотеки MediaPipe для отслеживания движений рук и рекуррентной модели LSTM для анализа временных последовательностей. Экспериментальные результаты подтвердили эффективность подхода: достигнуты показатели точности до 97,6 % при распознавании жестов и до 93,4 % при интерпретации жестов в слова. Система успешно визуализирует результаты через веб-интерфейс, что делает её практичным инструментом для коммуникации с людьми с нарушениями слуха и речи.

На сегодняшний день основным средством общения для людей с нарушением слуха является жестовый язык. Однако его широкому распространению препятствуют множество ограничений. Одним из главных является нехватка людей, владеющих жестовым языком, а также различия в его использовании в зависимости от культурных и региональных особенностей. Кроме того, для прямого перевода жестов требуются профессиональные переводчики, услуги которых не всегда доступны. Системы автоматического распознавания жестов представляют собой эффективное решение данной проблемы. Эти системы позволяют точно распознавать знаки и движения жестового языка с помощью методов компьютерного зрения и глубокого обучения, предоставляя возможность общения в текстовой или звуковой форме [1, 2].

В настоящее время сверточные нейронные сети архитектуры YOLO (You Only Look Once) демонстрируют высокую эффективность в области распознавания объектов на видеоданных [3]. Модель YOLOv5 отличается способностью к быстрому и точному распознаванию в реальном времени [4]. Несмотря на эффективность данной модели при распознавании жестов, при работе с казахским жестовым языком её точность может снижаться из-за таких факторов, как фоновый шум, скорость движения и разнообразие жестов рук.

Использование одной лишь модели YOLOv5 для локализации движений рук при распознавании жестов недостаточно. Для определения значений отдельных жестов и их семантической интерпретации необходимо применение дополнительных рекуррентных нейронных сетей. С этой целью используется сеть долговременной и кратковременной памяти (LSTM). LSTM – это разновидность рекуррентной нейронной сети с высокой способностью к сохранению и обработке временных зависимостей [5]. Она позволяет анализировать временные последовательности признаков, полученных с помощью YOLOv5, и формировать из них осмысленные слова и предложения.

Для обеспечения удобства использования системы, распознанные знаки и предложения отображаются на веб-сайте, разработанном на основе фреймворка Django [6]. Django

представляет собой функционально расширенный веб-фреймворк, обеспечивающий визуализацию данных в реальном времени.

Целью данного проекта является разработка высокоточной системы распознавания казахского жестового языка в реальном времени путём интеграции моделей YOLOv5 и MediaPipe. Система анализирует движения рук в режиме реального времени, определяет их значение и формирует осмысленные предложения на основе распознанных жестов.

Методы исследования

В данном разделе описаны основные методы и инструменты, использованные при создании системы для распознавания казахского жестового языка в режиме реального времени. В ходе исследования была реализована интеграция современных архитектур глубокого обучения, библиотек для обработки видео и технологий, обеспечивающих веб-интерфейс [7, 8, 9].

Основная цель системы – в реальном времени определять движения рук пользователя из видеопотока, распознавать их смысл и формировать осмысленные предложения из распознанных знаков. Для этого были использованы следующие компоненты. Интеллектуальная система для распознавания казахского жестового языка в реальном времени была разработана на основе интеграции передовых технологий: в первую очередь, для точного определения жестов на видеозаписи применялась высокоскоростная и надёжная нейронная сеть YOLOv5 [4,10]; для извлечения координат 21 ключевой точки каждого обнаруженного жеста использовалась платформа MediaPipe, разработанная Google [11]; семантическое распознавание, учитывающее последовательные изменения движений во времени, реализовано с помощью нейронной сети LSTM (Long Short-Term Memory) [5,12]; распознанные знаки и слова отображались в реальном времени в удобном для пользователя веб-интерфейсе, реализованном на фреймворке Django [6]; обучение всей модели осуществлялось на специально собранном наборе видео- и координатных данных, охватывающем 42 буквы казахского жестового алфавита и различные части речи [13]; разработка велась на языке Python 3.10 с использованием современных библиотек, таких как OpenCV, NumPy, Matplotlib, MediaPipe, PyTorch, TensorFlow и Django, что обеспечило доступность и эффективность решения [10,11,14,15,16].

Сеть LSTM способна распознавать только временные изменения жестов. Для точного определения соответствующего слова важны входной сигнал (x_t), предыдущее состояние (h_{t-1}) и память (C_t). При анализе временной последовательности движений руки пользователя ключевым является решение о необходимости сохранения новой информации в памяти. Это решение принимается с помощью так называемого «входного гейта» (input gate), работа которого основана на сигмоидной функции и описывается следующим выражением:

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (1)$$

где:

i_t – значение входного гейта;

σ – сигмоидная функция активации;

W_i – матрица весов входного гейта;

h_{t-1}, x_t – предыдущее скрытое состояние и входной вектор;

b_i – смещение.

Если пользователь выполняет жест «сен» («ты»), система сравнивает текущее изменение координат (x_t) с предыдущим состоянием (h_{t-1}) и определяет, представляет ли новая информация смысловую ценность. Если $i_t \approx 1$, жест считается значимым и сохраняется в памяти. Если система решает сохранить жест, то вычисляется содержательная информация, подлежащая запоминанию. Она определяется с помощью гиперболического тангенса:

$$C_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (2)$$

где:

C_t – кандидат на сохранение в памяти;

$\tanh$ – функция гиперболического тангенса;

W_C – матрица весов;

b_C – смещение;

h_{t-1}, x_t – предыдущее состояние и текущий вход.

Пример:

При выполнении жеста «сен» система, анализируя координаты, распознаёт его как слово «ты» и подготавливает его к сохранению в памяти.

Окончательный результат – распознанное слово или смысл – определяется выходным состоянием модели, которое передаётся в визуальный или другой внешний интерфейс:

$$h_t = o_t \cdot \tanh(C_t) \quad (3)$$

где:

h_t – текущее выходное значение скрытого слоя;

o_t – значение выходного гейта;

C_t – обновленное состояние памяти;

$\tanh$ – функция активации.

Пример:

Если пользователь выполняет последовательные жесты «сен – автобус – бар» («ты – автобус – иди»), система распознаёт каждое слово и формирует из них связное предложение, которое отображается на экране.

В задаче автоматического определения и локализации движений рук сверточные нейронные сети (CNN – Convolutional Neural Networks) играют ключевую роль. Архитектуры CNN обладают высокой способностью извлекать пространственные признаки из видеоданных, что позволяет эффективно выделять области жестов на видеокадрах [7].

В предложенной системе для точного обнаружения жестов на кадрах использовалась модель YOLOv5 (You Only Look Once, версия 5). Эта модель относится к одноэтапным (one-stage) детекторам и обеспечивает высокую скорость обработки в режиме реального времени [8]. YOLOv5 одновременно анализирует всё изображение, точно локализуя жесты рук и определяя их с помощью ограничивающих рамок (bounding boxes).

Архитектура YOLOv5 на Рисунке 1 состоит из нескольких ключевых компонентов:

- Backbone (CSPDarknet53): используется для извлечения начальных признаков изображения. Блоки Cross Stage Partial (CSP) уменьшают потерю информации и повышают вычислительную эффективность.
- Neck (FPN + PANet): обеспечивает многоуровневую обработку признаков изображения, что позволяет эффективно распознавать как мелкие, так и крупные объекты. Архитектуры Feature Pyramid Network (FPN) и Path Aggregation Network (PANet) работают совместно.
- Head: финальный компонент, отвечающий за выдачу результатов детекции. С помощью механизма anchor-based определяется местоположение и класс объекта.

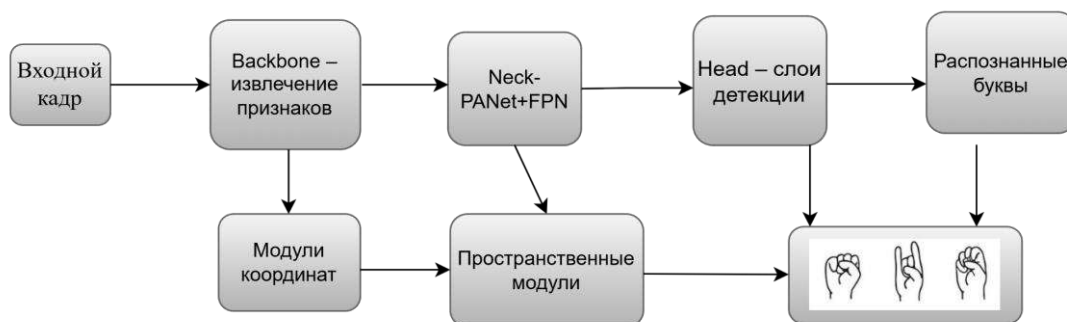


Рисунок 1. Архитектурная схема модели YOLOv5 для распознавания жестов рук

В предлагаемой системе YOLOv5 распознаёт жесты рук на каждом кадре видеопотока, а затем передаёт выделенные области в модели Mediapipe и LSTM для дальнейшей обработки. Эффективность YOLOv5 оказывает прямое влияние на общую точность системы, обеспечивая высокую скорость и стабильность распознавания жестового языка [9-10].

Использованный набор данных был сформирован на основе дактильного алфавита казахского жестового языка. Датасет сбалансирован и содержит более 10 000 изображений, охватывающих 40 символов казахского алфавита (40 классов). На рисунке 2 представлены примеры жестов, соответствующих каждой букве казахского алфавита.



Рисунок 2. Алфавит казахского жестового языка

Символы «Ъ» и «Ь» не входят в собственную фонетическую систему казахского языка, поэтому они используются исключительно в заимствованных словах, то есть при записи слов, пришедших из других языков (рисунок 3). Эти знаки служат для обозначения оттенков произношения согласных – мягкости или твёрдости. Однако в казахском языке такие фонологические контрасты отсутствуют, поэтому данные символы не были интегрированы в активную языковую практику.

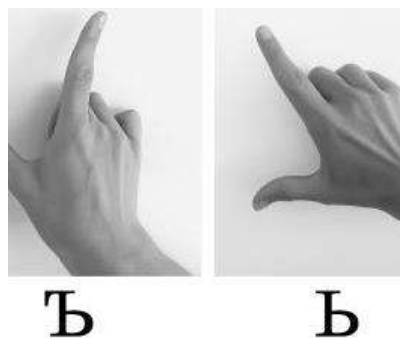


Рисунок 3. Особые знаки казахского алфавита

В задаче распознавания букв казахского жестового языка из изображений для выделения пространственных признаков и их точной классификации применяются глубокие архитектуры сверточных нейронных сетей (CNN). В рамках данного исследования были использованы три популярные модели CNN – GoogleNet, ResNet-101 и VGG-19, и проведено сравнение их эффективности.

Модель VGG (рисунок 4) отличается простой, но глубокой архитектурой. Она состоит из сверточных слоев размером 3×3 и направлена на извлечение пространственных признаков из видеоданных. Однако из-за большого количества параметров модель показала низкую точность (2,23 %) при распознавании букв казахского жестового языка. Это указывает на ограниченные возможности VGG-19 при различении сложных жестов.

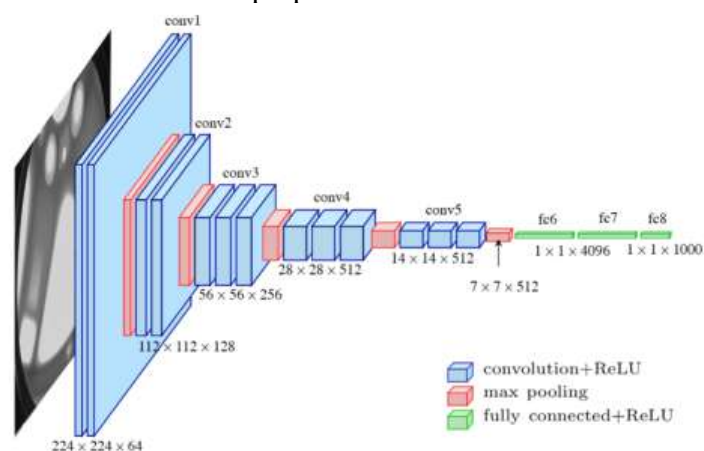


Рисунок 4. Архитектура VGG-19

Архитектура ResNet (рисунок 5) предотвращает потерю информации за счёт остаточных связей (skip connections), что позволяет эффективно обучать даже очень глубокие модели. В задаче распознавания букв казахского жестового языка модель ResNet достигла 100 % точности, успешно справившись с различением сложных жестов и особенностей движений. Эта архитектура была выбрана как наиболее эффективная.

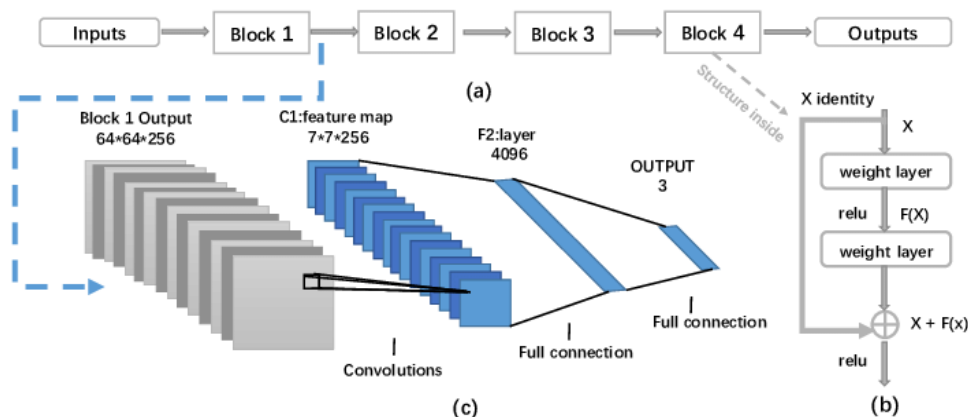


Рисунок 5. Архитектура ResNet-101

Модель GoogleNet (рисунок 6) использует Inception-блоки для распознавания признаков изображения на разных масштабах. В каждом блоке одновременно применяются фильтры различных размеров, что позволяет эффективно выявлять разнообразные особенности жестов. При распознавании букв казахского жестового языка данная модель достигла точности 88,01 %, продемонстрировав оптимальный результат.

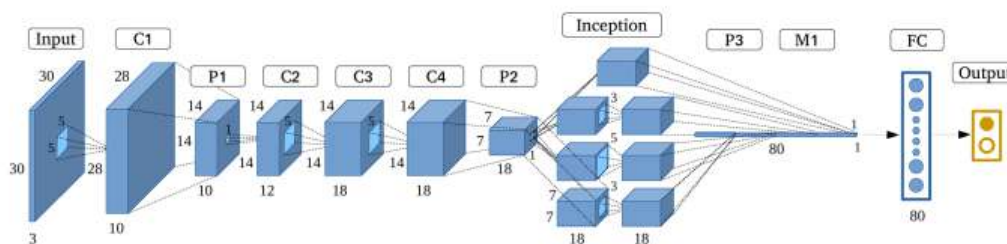


Рисунок 6. Архитектура GoogleNet

В целом, модель VGG отличается простотой и удобством для обучения, GoogleNet – эффективной обработкой и экономией вычислительных ресурсов, тогда как ResNet продемонстрировала наилучшие результаты благодаря высокой точности и глубокой архитектуре. Эти выводы подтверждаются и результатами предыдущих исследований [14, 15] (рисунок 7).

Epoch	GoogleNet Accuracy (%)	GoogleNet Loss	ResNet Accuracy (%)	ResNet Loss	VGG Accuracy (%)	VGG Loss
1.0	2.43	3.8241	89.68	0.7141	2.28	3.741
2.0	6.17	3.6574	97.37	0.0648	2.23	3.7381
3.0	46.46	2.3082	95.5	0.0654	2.23	3.7379
4.0	63.36	2.036	97.77	0.0192	2.23	3.7575
5.0	88.01	0.5053	100.0	0.0224	2.23	3.7374

Рисунок 7. Сравнительные показатели архитектур сверточных нейронных сетей

Эффективность системы распознавания казахского жестового языка была оценена на основе специально собранных видеозаписей и координатных данных. Общий набор данных, состоящий более чем из 10 000 изображений, был разделён на 80 % для обучения и 20 % для тестирования. Показатели точности (ассигасу) системы рассчитывались по результатам тестового набора. Сравнительная точность трёх предложенных архитектур (GoogleNet, ResNet-101, VGG-19) представлена на рисунке 8. Согласно результатам, модель ResNet-101 показала высокую и стабильную точность на тестовом наборе, в то время как GoogleNet достигла высоких результатов только на последних эпохах. Модель VGG-19 продемонстрировала низкую точность на всех этапах обучения.

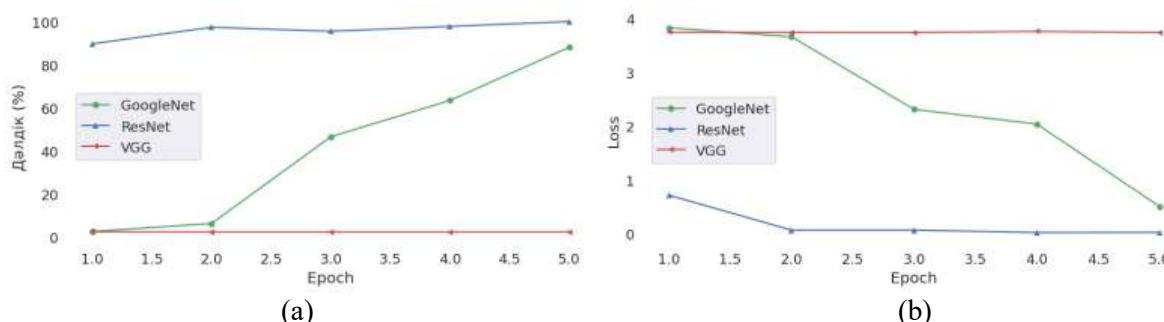


Рисунок 8. Сравнительная оценка моделей CNN и ансамблевого метода:
(a) Точность (Accuracy); (b) Функция потерь (Loss function).

Графическая интерпретация метрик precision (точность) и recall (полнота), представленных на рисунках 9.a и 9.b, демонстрирует, что модель VGG-19 не способна чётко различать заданный класс от других. Более того, при классификации с использованием VGG-19 значительная часть положительных примеров остаётся нераспознанной. В то же время модели

ResNet-101 и ансамблевый подход показывают высокие значения recall при определении конкретных классов, достигая значительно лучших результатов.

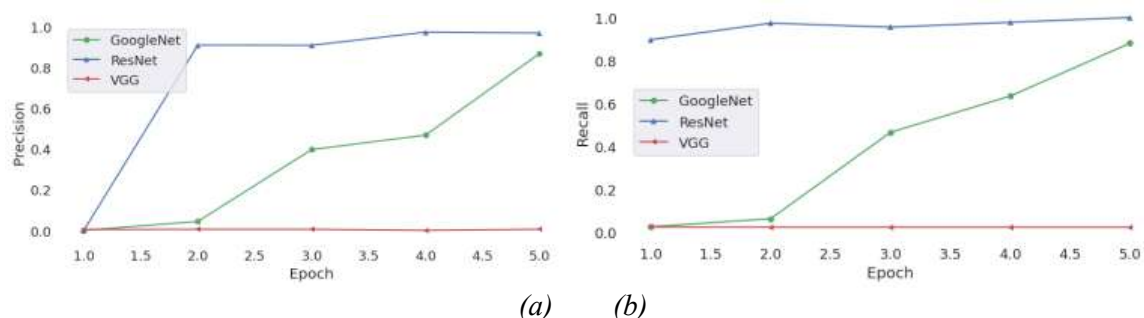


Рисунок 9. Сравнительная оценка моделей CNN и ансамблевого метода:
(a) Точность (Precision); (b) Полнота (Recall).

Результаты исследования

Для оценки эффективности предложенной системы было проведено несколько экспериментов на основе специально подготовленного набора данных. В датасет были включены 40 букв казахского жестового алфавита, а также распространённые местоимения, существительные и глаголы. Каждый жест записывался многократно с участием разных пользователей.

На рисунке 10 представлена визуализация жестов, соответствующих буквам казахского алфавита. Эти знаки использовались в обучающем наборе данных системы, при этом каждому жесту был присвоен конкретный класс. Подобные визуальные данные позволяют системе точно распознавать буквы и служат основой для извлечения пространственных признаков с помощью сверточных нейронных сетей (CNN).



Рисунок 10. Буквенные жесты казахского жестового языка

Извлечение координат рук (MediaPipe): с помощью библиотеки MediaPipe из видеопотока были точно и стабильно извлечены координаты 21 ключевой точки руки. Эти координаты описывают пространственную конфигурацию жеста и обеспечивают надёжность работы системы. MediaPipe продемонстрировала устойчивую производительность даже при изменениях освещения и фона [3].

Скорость работы: система функционировала со средней скоростью 20 кадров в секунду, что соответствует требованиям реального времени. Каждый распознанный жест отображался на экране в течение 6 секунд. В случае формирования предложения ранее распознанные слова сохранялись и дополнялись новыми.

На следующем графике (рисунок 11) представлены показатели точности (precision) и полноты (recall) компонентов YOLOv5 и LSTM по эпохам обучения.

Показатель precision демонстрирует, насколько точно система определяет истинно положительные примеры, и повысился с 75 % до 97,6 % за 10 эпох.

Recall отражает способность модели находить все истинно положительные случаи, увеличившись с 70 % до 95,3 %. Точность на уровне слов (Word-level accuracy) на основе LSTM также улучшилась с 68 % до 93,4 %, показывая эффективность распознавания движений в зависимости от их временной последовательности. Эти результаты подтверждают, что компоненты системы постепенно обучаются и адаптируются к выполнению стабильных и достоверных предсказаний.

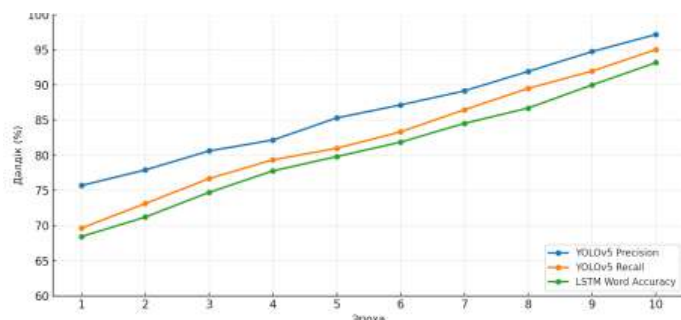


Рисунок 11. Результаты точности по компонентам системы

В целом, согласованность компонентов системы и корректность выбранных архитектур обеспечили высокую точность работы в режиме реального времени. Система стабильно преобразовывала каждый жест, показанный пользователем, в слова и предложения, демонстрируя надёжность распознавания.

Веб-интерфейс предложенной системы представляет собой интерактивную платформу для распознавания казахского жестового языка в реальном времени (см. рисунок 12). Интерфейс автоматически обрабатывает жесты руки, выполненные перед камерой, распознаёт соответствующую казахскую букву и визуально отображает результат на экране. Система реализована с использованием веб-фреймворка Django на языке Python и интегрирована с моделями глубокого обучения.

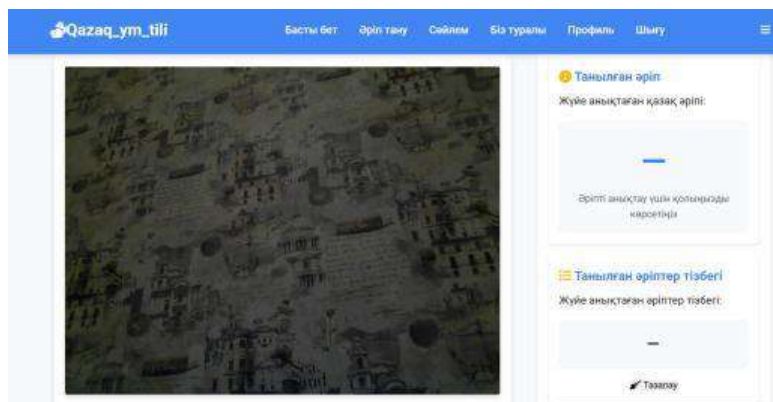


Рисунок 12. Визуальный интерфейс системы, работающей в режиме реального времени

Разработанная в рамках данного проекта система включает в себя следующие ключевые компоненты и обеспечивает удобный пользовательский интерфейс. Через главную страницу пользователь знакомится с общей целью системы и получает доступ к основным функциям. Модуль распознавания букв обрабатывает жесты рук из видеопотока в режиме реального времени и определяет соответствующие буквы казахского жестового языка. Распознанные буквы передаются в модуль построения предложений, где в соответствии с порядком они формируют полносмысленные фразы. Дополнительно в интерфейсе предусмотрен раздел «О нас» с информацией об авторах проекта, а также функции «Профиль» и «Выход» для управления действиями пользователя. Все компоненты системы работают согласованно,

обеспечивая высокоточную визуализацию и распознавание казахского жестового языка в реальном времени.

На следующем изображении представлена полная архитектурная структура веб-ориентированной системы для распознавания казахского жестового языка (рисунок 13).

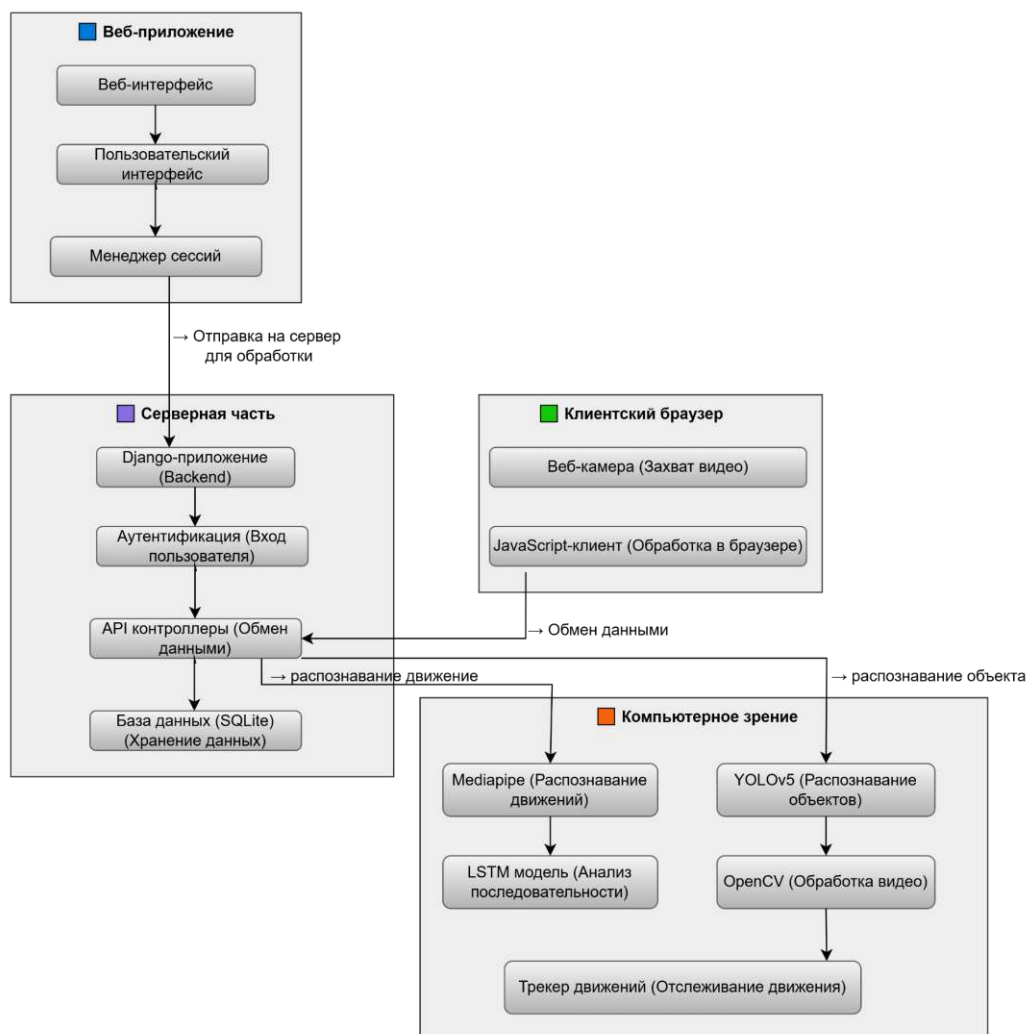


Рисунок 13. Полная архитектурная структура системы

Система состоит из трех основных компонентов: веб-приложения (пользовательский интерфейс), клиентской части браузера (обработка с помощью камеры и JavaScript) и серверной части (бэкенд на Django и база данных). Пользователь подключается к системе через веб-интерфейс и показывает жест с помощью камеры. Видеопоток обрабатывается на стороне клиента с использованием JavaScript и отправляется на сервер. На сервере фреймворк Django на языке Python принимает данные и передает их через аутентификацию и API-контроллер в блок обработки. Внутри блока компьютерного зрения:

- Mediapipe извлекает координаты 21 ключевой точки руки,
- YOLOv5 выполняет локализацию руки на изображении,
- LSTM анализирует временные последовательности движений и распознаёт осмысленные буквы или слова. Все полученные данные сохраняются в базе данных SQLite, а результат отображается пользователю в режиме реального времени.

На рисунке 15 показаны примеры жестов, распознанных системой в реальном времени. Для каждого кадра были визуализированы 21 опорная точка жеста с помощью MediaPipe, а полученные координаты обработаны через LSTM-сеть.

Согласно результатам, жесты, соответствующие буквам «L», «G», «R» и «Z», были распознаны со 100 % точностью. Жест «А» был определён с точностью 86,59 %, а «О» – с 80,60 %. Эти показатели демонстрируют высокую надёжность системы в различении жестов, принадлежащих к разным классам.

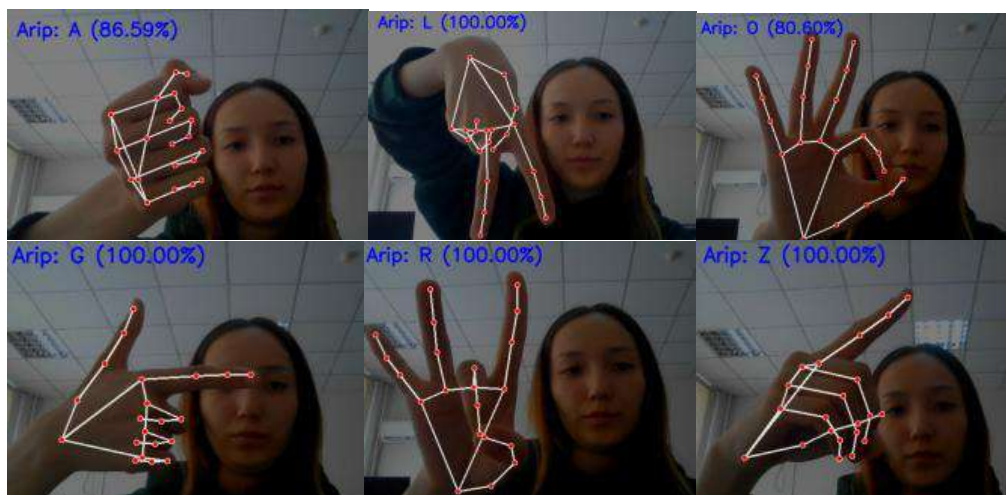


Рисунок 14. Результаты распознавания букв казахского жестового языка

Система точно определяет 21 ключевую точку с помощью MediaPipe, а благодаря локализации YOLOv5 и временной аналитике LSTM достигается высокая точность распознавания. Показатели точности варьируются от 80 % до 100 %, что свидетельствует об эффективном обучении модели и её устойчивости при использовании. Несмотря на разнообразие жестов, система сохраняет когнитивную согласованность и визуальную стабильность.

На приведённой иллюстрации (рисунок 15) продемонстрирована способность системы в реальном времени распознавать жесты пользователя по трем основным частям речи: местоимение, существительное и глагол. Распознанные слова объединяются в логической последовательности и формируют полноценное предложение. Финальный результат – предложение «sen jumysty jasaysyn» – отображается в текстовом виде и озвучивается с помощью TTS-технологии. Таким образом, система позволяет формировать осмысленные предложения в соответствии с синтаксическими нормами казахского языка на основе жестов.

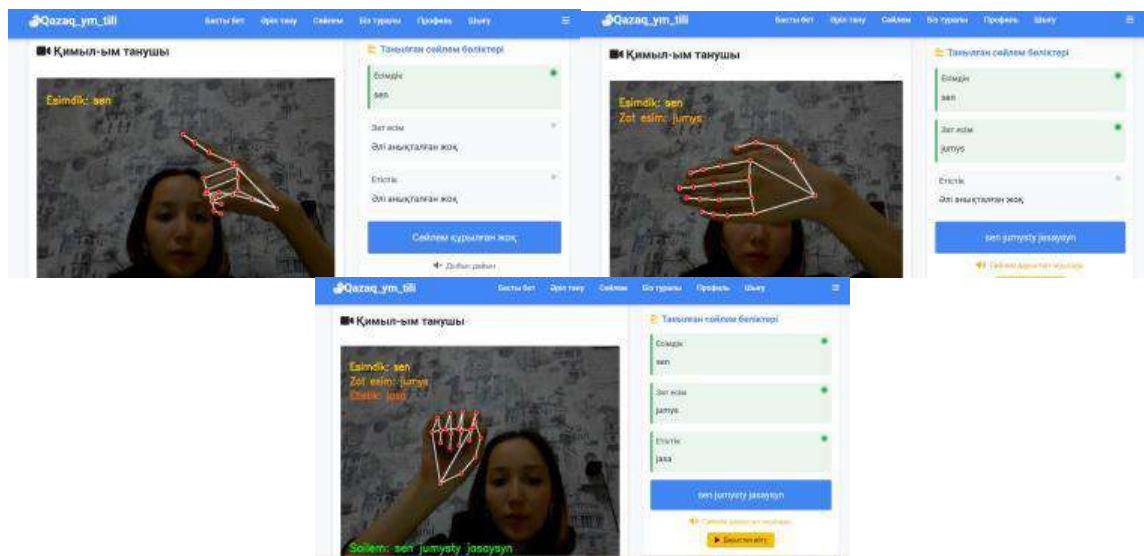


Рисунок 15. Результаты построения предложений в системе распознавания жестового языка

Основываясь на полученных результатах, была оценена функциональная эффективность системы и её синтаксическая согласованность. Жесты, выполняемые пользователем, распознаются с высокой точностью в режиме реального времени и объединяются в логически связанное предложение с сохранением смысловой структуры. Кроме того, система обеспечивает корректность морфологического построения и соблюдение синтаксических норм казахского языка.

Дискуссия

Разработка системы распознавания казахского жестового языка в режиме реального времени представляет собой значительный шаг в направлении инклюзивных технологий, направленных на преодоление барьеров коммуникации для лиц с нарушениями слуха и речи. Предложенная архитектура, сочетающая возможности сверточной нейросети YOLOv5, координатного трекинга MediaPipe и рекуррентной модели LSTM, демонстрирует сбалансированную эффективность на этапах локализации, извлечения ключевых признаков и анализа временных зависимостей.

Высокие значения метрик Precision (97,6 %) и Recall (95,3 %) на этапе обнаружения жестов свидетельствуют о достаточной чувствительности и специфичности модели YOLOv5. Однако важным фактором устойчивой производительности остаётся правильная организация обучающего набора: высокая вариативность поз, освещённости и фона может влиять на точность локализации. Кроме того, использование MediaPipe позволило упростить процесс извлечения координатных признаков, однако система может быть чувствительна к перекрытию рук и частичной окклюзии.

Применение LSTM-архитектуры обеспечило возможность анализа последовательных кадров, что особенно критично для распознавания динамических жестов, где временной контекст определяет смысловую нагрузку. Сравнительный анализ моделей классификации показал превосходство ResNet над другими архитектурами, что коррелирует с современными исследованиями, подтверждающими эффективность остаточных связей в глубоких сетях.

Однако наряду с положительными результатами, система имеет ряд ограничений. Прежде всего, она работает с ограниченным набором слов и фраз, не охватывая синтаксическую структуру языка. Отсутствие модуля генерации аудиоречи также ограничивает возможности взаимодействия между глухими пользователями и слышащими. Кроме того, устойчивость системы при условиях внешних шумов (например, изменении освещения, появлении посторонних объектов в кадре) требует дополнительного тестирования и адаптации.

Заключение

В ходе настоящего исследования была разработана и экспериментально подтверждена работоспособность многокомпонентной системы для распознавания казахского жестового языка в реальном времени. В её основу легли передовые алгоритмы компьютерного зрения и обработки временных последовательностей, включая YOLOv5, MediaPipe и LSTM. Система показала высокую точность на всех этапах: от локализации и извлечения координат до семантической интерпретации жестов.

Полученные результаты демонстрируют потенциал применения подобных систем в социальных и образовательных сферах, а также в сервисах цифровой коммуникации. Работа системы в режиме 20 кадров в секунду с возможностью формирования осмысленных фраз подтверждает её прикладную ценность и технологическую зрелость.

В перспективе планируется расширение функциональности системы за счёт включения синтаксического анализа казахского жестового языка, реализации голосовой озвучки распознанных фраз и интеграции поддержки мультязычия. Кроме того, рассматриваются возможности адаптации системы для мобильных и веб-платформ, что расширит доступность технологии для широкой аудитории.

Благодарность

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства Науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках грантового исследования № BR24992875.

Список использованных источников

1. Akhmetkali, A. 2025. "Kazakh Scientist Develops AI to Translate Sign Language into Kazakh." *The Astana Times*. <https://astanatimes.com/2025/02/kazakh-scientist-develops-ai-to-translate-sign-language-into-kazakh/>.
2. "Gesture Recognition of the Kazakh Alphabet Based on Machine and Deep Learning Models." 2024. *Procedia Computer Science*, Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050924017757>.
3. Bochkovskiy, Alexey, Chien-Yao Wang, and Hong-Yuan M. Liao. 2020. "YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection." *arXiv preprint arXiv:2004.10934*. <https://arxiv.org/abs/2004.10934>
4. Ultralytics. 2023. YOLOv5: Real-Time Object Detection. GitHub Repository. <https://github.com/ultralytics/yolov5>.
5. Hochreiter, Sepp, and Jürgen Schmidhuber. 1997. "Long Short-Term Memory." *Neural Computation* 9 (8): 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>.
6. Pinkham, Andrew. 2015. *Django Unleashed*. Boston: Pearson Education. https://books.google.com/books/about/Django_Unleashed.html?id=gC0BCwAAQBA.
7. Krizhevsky, Alex, Ilya Sutskever, and Geoffrey E. Hinton. 2012. "ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks." *Advances in Neural Information Processing Systems* 25: 1097–1105. https://papers.nips.cc/paper_files/paper/2012/file/c399862d3b9d6b76c8436e924a68c45b-Paper.pdf.
8. Simonyan, Karen, and Andrew Zisserman. 2015. "Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition." *arXiv preprint arXiv:1409.1556*. <https://arxiv.org/abs/1409.1556>.
9. He, Kaiming, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, and Jian Sun. 2016. "Deep Residual Learning for Image Recognition." *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*: 770–778. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90>.
10. Szegedy, Christian, Wei Liu, Yangqing Jia, et al. 2015. "Going Deeper with Convolutions." *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298594>.
11. Lugaresi, Camillo, Jason Tang, Hartwig Nash, et al. 2019. "MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines." *arXiv preprint arXiv:1906.08172*. <https://arxiv.org/abs/1906.08172>.
12. Kingma, Diederik P., and Jimmy Ba. 2015. "Adam: A Method for Stochastic Optimization." *International Conference on Learning Representations (ICLR)*. <https://arxiv.org/abs/1412.6980>.
13. Abdrakhmanova, G., et al. 2023. "Development of Kazakh Sign Language Dataset and Preliminary Evaluation." *Proceedings of the International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC)*. <https://aclanthology.org/2023.lrec-main.1017>.
14. Bradski, Gary. 2000. "The OpenCV Library." *Dr. Dobb's Journal of Software Tools*. <https://opencv.org/>.
15. Van Rossum, Guido, and Fred L. Drake Jr., eds. 2002. *Python 3 Reference Manual*. CreateSpace. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=09b1d693676a152621799e2cfff562a369d10204>.
16. Paszke, Adam, Sam Gross, Francisco Massa, et al. 2019. "PyTorch: An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library." *Advances in Neural Information Processing Systems* 32: 8024–8035. https://papers.nips.cc/paper_files/paper/2019/file/bdbca288fee7f92f2bfa9f7012727740-Paper.pdf.

Ж.К. Ибраева^{1*} , Д.А. Ибраев¹ 

¹Сатпаев университет, г. Алматы, Казахстан

*e-mail: z.ibrayeva@satbayev.university

АНАЛИЗ УГРОЗ СОЦИАЛЬНОГО ИНЖИНИРИНГА В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ

Аннотация

Наблюдая растущую популярность в социальных сетях степень современной коммуникации, где предоставляется пользователям широкие возможности для обмена информацией, незримо возрастают и мер использования угроз распространения вредоносной информации, связанной с применением методов социального инжиниринга. Данная работа посвящена исследованию явления социального инжиниринга, направленного на манипулирование пользователями социальных сетей с целью извлечения конфиденциальных данных, подрыва репутации, распространения дезинформации или иного вреда. Рассматриваются релевантные основные механизмы социального инжиниринга, причины уязвимости пользователей к подобным атакам, а также потенциальные последствия для информационной безопасности. В работе предлагаются рекомендации по противодействию этому виду угроз, включая повышение цифровой грамотности, разработку защитных технологий и совершенствование регуляторных механизмов. Данное исследование актуально для специалистов в области информационной безопасности, социальных наук и всех, кто заинтересован в защите цифровой среды от манипуляций и вредоносной информации.

Ключевые слова: область информационной безопасности, цифровая грамотность, социальные сети, вредоносная информация, социальный инжиниринг, защитные технологий

Ж.К. Ибраева¹, Д.А. Ибраев¹

¹Сатпаев университеті, Алматы қ., Қазақстан

ӘЛЕУМЕТТІК ЖЕЛІЛЕРДЕГІ ӘЛЕУМЕТТІК ИНЖЕНЕРИЯ ҚАУІПТЕРІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ОЛАРМЕН КҮРЕСУ ӘДІСТЕРІ

Аңдатпа

Әлеуметтік желілерде қазіргі заманғы коммуникацияның өсіп келе жатқан танымалдылығын бақылай отырып, пайдаланушыларға ақпарат алмасу үшін кең мүмкіндіктер берілетін жерде, әлеуметтік инженерия әдістерін қолданумен байланысты зиянды ақпарат тарату қаупінің артуы байқалады. Бұл жұмыс әлеуметтік желілерді пайдаланушыларды құпия деректерді алу, беделді түсіру, дезинформация тарату немесе басқа зиян келтіру мақсатында манипуляциялауға бағытталған әлеуметтік инженерия құбылысын зерттеуге арналған. Әлеуметтік инженерияның негізгі механизмдері, пайдаланушылардың осындай шабуылдарға осал болу себептері, сондай-ақ ақпараттық қауіпсіздікке ықтимал салдары қарастырылады. Жұмыста бұл қауіп-қатерге қарсы тұру бойынша ұсыныстар беріледі, соның ішінде цифрлық сауаттылықты арттыру, қорғаныс технологияларын әзірлеу және реттеу тетіктерін жетілдіру.

Түйін сөздер: ақпараттық қауіпсіздік саласы, Цифрлық сауаттылық, Әлеуметтік желілер, Зиянды ақпарат, Әлеуметтік инженерия, Қорғаныс технологиялары,

Zh.K. Ibrayeva¹, D.A. Ibrayev¹

¹Satbayev university, Almaty, Kazakhstan

ANALYSIS OF SOCIAL ENGINEERING THREATS IN SOCIAL NETWORKS AND METHODS TO COMBAT THEM

Abstract

Observing the growing popularity of social networks as a medium of modern communication, which provides users with extensive opportunities for information exchange, there is an unseen rise in the threats of

spreading malicious information associated with the use of social engineering methods. This study focuses on the phenomenon of social engineering aimed at manipulating social network users to extract confidential data, damage reputations, spread disinformation, or cause other harm. The relevant key mechanisms of social engineering, the reasons for users' vulnerability to such attacks, and the potential consequences for information security are considered. The work also offers recommendations for countering these threats, including enhancing digital literacy, developing protective technologies, and improving regulatory mechanisms. This research is relevant to specialists in the field of information security, social sciences, and anyone interested in protecting the digital environment from manipulation and malicious information.

Keywords: field of information security, digital literacy, social networks, malicious information, social engineering, protective technologies

Введение

Принимая во внимание все стороны развития социального инжиниринга, рассматриваются источники возникновения и возможные пути ее распространения. Также можно подчеркнуть быстрый рост данного вида зловредного типа атак из-за стойкой популярности используемых социальных сетей. Ввиду этого, результатом исследования служат релевантные рекомендации по противодействию распространению и возможности минимизирования их источников.

21 век – век начала цифровой жизни человечества вплотную, и социальные сети есть обязательная часть повседневной жизни современного общества. Везде социальные сети играют ключевую роль в коммуникациях, обмене информацией, организациях, сообществах и вовлечении в общественное мнение. По данным статистики, миллиарды людей ежедневно используют такие платформы, как Facebook, Instagram, Twitter, TikTok и другие, что составляет их необходимый элемент. Значимость социальных сетей показывает масштаб охватывания, скорость обмена и распространения данных, уровень личной заинтересованности личности, экономия времени в обычном и рабочем режиме. Однако вместе с преимуществами социальных сетей и пользой для человечества, грядут и новые угрозы, связанными с использованием их возможностей в неблагоприятных целях. Из-за таких человеческих качеств, в силу характера живого существа, как безответственность (неосознанности важности своих действий и последствий своих решений), легкомысленность (отношение к важным задачам или обязанностям с недостаточной серьезностью), отсутствие внимания к деталям (допущение ошибки из-за поверхностного подхода), несобранность (неспособность организовать свою деятельность), пренебрежение обязанностями (умышленное или случайное игнорирование задач), недисциплинированность (неспособность следовать установленным правилам или графику), беспечность (уверенность, что всё «как-то само» уладится, даже без усилий), лень (отказ тратить время и силы на выполнение обязанностей качественно), непунктуальность (постоянные опоздания или несвоевременное выполнение дел), непредусмотрительность (неспособность учитывать возможные последствия своих действий) являются большими приспешниками и создают благоприятную почву для угрозы распространения частной информации.

Одним из таких угроз является социальный инжиниринг. Существует немало уязвимостей, из-за которого риск возникновения данной угрозы настолько велик, что большинство ученых выделяют социальный инжиниринг уже в отдельную область. Ими выступают повешение доверия к информации, выраженное эмоциональное воздействие, возможность включения анонимности и автоматизации действий. Социальная инженерия, по своей природе, выступает прямой атакой именно на индивида, и будет звеном спланированной компьютерной атаки. Мошеннику запросто сначала «взломать» человека и получить доступ к системе или ввести в заблуждение жертву к самостоятельным действиям запуска на компьютере вредоносных файлов, чем тратить время на поиск и эксплуатацию технических уязвимостей [1].

Цель и задачи исследования. Цель исследования выражается из малоизученных научных материалов на данный момент на процент роста угроз и атак. Ориентиром атак манипулирующего стратега становятся как обычные пользователи, так и работники

различного рода компаний и банков в зависимости от намерений. В первом случае главный побудительный фактор злоумышленника – нажива или корысть, во втором случае – получение доступа в корпоративную сеть с целью кражи данных, конкурентной разведки, нарушения системной деятельности информационных систем. По меркам информационной безопасности тщательно защищенная с использованием современных технических и аппаратных устройств, а также отрезанная от Интернета информационная система уязвима к подобным атакам, поскольку её эксплуатацией и управлением занимаются непосредственно люди, в лице работников. Значимыми задачами исследования рассматриваются основные характеристики социального инжиниринга на выделения вредоносной информации в социальных сетях, типы атак, методы манипуляции и психологическое воздействие на пользователей, современные технологии для обнаружения и анализа вредоносной информации, политики и регулирование со стороны социальных платформ.

Методология исследования

Основные подходы к определению природы социального инжиниринга делаются разными учеными. Например, по словам Салахдина Ф. и Кабуч Н., социальная инженерия – это искусство влияния на людей с целью получения конфиденциальной информации, такой как пароли, адреса, банковские данные и т. д., путём использования человеческих уязвимостей. Вместо использования технологических слабостей эти атаки эксплуатируют человеческие слабости, такие как чувства, доверие и привычки, чтобы получить доступ к конфиденциальной информации или данным людей. Хотя это технически менее сложно, чем другие стратегии кибератак, социальная инженерия может причинить серьёзный ущерб жертве [2]. С ними согласятся и ученые из турецкого университета имени С. Демиреля Коюн Ариф И Жанаби Аль Ихсан, также считающие, что социальная инженерия использует распространённые аспекты человеческой психологии, такие как любопытство, вежливость, доверчивость, жадность, безрассудство, застенчивость и апатия.

На рисунке 1 в мире на 2024 год пользователей социальных сетей станет 5,037 миллиарда [3].

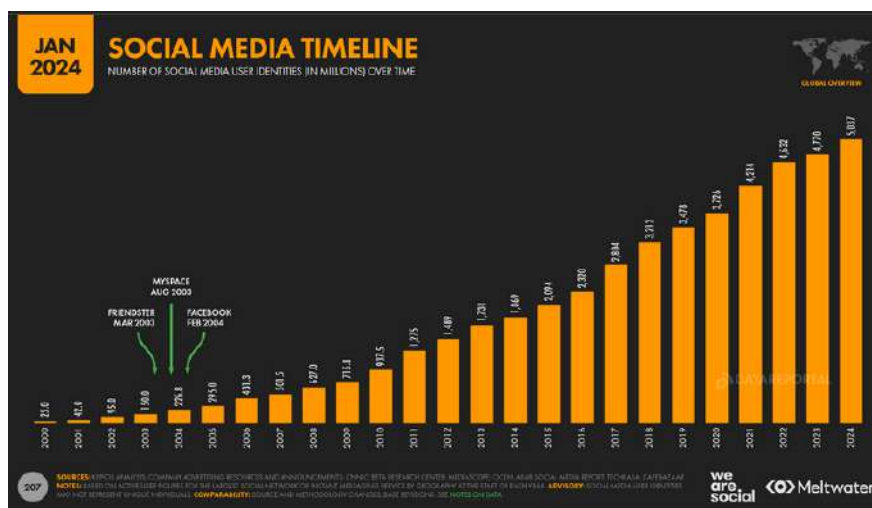


Рисунок 1. Прирост количества пользователей социальных сетей

Лидер в области кибербезопасности компания Positive Technologies ведет аналитические сводки по социальному инжинирингу, и в III квартале 2023 года, представленного на рисунке 2 из числа общего количества инцидентов именно атаки на социальные сети составили 2% (организации) и 19% (частные лица), также указала, что в основном это мошеннические действия [4].

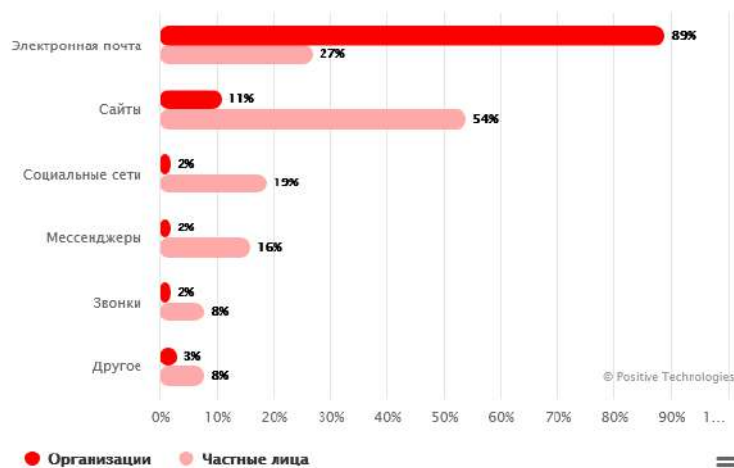


Рисунок 2. Общее количество инцидентов

Очередное доказательство того, что большинство атак совершается, именно на человека можем посмотреть на данные объектов атак как показано на рисунке 3



Рисунок 3. Объекты атак

Социальная инженерия наивысшей степени многогранна, что используя ее можно сделать двойную атаку, где одна завернута в другую. Данное наблюдение выделено из аналитического квартального отчета киберугроз Positive Technologies за 2024 год, где Исследователи угроз Imperva обнаружили атаку, при которой вредоносный пакет имитирует название легитимного, называемую Тайпсквоттинг, проводимую во многом в социальных сетях.

Атак и угроз социального инжиниринга довольно много, и дальнейшее их увеличение их числа напрямую зависимо от изобретательности и изощренности ума человечества, при всем при этом нам необходимо выделить те типы атак с использованием социального инжиниринга, которые непосредственно используются в социальных сетях. В – первую очередь для проведения успешного нападения проводится исследование объекта, то есть злоумышленник изучает информацию о жертве, для одной цели – понять, как лучше всего подойти к жертве. Естественно, что анализируются профили в социальных сетях (Facebook, LinkedIn, Instagram, Twitter), собирает данные: место работы, круг общения, интересы, контакты. Завершение плана является поиск уязвимости, например, жалобы на проблемы или поиск работы.

Атака социальной инженерии, при которой злоумышленник входит в доверие к жертве, называется "претекстинг" (pretexting). Мошенники часто представляются сотрудниками различных организаций, включая банки, государственные органы и коммунальные службы, с

целью обмана граждан и получения конфиденциальной информации или денежных средств. Например, они могут выдавать себя за представителей Казпочты, сообщая о доставке заказного письма, или за сотрудников "Алматы Су", утверждая о необходимости проверки счетчиков. Под различными предложениями злоумышленники пытаются убедить жертв предоставить коды из SMS или другие личные данные. Одним из реально зафиксированных претекстинг атак в Казахстане, отмечает Национальная служба реагирования на компьютерные инциденты KZ-CERT, явилось распространение объявлений с поддельными QR-кодами в подъездах жилых домов, побуждая граждан сканировать QR-коды и присоединиться к домовым чатам в мессенджерах. Согласно отчету Калифорнийского Data Breach Investigations Report (DBIR) за 2023 год, претекстинг имеет колоссальные успехи как реализованная атака и представлена на рисунке 4 [5].

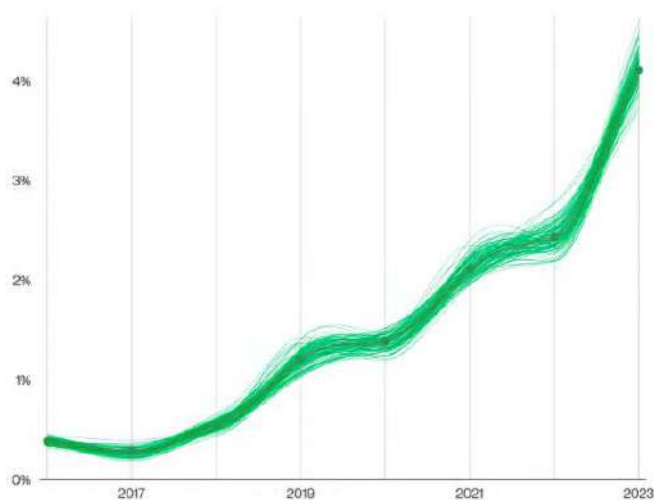


Рисунок 4. Инциденты претекстинга до 2023 года

Похожая атака, называемая фишинг (Phishing), которую по данным Государственной технической службы в 2023 году в Казахстане обнаружили 2 160 случаев. По ряду источников, от 70% до 80% фишинговых атак реализуются через сообщения, содержащие ссылки, ведущие на поддельные или заражённые сайты. Такие ссылки позволяют злоумышленникам направлять пользователей на сайты для сбора учётных данных или для автоматической загрузки вредоносного ПО. Оставшаяся часть, около 20%–30% фишинговых угроз, включает использование вредоносных вложений (например, документов, архивов или других файлов), которые при открытии могут инициировать загрузку зловредного ПО или эксплуатировать уязвимости конечных устройств. При чем в социальных сетях чаще работают только 3 вида фишинга: вишинг (vishing: использование телефонных звонков для фишинговых атак), смишинг (smishing: фишинговые атаки через SMS-сообщения), списочный фишинг (spear phishing: Целенаправленная атака на конкретного человека или организацию). За девять месяцев 2024 года зарегистрировано свыше 15,9 тыс. случаев интернет-мошенничества, что составляет около 47% от всех видов мошенничества (33 832). Общий ущерб составил порядка 26 млрд тенге. [6] По данным приложения Kaspersky Who Calls, доля пользователей в Казахстане, получавших спам-звонки, в январе–ноябре 2024 года составила 72,4%. [7] При этом более половины пользователей (52,1%) – столкнулись с мошенниками. Заметим, что почти 73% заблокировано почти 50 миллионов таких вызовов. А в сравнении с соседом Россией данные таких атак составила всего 61% за 2024 год, что показывает нам большую ориентированность мошенников именно в нашей стране.

Так, в 2020 году были зафиксированы случаи, когда пользователи получали SMS-сообщения якобы от крупных казахстанских банков, таких как Халык Банк и Казкоммерцбанк.

В этих сообщениях предупреждали о блокировке карт или счета, и предлагали перейти по ссылке для активации. Сайт, на который вели ссылки, был фальшивым, а данные карт, введенные пользователем, попадали в руки мошенников. А годом позже были распространены сообщения, якобы от Госфискальной службы Казахстана, с уведомлениями о задолженности по налогам или штрафам. В SMS предлагали перейти по ссылке для оплаты. Сайт, на который направляли жертв, имитировал официальный сайт и собирал данные для последующего использования.

Отметим разницу между ними, тем, что претекстинг фокусируется на создании индивидуального сценария и работы с конкретной жертвой, а фишинг часто массовый и менее персонализированный, обычно через поддельные письма или сообщения. В 2022 году был случай с использованием SMS-сообщений для обмана с фальшивыми уведомлениями о доставке посылок через международные компании, такие как DHL или Kazpost. В сообщениях указывали, что посылка задержана, и предлагали перейти по ссылке для уточнения адреса доставки или оплаты "дополнительных сборов". Опять же, этот сайт был фальшивым, и пользователи вводили свои данные. А уже в начале 2024 года начали поступать SMS-сообщения, которые якобы предлагали гражданам Казахстана взять кредит на выгодных условиях от крупных банков, таких как Сбербанк и Казкоммерцбанк, к тому моменту уже не существовавших. В сообщениях предлагалось пройти по ссылке для оформления кредита, где требовали ввести данные паспорта и банковской карты. Мошенники использовали эту информацию для кражи средств.

Третий вид нападения – атака Бейтинг (Baiting), это вид мошенничества, при котором злоумышленники предлагают заманчивые предложения или бесплатные товары. Например, в 2024 году в Казахстане был зафиксирован случай, когда мошенники предлагали гражданам получить водительские права без сдачи экзаменов. Они размещали объявления в социальных сетях и мессенджерах, обещая быстрое оформление документов за определенную плату. После получения денег злоумышленники прекращали связь с жертвами, а водительские права не выдавались передает агентстве по регулированию и развитию финансового рынка

И самый крупный и сложный – комбинированные атаки, использование нескольких методов одновременно.

Немаловажно рассмотреть и проанализировать исследования роста атак социальной инженерии в 2024 году, связанных с улучшением технологий, развитием методов персонализации и увеличением количества данных, доступных в открытом доступе.

По части претекстинга, в общем, по данным IBM X-Force Threat Intelligence Index – ежегодного отчета, в котором анализируются изменения в киберугрозах, выявляются тенденции и предоставляются рекомендации для защиты организаций. В выпуске отчета за 2024 год выделяются три основные тенденции, одним из которых выступает резкое увеличение случаев злоупотребления действительными учетными записями, на которые рекомендуется обратить внимание специалистам по безопасности и руководителям информационной безопасности [8]. Данные реалии вызываются увеличением персонализированных атак благодаря активному анализу профилей жертв в социальных сетях и созданию сложных сценариев обмана. Из-за причин развития технологий дипфейков и автоматизированных голосовых помощников, что позволяет злоумышленникам подделывать голос и выдавать себя за доверенных лиц. Дипфейки для атак вишинга, созданные с помощью новейших технологий генеративного ИИ, создают новый уровень обмана. Они генерируют гиперреалистичные видео, аудио и текст, которые могут ввести в заблуждение даже самых внимательных людей, приводя к многомиллионным убыткам. По данным исследователей Accenture Cyber Intelligence (ACI), злоумышленники готовы платить до 20 000 долларов за минуту высококачественного дипфейкового видео. Более того, за первый квартал 2024 года объем покупок и продаж инструментов для создания дипфейков на форумах даркнета увеличился на 223% по сравнению с первым кварталом 2023 года. К примеру, в Гонконге банк потерял 25 миллионов долларов из-за сложной дипфейковой схемы. Злоумышленники

цифровым способом воссоздали главного технологического директора компании и других сотрудников на видеозвонке, давая инструкции о переводе денег. Коллеги, не подозревая об обмане, выполнили запрос [9].

Массовое использование мобильных устройств делает SMS-сообщения эффективным инструментом для обмана для проведения смишинга, где рассылаются сообщения о "блокировке аккаунта", содержащие вредоносные ссылки для сбора данных. Symantec Internet Security Threat Report сообщает, что количество нападении смишинга выросло до 30% в 2024 году, это на 5% больше, чем в 2023 году [10].

Согласно отчёту Kaspersky Security Bulletin за 2023 год, доля целевых фишинговых атак (списочный фишинг) увеличилась с 18% в 2023 году до 25% в 2024 году. Это связано с ростом числа атак на высокопоставленных сотрудников и организации с целью получения доступа к критически важным данным. Примером такой атаки являются письма, якобы отправленные от имени генерального директора компании, с просьбой предоставить пароли или осуществить денежные переводы [11].

Согласно Cisco Annual Cybersecurity Report, злоумышленники всё чаще используют комбинированные атаки, сочетая методы фишинга, вишинга и претекстинга для повышения эффективности своих действий. Это приводит к увеличению числа атак, при которых одновременно отправляются поддельные письма и совершаются звонки, чтобы усилить доверие жертвы. Доля таких атак возросла с 10% в 2023 году до 18% в 2024 году [12]. По Harvard Cybersecurity Analysis приманки в виде заражённых USB-накопителей или QR-кодов продолжают использоваться, особенно в местах с большим количеством людей. Пример: Оставленные USB-устройства с пометкой «Конфиденциально», которые жертвы подключают к своим устройствам. Тем самым, на основании вышеизученных данных, можем привести показательную сравнительную информацию между двумя последними годами на таблице 5 и рисунке 6.

Таблица 5. Динамика атак за 2023 и 2024

	Категория	2023 (%)	2024 (%)
1	Претекстинг	20	28
2	Вишинг	15	22
3	Смишинг	25	30
4	Целевой фишинг	18	25
5	Комбинированные атаки	10	18
6	Бэйтинг	12	15

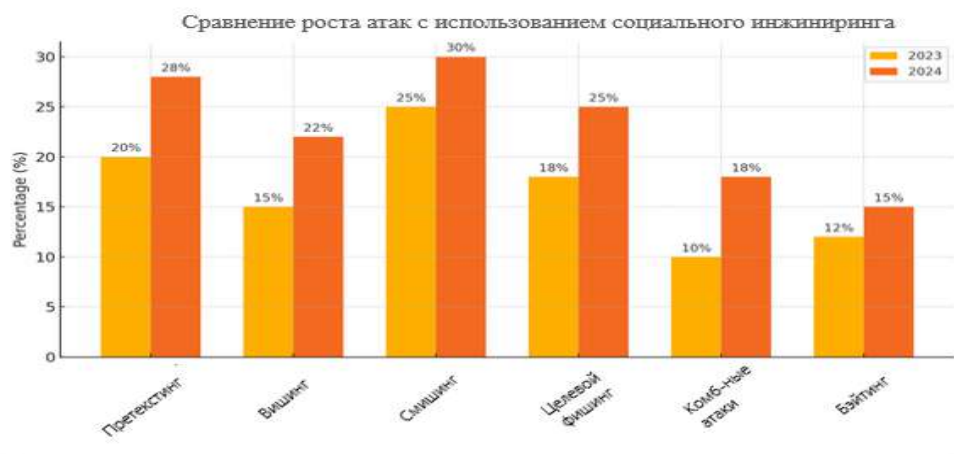


Рисунок 6. Наглядная динамика атак за 2023 и 2024

Итак, изучая все материалы по данной теме, сформулируем теоретические аспекты социального инжиниринга. Тем самым, понятие Социальный инжиниринг – это совокупность методов психологического манипулирования людьми с целью побуждения их к выполнению определённых действий или предоставлению конфиденциальной информации. Основной акцент в социальном инжиниринге делается на уязвимостях человеческого поведения, таких как доверчивость, страх, желание помочь или избежать конфликта. Выделим ключевые характеристики социального инжиниринга:

- Фокус на человеческий фактор. Злоумышленники обходят технические средства защиты, используя психологические уязвимости людей.
- Простота исполнения. Для осуществления атак часто не требуется сложных технических средств, достаточно знаний о психологии и навыков общения.
- Многообразие методов. Социальный инжиниринг включает в себя различные методы манипуляции, такие как фишинг, вишинг, смишинг, претекстинг и бейтинг.
- Использование доверия. Атаки строятся на доверии к злоумышленнику, который часто маскируется под авторитетную фигуру, коллегу или друга.
- Целевая направленность. Атаки часто нацелены на конкретных людей или группы, обладающие доступом к нужной злоумышленнику информации.

Основная задача социального инженера – «подобрать ключ» к каждому конкретному человеку и сыграть на его чувствах и эмоциях так, чтобы он забыл про осторожность и совершил необходимые злоумышленнику действия.

В методах манипуляции и психологических воздействий на пользователей социальные сети стали мощным инструментом для осуществления манипуляций и психологического воздействия, так как они предоставляют злоумышленникам доступ к большому количеству личной информации, взаимодействий и привычек пользователей.

Так в [13] автор полагает, что одной из основных криминологических детерминант телефонного мошенничества, совершаемого с использованием претекстинга, является информационная глобализация, способствующая распространению конфиденциальной информации в сети Интернет. Роль социальных сетей как платформы для реализации атак так важна, поскольку они объединяют миллиарды пользователей, создают благоприятные условия для распространения информации и обеспечивают злоумышленников инструментами для эффективного воздействия [14].

Автор рассматривает специфику методов социальной инженерии, обходящего особенности критического и аналитического мышления, используя только выявленную эмоциональную грань индивидуума [15].

Рассмотрим основные характеристики социальной инженерии:

- Социальные сети объединяют огромное количество пользователей, что делает их идеальной средой для злоумышленников. Для обоснования приведем, что в 2024 году аудитория социальных сетей насчитывала более 4,5 миллиардов человек. Такая концентрация пользователей создает большой потенциал для массовых атак, и характеризует первую характеристику - масштабную базу пользователей
- Социальные сети предоставляют злоумышленникам доступ к обширным данным пользователей, включая личные интересы, место работы, круг общения, а также контактную информацию, фото, видео, геолокацию. Тем самым подходим ко второй характерной черте, как легкий доступ к личным данным.
- Алгоритмы распространения контента социальных сетей способствуют быстрому распространению контента с высокой вовлеченностью. Важно понимать какие действия произведут зацепку внимания пользователя, то есть используются эмоционально заряженные сообщения, чтобы вызвать у пользователей желание делиться ими. К слову ложные новости, распространяются через репосты и лайки, привлекая внимание человека
- Социальные сети, как среда, имеющая несколько типов правил информационной безопасности, по признанию пользователей воспринимаются безопасной средой для общения,

что снижает их бдительность. Объясняется это легко, склонностью доверять сообщениям от "друзей" или коллег, не проверяя их подлинность. Из – за «доверия» всегда создается ложное чувство безопасности.

- Социальные сети предоставляют мощные инструменты таргетинга, которые могут быть использованы не только рекламодателями, но и злоумышленниками. Примером может служить, что полезные функции таргетинга позволяют злоумышленникам нацеливаться на определённые группы, например, сотрудников компаний или пользователей с определёнными интересами.

- Социальные сети позволяют злоумышленникам скрывать свою личность через фейковые аккаунты, что понимается как шестой характеристикой «поддержкой анонимности». Это усложняет процесс обнаружения и предотвращения атак. То есть создание поддельного профиля сотрудника отдела кадров для выманивания резюме и личных данных.

Так как социальные сети свободная площадка для рассылки всякого рода ссылок и программного обеспечения, многие пользователи переходят по ссылкам, не задумываясь об их безопасности. Принимая информацию от друга со ссылкой на якобы интересное видео, можно заразить свое устройство. Это межа распространения вредоносных ссылок и программного обеспечения.

Полезная фишка социальных сетей применение механизированных помощников ботов кроет в себе одновременно отрицательную линию, такую как возможность проводить атаки в больших масштабах с минимальными затратами. Чат-боты в социальных сетях могут быть использованы для автоматизированного вымогательства информации или распространения фишинговых ссылок. К примеру, бот отправляет сообщения от имени службы поддержки, запрашивая данные для восстановления аккаунта.

Часто социальные сети имеют баги-ошибки в своих интерфейсах программирования (API), которые могут использоваться злоумышленниками. Эти уязвимости могут дать доступ к данным пользователей или позволить совершать действия от их имени. Использование уязвимости в виде утечки данных через API может привести к сбору паролей или другой конфиденциальной информации.

Типология вредоносной информации в социальных сетях делится на несколько основных категорий в зависимости от целей и методов её создания и распространения:

Самым особенным типом выступает ложная информация (Fake News), представляемая как новость с целью ввести аудиторию в заблуждение. Примечательно, что они создаются для провокации, манипуляции эмоциями или получения выгоды, и зачастую имеют большие цели: формирование общественного мнения, дестабилизация ситуации в обществе или организации. Часто выглядят как реальные новости, что делает их более убедительными. Поддельная новость о введении новых налогов, которая провоцирует общественное недовольство, как образец.

Еще одной формой или типом рассматривается дезинформация (Disinformation) – это намеренное распространение ложной или искажённой информации для введения в заблуждение. Намерениями выступают политическое давление, финансовые выгоды, подрыв доверия к организациям или лицам. Отмечается распространением целенаправленно, часто подкрепляется манипулятивными данными, например, сфабрикованными фотографиями или видео. Пример: сообщения о якобы обострении военного конфликта, чтобы посеять панику.

Третьим типом служит Пропаганда – это информация, распространяемая для формирования определённого взгляда или поведения в интересах отдельной группы или государства. Особенностью выглядит акцент на эмоциональной манипуляции и используется в политических и идеологических целях. Пример: Сообщения, усиливающие враждебность между различными социальными или этническими группами. Цели: Контроль общественного мнения. Поддержка определённой идеологии или политики.

Разновидность в виде клеветы (Defamation) такая же ложная информация, распространяемая для дискредитации репутации человека или организации. Специфично

чаще направлена на конкретные личности или компании, и может включать ложные обвинения, слухи или фабрикованные доказательства. Пример: Публикация ложных обвинений в коррупции против политического деятеля. Замыслом представляется подрыв доверия, подготовка почвы для конкурентной борьбы. Массовое распространение ненужного или раздражающего контента является Спамом, а кликбейт – это заголовки или изображения, созданные для привлечения внимания с целью повышения трафика. Манипуляция фактами заключается в изменении контекста или акцентов фактической информации, чтобы создать ложное впечатление. Использование реальной информации, но подача в искаженном виде, вместе с этим часто применяются обрезанные цитаты, вырванные из контекста примечательно уникальны. Ложная информация, вредоносные розыгрыши (Hoaxes), распространяемая в шуточной или провокационной формы направлены на вызов массовой реакции, а именно дестабилизация, апробация социального эксперимента. Имеют короткий срок действия, но могут причинить значительный ущерб. Как способ – это сообщения о взрыве в городе, которые провоцируют панику.

Результаты исследования

В результате исследования можно ранжировать прямые риски, которые используются в социальных сетях.

Создание фейковых аккаунтов и выдача себя за другое лицо, согласно итальянским экспертам по информационной безопасности, в социальной сети Instagram составляет порядка 40%, а в Facebook насчитали около 25 тыс. таких аккаунтов, параллельно в TikTok около 20-30 тысяч.

Риски:

- *угрозы репутации:*

- мошенники могут приобретать аккаунты для имитации голоса бренда;
- возможно создание фейковых представительств компании;
- риск распространения дезинформации от имени бренда.

- *искажение метрик:*

- накрутка ботами искажает реальные показатели эффективности – часто применяется при отчетности подрядчиками или сотрудниками;

- *риск принятия финансовых рисков:*

- неверных маркетинговых решений.
- потенциальные убытки от репутационного ущерба;
- затраты на борьбу с последствиями мошенничества;
- необходимость дополнительных инвестиций в безопасность.

В 2023 году видеоконтент стал неотъемлемой частью крупных сообществ, особенно в формате коротких видео. Этот тренд сохраняется и в 2024 году, что свидетельствует о повышенном интересе аудитории к динамичному и сенсационному контенту. К примеру, в Тульской области РФ с 2023 по 2024 год количество фейков увеличилось на 47%, а общее число просмотров фейковых новостей превысило 13 миллионов, из которых 4 миллиона – уникальные просмотры. Однако, наряду с ростом популярности сенсационного контента, увеличивается и распространение фейковых новостей. Возможные риски:

- Этические и правовые последствия: судебные иски за клевету или нарушение авторских прав.

- Психологическое воздействие: манипулировать множеством чувств пользователя, вызывать стресс, тревогу или даже панические атаки.

- Зависимость от сенсации: Постоянное потребление сенсационного контента может привести к привыканию, когда пользователи начинают искать все более экстремальные материалы, что затрудняет восприятие менее «ярких» и более нейтральных новостей.

Атаки "Лайки" или использование инструментов социальных сетей несут риски:

- Потеря конфиденциальности;

- Автоматизированные системы могут создавать фальшивые лайки и репосты;
- Мобилизация агрессивных групп.

Риски, которые несет претекстинг в социальных сетях:

- Потеря доступа к аккаунтам;
- Риск использования корпоративных аккаунтов;
- Использование карьерных амбиций и доверия к профессиональным платформам.

Роль кибергигиены и обучения пользователей. Чтобы изучить важность образования в области кибергигиены, где существуют различные "человеческие факторы", которые могут увеличивать или уменьшать вероятность стать жертвой кибератаки, взлома или утечки данных (а иногда и повторно), подчеркнем преимущества ответственного и качественного обучения в области безопасности и защиты персональных данных. Успешные методы и стратегии обучения кибергигине включают участие ответственных государственных структур, образовательных учреждений, неправительственных организаций и всего общества [16].

Дискуссия

Кибергигиена, безусловно, важна для обеспечения кибербезопасности, но она не обязательно является ее синонимом. В то время как кибербезопасность представляет собой объективное измерение мер, принимаемых для поддержания безопасности и усиления защиты от кибератак, кибергигиена связана с знаниями и практиками интернет-безопасности, направленными на дальнейшее улучшение кибербезопасности. Выводом улучшения кибербезопасности, является необходимость улучшения киберобразования [17]. Учеными Pajaziti, A., Basholli, F. и Zhaveli, Y. приведена таблица в их статье, где можно увидеть образовательный разрыв в области кибербезопасности и необходимость обязательного обучения кибергигине для всех, включая профессии, использующие информационные технологии в своей работе [18]. Опираясь на все изученные данные сформирован mind map по угрозам и мерам по их минимизации (рисунок 7).

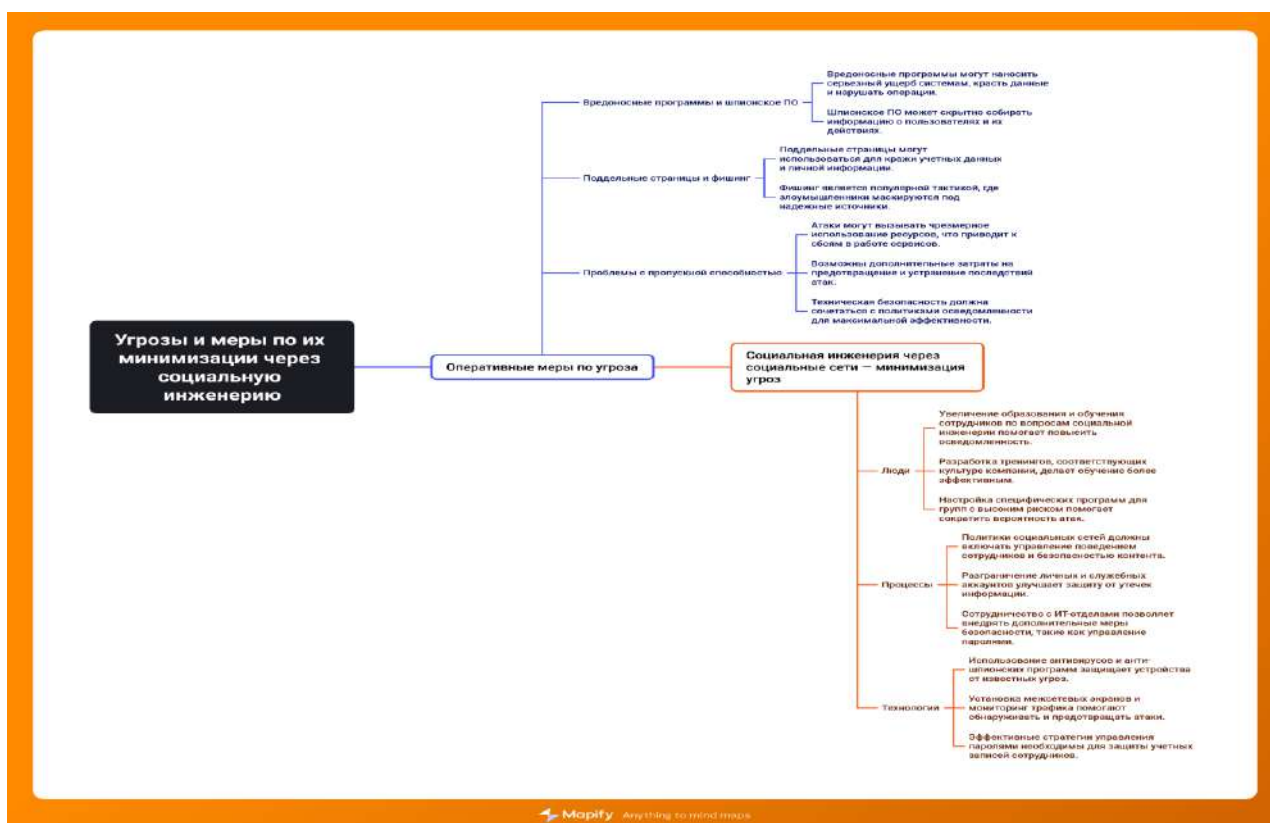


Рисунок 7. Mind map на основе изученных материалов

Заключение

Выводом данной работы является то, что основным способом защиты от атак с использованием техник социальной инженерии является повышение осведомленности пользователей. Только личная бдительность и критический подход позволит распознать угрозу социальной инженерии и признаки манипуляции пользовательскими действиями.

Если речь идет о компании, то все сотрудники должны быть предупреждены об опасности раскрытия персональной информации и конфиденциальной информации компании, а также о способах предотвращения утечки данных из – за лжеруководства [19]. Подтверждают вышесказанное, пришедшие к таким выводам авторы Kaouthar Chetoui, Birom Bah, Abderrahim Ouali Alami, Ayoub Bahnasse в своей статье, делая обзор на атаки социальной инженерии в социальных сетях [20]. Лучше всего это реализовать с помощью разработки четких и ясных инструкций, в которых будет прописано, какую информацию можно предоставлять другим лицам (посетителям, коллегам, в службу технической поддержки). Это также соответствует политике информационной безопасности. Следуя вышеуказанным данным, четко вырабатывается разграничение правил информационной безопасности, которые продемонстрированы на рисунке 8.

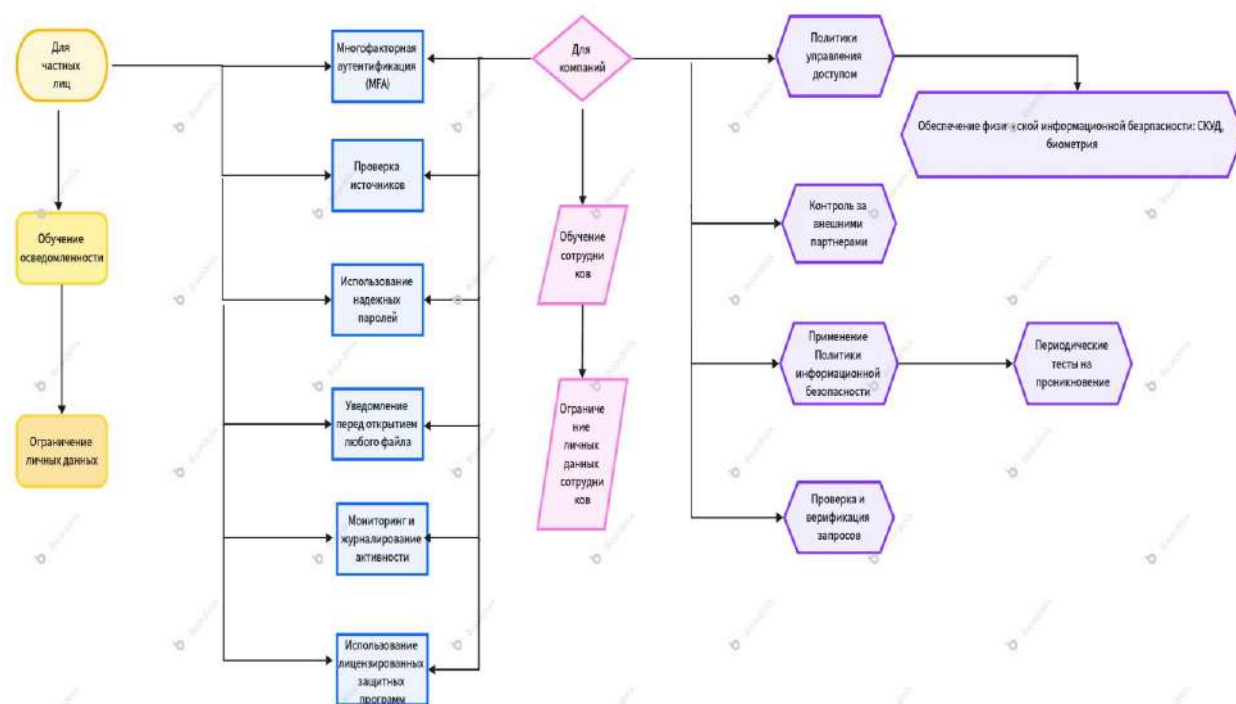


Рисунок 8. Проанализированная схема рекомендаций

Как показано на рисунке 8, эффективная защита от подобных атак требует комплексного подхода, включающего меры, как для частных лиц, так и для организаций.

Итоговым заключением для всех частных лиц в совокупности требующих соблюдение нескольких отличительных пунктов в своих действиях служит достойным воспрепятствованием вредоносным аспектам, а именно:

- увеличением осведомленности: обучение базовым принципам безопасности в интернете. Например, распознавание фишинговых писем и подозрительных звонков. Важно не раскрывать личную информацию незнакомцам;

- применением многофакторной аутентификации (MFA): включение двухфакторной аутентификации на аккаунтах, где это возможно (например, в банках, соцсетях, электронной почте). Это создаст дополнительный слой защиты, даже если злоумышленник узнает логин и пароль;

- сохранение бдительности в соцсетях: минимизация раскрытия личной информации в социальных сетях, особенно важных данных, которые могут помочь злоумышленникам создать убедительные фальшивые истории (например, даты рождения, адреса, место работы);
- контролирование источников: всегда проверяйте источники звонков, сообщений и писем. Никогда не доверяйте непроверенной информации, даже если она кажется легитимной (например, просьбы о помощи или срочные запросы);
- использование надежных паролей и их периодичное изменение: использование уникальных, сложных паролей для разных аккаунтов. Это поможет минимизировать риски, если один из аккаунтов будет скомпрометирован;
- внимательность к запросам: если кто-то неожиданно просит личную информацию или деньги, всегда уточняйте у них через независимый канал связи.

Касательно компаний, где варьируется количество физических лиц необходимо применить защиту двух уровней: защита персонального лица и защита компаний в целом с сотрудниками.

Стандартно начинается все с обучения и переобучения сотрудников. Регулярное обучение персонала по безопасности, включая тренировки по распознаванию фишинга, вишинга, смишинга и других типов атак. Важно, чтобы каждый сотрудник понимал угрозы и знал, как реагировать на них. Здесь же стоит соблюсти ограничение личных данных сотрудников. В данном направлении разрабатываются политики по минимизации распространения личной информации сотрудников. Использование минимального набора данных в корпоративных системах, а также ограничение доступа к персональным данным, которые могут быть использованы для манипуляций. Переходя к целому, устанавливаются политики управления доступом. Применение принципа наименьших привилегий: сотрудники должны иметь доступ только к тем данным и системам, которые необходимы для их работы. Это ограничит возможный ущерб от социальной инженерии. Также на разных ступенях настраивать многофакторную аутентификацию (MFA). Настройка многофакторной аутентификации для всех критичных систем, включая доступ к корпоративной сети, данным и финансовым системам. Данная работа противодействует замыслам злоумышленникам. В рабочих средах производить проверку и верификацию запросов, как от сотрудников, так и от программного обеспечения. Установить строгие процедуры для верификации запросов на переводы средств, изменения в системах или доступах. Например, подтверждение таких запросов через несколько каналов связи.

Не обойдется и без большого пентестинга. Это проведение периодических тестов на проникновение. Автоматизированно настроенное проведение симуляций фишинговых атак и других типов социальных инжиниринговых атак, чтобы оценить уровень готовности сотрудников и проверить защитные меры.

Постоянный мониторинг и журналирование активности работы, как персонального места, так и систем в сумме. Настройка систем мониторинга для отслеживания подозрительных действий в корпоративной сети. Это может помочь быстро обнаружить попытки социального инжиниринга и предотвратить их последствия. Во избежание работы инсайдеров осуществлять контроль за внешними партнерами. А именно усиление мер безопасности при работе с внешними подрядчиками и партнерами. Важно контролировать, что их действия не ставят под угрозу безопасность компании (например, предоставление доступа к корпоративной информации).

Таким образом, противодействие угрозам социального инжиниринга возможно только при системном подходе и постоянном повышении уровня киберграмотности пользователей. Совмещение технологических и образовательных мер позволит создать надежную систему защиты, как для отдельных пользователей, так и для крупных организаций.

- [1] Янгаева М.О. Социальная инженерия как способ совершения киберпреступлений// Вестник Сибирского юридического института МВД России – 2021 –№ 1 (42) – с.132 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialnaya-inzheneriya-kak-sposob-soversheniya-kiberprestupleniy/viewer> :
- [2] Salahdine F., Kaabouch N. (2019) Social Engineering Attacks: A survey] Future Internet 11,no.4:89. <https://doi.org/10.3390/fi11040089>
- [3] Kemp S. Digital 2024: Global overview report//Datareportal [Электронный ресурс]–2024. – URL:<https://datareportal.com/reports/digital-2024-global-overview-report> (дата обращения 09.01.2025)
- [4] Актуальные киберугрозы: III квартал 2023 года//Positive Technology [Электронный ресурс]– 2023. – URL:<https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2023-q3/> (дата обращения 11.01.2025)
- [5] Data Breach Investigations Report//Verizon [Электронный ресурс] – 2023. – URL: <https://www.verizon.com/business/resources/T8f0/reports/2023-data-breach-investigations-report-dbir.pdf> (датаобращения 12.01.2025)
- [6] Фишинги, дипфейки и Qr – код: какие схемы распространены среди интернет – мошенников// Fingramota Online[Электронный ресурс]–2024. – URL: <https://online.fingramota.kz/ru/news/view/7746> (дата обращения 12.01.2025)
- [7] В 2024 году каждый второй пользователь в Казахстане столкнулся с телефонным мошенничеством//Profit [Электронный ресурс]–2024. – URL:<https://profit.kz/news/68517/V-2024-godu-kazhdij-vtoroj-polzovatel-v-Kazahstane-stolknulsya-s-telefonnim-moshennichestvom> (дата обращения 12.01.2025)
- [8] Henderson Ch. X-Force Threat Intelligence Index 2024 reveals stolen credentials as top risk, with AI attacks on the horizon// IBM [Электронный ресурс]– 2024. – URL: <https://www.ibm.com/think/x-force/2024-x-force-threat-intelligence-index> (дата обращения 13.01.2025)
- [9] Beyond the illusion-unmasking the real threats of deepfakes// Accenture [Электронный ресурс]–2024. – URL: <https://www.accenture.com/us-en/blogs/security/beyond-illusion-unmasking-real-threats-deepfakes> (датаобращения 13.01.2025)
- [10] ISTR 24: Symantec's Annual Threat Report Reveals More Ambitious and Destructive Attacks [Электронный ресурс]–2024. – URL:<https://www.security.com/threat-intelligence/istr-24-cyber-security-threat-landscape> (дата обращения 13.01.2025)
- [11] Атаки через веб-ресурсы//Kaspersky Security Bulletin [Электронный ресурс]–2023. – URL:https://media.kasperskycontenthub.com/wp-content/uploads/sites/58/2023/11/28132907/KSB_statistics_2023_ru.pdf (дата обращения 15.01.2025)
- [12] Cisco Cyber Threat Trends Report // Cisco [Электронный ресурс] – 2024. – URL: https://www.cisco.com/c/en/us/products/security/cyber-threat-trends-report.html?utm_medium=web-referral&utm_source=cisco&utm_campaign=CSA-FY24-Q4-Content-Ebook-Cyber-Threat-Trends-Report&utm_term=pgm (дата обращения 16.01.2025)
- [13] Зотина Е.В. Криминологические детерминанты телефонного мошенничества, совершаемого с использованием приемов социальной инженерии // Ученые записки Казанского юридического института МВД России. 2023. Т. 8. № 1 (15). С. 31 – 35. <https://cyberleninka.ru/article/n/kriminologicheskie-determinanty-telefonnogo-moshennichestva-sovershaemogo-s-ispolzovaniem-priemov-sotsialnoy-inzhenerii/viewer>
- [14] Дьяков Н.В. Применение методов социальной инженерии в социальных сетях// Общество. 2020. № 2(17). URL:<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44033034>
- [15] Старостенко Н.И. Социальная инженерия как объект криминалистического изучения // Вестник Казанского юридического института МВД России. 2021. Т. 12, № 1. С. 109-114. <https://doi:10.37973/KUI.2021.45.18.017>
- [16] Basholli, A., Mema, B., Basholli, F., Hyka, D., &Salillari, D.(2023). The role of education in cyber hygiene.// Advanced engineering Days, 7, 178-181 URL: https://www.researchgate.net/publication/373077128_The_role_of_education_in_cyber_hygiene
- [17] Prummer J., T. van Steen, B.van den Berg. A Systematic Review of cybersecurity training methods// Computers and Security 2024, Vol.136. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103585>
- [18] Pajaziti, A., Basholli, F., &Zhaveli, Y.(2023) Identification and classification of fruits through robotic system by using artificial intelligence// Engineering Applications, 2(2), 154-163. URL:

https://www.researchgate.net/publication/373140125_Identification_and_classification_of_fruits_through_robotic_system_by_using_artificial_intelligence

[19] Головин А.Ю., Головина Е.В. Социальная инженерия в механизме преступной деятельности в сфере информационно телекоммуникационных технологий. //Известия ТулГУ. Экономическиеиюридическиенауки. 2021. №2 с. 3-13 <https://doi:10.24412/2071-6184-2021-2-3-13>

[20] Chetoui K., Bah B., Alami A., Bahnasse A. Overview of Social Engineering Attacks on Social Networks //Procedia Computer Science, Vol.198, 2022, p.656–661. <https://doi:10.1016/j.procs.2021.12.302>

References

[1] Yangayeva M.O. (2021) Social'nayainzheneriyakaksposobsoversheniyakiberprestuplenii [Social engineering as a way of committing cubercrimes]. VestnikSibirskogojuridicheskogoinstituta MVD Rossii. № 1 (42), 132. URL <https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialnaya-inzheneriya-kak-sposob-soversheniya-kiberprestupleniy/viewer> (In Russian)

[2] Salahdine F., Kaabouch N. (2019) Social Engineering Attacks: A survey// Future Internet 11, no.4:89. <https://doi.org/10.3390/fi11040089> (In English)

[3] Kemp S. Digital 2024: Global overview report//Datareportal [Electronic resource] (2024) URL:<https://datareportal.com/reports/digital-2024-global-overview-report> (Accessed: 09.01.2025)

[4] Aktual'nyekiberugrozy: III kvartal 2023 goda [Current Cyber Threats: Q3 2023]. Positive Technology [Electronic resource]–2023. – URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2023-q3/> (Accessed: 11.01.2025) (In Russian)

[5] Data Breach Investigations Report//Verizon [Electronic resource] 2023. URL:<https://www.verizon.com/business/resources/T8f0/reports/2023-data-breach-investigations-report-dbir.pdf> (Accessed: 12.01.2025)

[6] Fishingi, dipfejkiiQr – kod: kakieshemyrasprastranenyisredi internet – moshennikov [Phishing, deepfakes and Qr-codes: what schemes are common among online scammers]. Fingramota Online [Electronic resource]. 2024. URL:<https://online.fingramota.kz/ru/news/view/7746> (Accessed: 12.01.2025) (In Russian)

[7] V 2024 godukazhdijvtorojpol'zovatel' v Kazahstanestolknulsja s telefonnymmoshennichestvom//Profit [Electronic resource]. 2024. URL: <https://profit.kz/news/68517/V-2024-godu-kazhdij-vtoroj-polzovatel-v-Kazahstane-stolknulsya-s-telefonnim-moshennichestvom> (Accessed: 12.01.2025) (In Russian)

[8] Henderson Ch. X-Force Threat Intelligence Index 2024 reveals stolen credentials as top risk, with AI attacks on the horizon// IBM [Electronic resource]. 2024. URL: <https://www.ibm.com/think/x-force/2024-x-force-threat-intelligence-index> (Accessed: 13.01.2025)

[9] Beyond the illusion-unmasking the real threats of deepfakes// Accenture [Electronic resource]–2024. URL: <https://www.accenture.com/us-en/blogs/security/beyond-illusion-unmasking-real-threats-deepfakes> (Accessed: 13.01.2025)

[10] ISTR 24: Symantec's Annual Threat Report Reveals More Ambitious and Destructive Attacks [Electronic resource]. 2024. URL:<https://www.security.com/threat-intelligence/istr-24-cyber-security-threat-landscape> (Accessed: 13.01.2025)

[11] Atakicherezveb-resursy [Attacks via web resources]. Kaspersky Security Bulletin [Electronic resource]. 2023. URL: https://media.kasperskycontenthub.com/wp-content/uploads/sites/58/2023/11/28132907/KSB_statistics_2023_ru.pdf (Accessed: 15.01.2025) (In Russian)

[12] Cisco Cyber Threat Trends Report. Cisco [Electronic resource]. 2024. URL: https://www.cisco.com/c/en/us/products/security/cyber-threat-trends-report.html?utm_medium=web-referral&utm_source=cisco&utm_campaign=CSA-FY24-Q4-Content-Ebook-Cyber-Threat-Trends-Report&utm_term=pgm (Accessed: 16.01.2025)

[13] Zotina E.V. (2023) Kriminologicheskie determinant telefonnogo moshennichestva, sovershaemogo s ispol'zovaniempriemovsocial'nojinzhenierii [Criminological determinants of telephone fraud committed with the use social engineering]. Uchenyiezapiski Kazanskogo juridicheskogo institute MVD Rossii. V. 8. No 1 (15). 31 – 35. <https://doi:10.24412/2587-0661-2023-1-31-35> (In Russian)

[14] D'jakov N.V. (2020) Primenenie metodov social'noj inzhenerii v social'nyhsetiah [Application of social engineering methods in social networks]. Obshestvo. № 2(17). URL:<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44033034> (In Russian)

[15] Starostenko N.I. (2021) Social'naja inzhenerija kak ob'ekt kriminalisticheskogo izuchenija [Social engineering as an object of forensic study]. Vestnik Kazanskogo juridicheskogo institute MVD Rossii. V. 12, No 1. 109-114. (In Russian) <https://doi:10.37973/KUI.2021.45.18.017> .

- [16] Basholli, A., Mema, B., Basholli, F., Hyka, D., & Salillari, D. (2023). The role of education in cyber hygiene. *Advanced engineering Days*, 7, 178-181. <https://www.researchgate.net/publication/373077128> *The role of education in cyber hygiene* (In English)
- [17] Prummer J., T. van Steen, B. van den Berg. (2024) A Systematic Review of cybersecurity training methods// *Computers and Security* 2024, Vol.136. (In English) <https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103585>
- [18] Pajaziti, A., Basholli, F., & Zhaveli, Y. (2023). Identification and classification of fruits through robotic system by using artificial intelligence. *Engineering Applications*, 2(2), 154-163. URL: <https://www.researchgate.net/publication/373140125> *Identification and classification of fruits through robotic system by using artificial intelligence* (In English)
- [19] Golovin A. Ju., Golovina E.V. (2021) Social'naja inzhenerija v mehanizme prestupnoj dejatel'nosti v sfere informacionno - telekommunikacionnyh tehnologii [Social engineering in the mechanism of criminal activity in the field of information and telecommunications technologies]// *Izvestija TulGU. Jekonomicheskiei juridicheskie nauki*, no. 2, 3-13 (In Russian) <https://doi:10.24412/2071-6184-2021-2-3-13>
- [20] Chetoui K., Bah B., Alami A., Bahnasse A. (2022) Overview of Social Engineering Attacks on Social Networks// *Procedia Computer Science*, Vol.198, 656–661. (In English) <https://doi:10.1016/j.procs.2021.12.302>

T. Sembayev¹, D. Akbarov^{1*}¹Astana IT University, Astana, Kazakhstan*e-mail: 242672@astanait.edu.kz

RECENT ADVANCEMENTS IN SKELETON-BASED SIGN LANGUAGE RECOGNITION

Abstract

Skeleton-based sign language recognition (SLR) encodes body–hand keypoints rather than raw appearance, offering privacy and computational efficiency. This PRISMA-guided review synthesizes 19 studies (2015–2024) and contributes (i) a five-axis taxonomy of tasks, inputs/encodings, model families, evaluation protocols, and dataset anchors; (ii) a systematic table of study characteristics; and (iii) a quantitative meta-analysis that aggregates performance by model family. On curated isolated benchmarks, Top-1 accuracy frequently lies in the 93–98% range (e.g., CSL-500, AUTSL, LSM), whereas large-vocabulary WLASL subsets depress pose-only accuracy ($\approx 63\%$ on WLASL-100 and $\approx 24\%$ on WLASL-2000). For continuous/online SLR, the single skeleton-based study with streaming decoding reports word-error rates $\approx 11\text{--}19\%$ (offline $\approx 9.5\%$). Across families, attention-augmented multi-stream GCNs and hybrid GCN+general-DNN models are consistently strong on curated isolated sets; TSSI+CNN is a portable alternative when holistic landmarks are available; and explicit 3D body–hand–face reconstruction yields stable gains on controlled subsets. Performance variability is driven primarily by vocabulary scale, articulator coverage, and whether skeletons are provided or inferred. We conclude that skeleton-only pipelines are mature for isolated recognition on curated corpora, while robust continuous recognition and large-vocabulary generalization will require broader multimodal datasets, standardized reporting, and tighter integration of non-manual articulators, with appearance+pose fusion likely beneficial in practice.

Keywords: skeleton-based sign language recognition, dynamic and static signs, graph convolutional networks, spatiotemporal feature extraction, multi-stream neural networks, attention-enhanced models.

Т.М. Сембаев¹, Д.Р. Акбаров¹¹Astana IT University, Астана қ., ҚазақстанСКЕЛЕТТІК ДЕРЕКТЕР НЕГІЗІНДЕГІ ЫМ-ИШАРА ТІЛІН ТАЛУДАҒЫ ҚАЗІРГІ
ЗАМАНҒЫ ЖЕТІСТІКТЕР

Аңдатпа

Қаңқалық нүктелерге негізделген ым тілді тану бейненің толық көрінісін емес, дене мен қолдың кілттік нүктелерін кодтайды, бұл құпиялылықты сақтауға және есептеу шығынын азайтуға мүмкіндік береді. PRISMA қағидаттарына сүйенген осы шолуда 2015–2024 жылдар аралығындағы 19 зерттеу біріктіріліп, (i) бес осьтен тұратын таксономия (міндеттер, кірістер/кодтаулар, модельдер отбасылары, бағалау протоколдары және деректер жиынтықтарының «якорлары»), (ii) зерттеулер сипаттамаларының жүйелі кестесі және (iii) модельдер отбасылары бойынша өнімділікті агрегаттайтын сандық мета-талдау ұсынылады. Курирленген окшауланған эталондарда Top-1 дәлдігі жиі 93–98% диапазонында болады (мыс., CSL-500, AUTSL, LSM), ал сөздігі үлкен WLASL ішкі жиынтықтарында тек позаға негізделген дәлдік төмендейді (шамамен 63% – WLASL-100, шамамен 24% – WLASL-2000). Үздіксіз/онлайн SLR үшін ағындық декодтауы бар жалғыз қаңқалық зерттеу сөздік қателік көрсеткішін (WER) $\approx 11\text{--}19\%$ (офлайн $\approx 9,5\%$) деп хабарлайды. Модельдер отбасылары арасында назар механизмдерімен күшейтілген көпарналы GCN-дер және GCN+жалпы DNN гибридтері курирленген окшауланған жиынтықтарда тұрақты жоғары нәтиже көрсетеді; TSSI+CNN кешенді (дене–қол–бет) нүктелер қолжетімді болғанда портативті балама болып табылады; ал дене–қол–бет бойынша айқын 3D-қалпына келтіру бақыланатын жиынтықтарда тұрақты ұтыс береді. Өнімділік ауытқуы негізінен сөздік көлеміне, артикуляторларды қамту деңгейіне және скелеттердің датасетте дайын берілгеніне не кейіннен бағаланғанына тәуелді. Біз қаңқалық қана пайплайндардың курирленген корпустардағы окшауланған тану үшін жеткілікті түрде жетілгенін, ал берік үздіксіз тану мен үлкен сөздіктерге жалпылау үшін ауқымды мультимодальды деректер, стандартталған есеп беру және

беймануалды артикуляторларды тығыз ықпалдастыру қажет болатынын, практикада келбет+поза біріктіруі пайдалы болуы мүмкін екенін қорытындылаймыз.

Түйін сөздер: қаңқа деректері негізіндегі қол ым тілін тану, динамикалық және статикалық ым-ишаралар, графтық конволюциялық желілер, кеңістік-уақыттық ерекшеліктерді алу, көпбағынды нейрондық желілер, назар аудару механизмі бар модельдер.

Т.М. Сембаев¹, Д.Р. Акбаров¹

¹Astana IT University, г. Астана, Казахстан

СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В РАСПОЗНАВАНИИ ЖЕСТОВОГО ЯЗЫКА НА СКЕЛЕТНЫХ ДАННЫХ

Аннотация

Распознавание жестового языка на основе скелетных ключевых точек кодирует координаты тела и рук вместо сырого визуального вида, обеспечивая приватность и вычислительную эффективность. Настоящий обзор, выполненный по рекомендациям PRISMA, синтезирует 19 исследований (2015–2024) и вносит три вклада: (i) таксономию по пяти осям – задачи, входы/кодировки, семейства моделей, протоколы оценки и опорные датасеты; (ii) систематическую таблицу характеристик исследований; и (iii) количественный мета-анализ с агрегированием качества по семействам моделей. На курируемых наборах для изолированного распознавания точность Top-1 часто лежит в диапазоне 93–98% (например, CSL-500, AUTSL, LSM), тогда как на крупновокабулярных подмножествах WLASL точность «только поза» снижается (≈63% на WLASL-100 и ≈24% на WLASL-2000). Для непрерывного/онлайн-распознавания единственное скелет-ориентированное исследование со стриминговым декодированием сообщает WER ≈11–19% (офлайн ≈9,5%). По семействам моделей стабильно сильны многопоточные GCN с механизмами внимания и гибриды GCN+общие DNN на курируемых изолированных наборах; TSSI+CNN выступает переносимой альтернативой при наличии полнотелых (тело–руки–лицо) ориентиров; явная 3D-реконструкция тела–рук–лица даёт устойчивые выигрыши на контролируемых поднаборах. Вариабельность результатов в первую очередь обусловлена масштабом словаря, охватом артикуляторов и тем, предоставляются ли скелеты датасетом или извлекаются постфактум. Мы заключаем, что «скелетные» пайплайны зрелы для изолированного распознавания на курируемых корпусах, тогда как надёжное непрерывное распознавание и генерализация на большие словари потребуют более широких мультимодальных датасетов, стандартизированной отчётности и более тесной интеграции немануальных артикуляторов; на практике вероятно полезно сочетание признаков внешнего вида и позы.

Ключевые слова: распознавание жестового языка на основе скелетных данных, динамические и статические знаки, свёрточные графовые сети, извлечение пространственно-временных признаков, многопоточные нейронные сети, модели с механизмом внимания.

Introduction

Sign languages are full-fledged natural languages used by deaf and hard-of-hearing communities, combining manual articulations with non-manual signals (facial expressions, head and body motion) to convey rich linguistic structure [1]. Conventional sign language recognition (SLR) pipelines that operate on raw video or wearable sensors have achieved strong accuracy, yet they can be computationally demanding, sensitive to illumination and background variability, and reliant on intrusive hardware [2,3].

Skeleton-based SLR has emerged as a pragmatic alternative. By extracting body–hand (and, when available, facial) keypoints from RGB video, these methods reduce computational load, improve privacy by discarding appearance, and decouple recognition from signer-specific visual attributes [4,5]. Nonetheless, learning robust spatiotemporal representations that jointly handle static handshapes and dynamic motion remains challenging, particularly when landmarks are noisy or incomplete [6].

Two structural gaps motivate this review. First, the field lacks large, consistently annotated skeletal corpora with broad lexical coverage and diverse signers; fine-grained non-manuals (e.g., mouthings, eyebrow and head cues) are only partially captured in current pose streams [7-10]. Second, most work optimizes isolated-sign recognition, while generalization across signers, languages, domains, and the

demands of continuous/online decoding are less explored and less standardized [11,12]. Progress likely depends on architectures that fuse local joint relations with long-range temporal dependencies – e.g., graph convolution, attention mechanisms, and hybrid designs, without prohibitive computational costs [13-15].

This review addresses the question: What are the current advancements, methodologies, datasets, and challenges in skeleton-based SLR, and how effectively do existing approaches extract and utilize spatiotemporal features for static versus dynamic signs? To answer it, we (i) introduce a five-axis taxonomy that organizes the design space across tasks, inputs/encodings, model families, evaluation protocols, and dataset anchors; (ii) compile a systematic table of study characteristics for 19 skeleton-based SLR works with harmonized descriptors (architecture, dataset, pose source and articulators, streams/encodings, metrics); and (iii) conduct a quantitative meta-analysis that aggregates Top-1 accuracy for isolated SLR by model family and summarizes WER for continuous/online SLR. Together, these components provide a coherent scaffold for interpreting performance variability across datasets and model families and for comparing methods under consistent assumptions.

Research methodology

We conducted this systematic literature review in accordance with the PRISMA 2020 guidelines to identify, select, and critically assess studies on skeleton-based SLR published between January 2015 and December 2024. Our principal aim was to synthesize the state of the art in learning-based approaches that leverage skeletal keypoints – either two- or three-dimensional, as inputs to machine- or deep-learning models. Below we describe in detail our search strategy, screening and eligibility procedures, data extraction items, and the outcomes of our selection process are illustrated in Figure 1.

Resources and study selection.

On 15 February 2025, we performed a comprehensive electronic search of the Scopus database. We chose Scopus for its extensive coverage of computer vision, machine learning, and engineering literature. Our search string combined terms for sign language recognition and skeleton modalities with learning-based model identifiers, as follows: (*“sign language recognition” OR “SLR”*) AND (*skeleton OR pose OR keypoint*) AND (*“deep learning” OR “graph convolution” OR CNN OR RNN*)

The initial database search yielded 207 records, as depicted in the ‘Identification’ phase of Figure 1. Two reviewers then independently removed 27 duplicate entries, yielding 180 unique citations. We next employed an automated screening script to flag 10 clearly irrelevant records – those focused on non-sign-language gestures, purely hardware descriptions without recognition experiments, or non-learning-based classification, which were eliminated before manual review. This left 170 abstracts for human screening.

Data collection and eligibility criteria

Each of the remaining 170 abstracts was independently assessed by two reviewers against our inclusion criteria:

1. The study must address sign language recognition (isolated-word or continuous sequences).
2. Input data must include skeleton or pose keypoints (2D or 3D).
3. A machine- or deep-learning model (e.g., GCN, CNN, RNN, Transformer) must be employed.
4. Original experimental results and quantitative performance metrics must be reported.
5. The publication must be peer-reviewed, written in English, and fall within the 2015–2024 window.

Abstract screening led to the exclusion of 130 studies, primarily because they addressed general human activity recognition without a sign language focus or relied exclusively on RGB/depth data. We retrieved full texts for the 40 abstracts deemed potentially relevant, though two could not be obtained despite best efforts (e.g., paywall restrictions), leaving 38 full articles for eligibility assessment.

During full-text review, 18 papers were excluded for the following reasons: eight lacked a skeleton-based input modality, six did not report new experimental findings (e.g., were reviews or

position arguments), and four focused on translation, synthesis, or gesture animation rather than recognition. Consequently, 19 studies met the eligibility criteria and were included in the final synthesis (see Figure 1, ‘Eligibility’ and ‘Included’).

Data Items

From each of the 19 included studies, we extracted the following information in a standardized form. Bibliographic details encompassed authors, year, and publication venue. Dataset characteristics comprised the name of the corpus (e.g. AUTSL, WLASL), the sign language(s) covered, corpus size (number of signs and videos), and the number of signers. Key methodological aspects included the pose estimation tool (e.g. OpenPose, MediaPipe), the model architecture (e.g. ST-GCN, multi-stream GCN, CNN+RNN hybrids, Transformer variants), input feature streams (joint positions, bone vectors, motion cues), and any pre- or post-processing steps. Performance metrics – most commonly Top-1 accuracy for isolated word tasks and word-error rates for continuous SLR were recorded along with details of train/test splits or cross-validation protocols. Finally, each paper’s stated limitations and identified challenges were noted to contextualize open problems in the field.

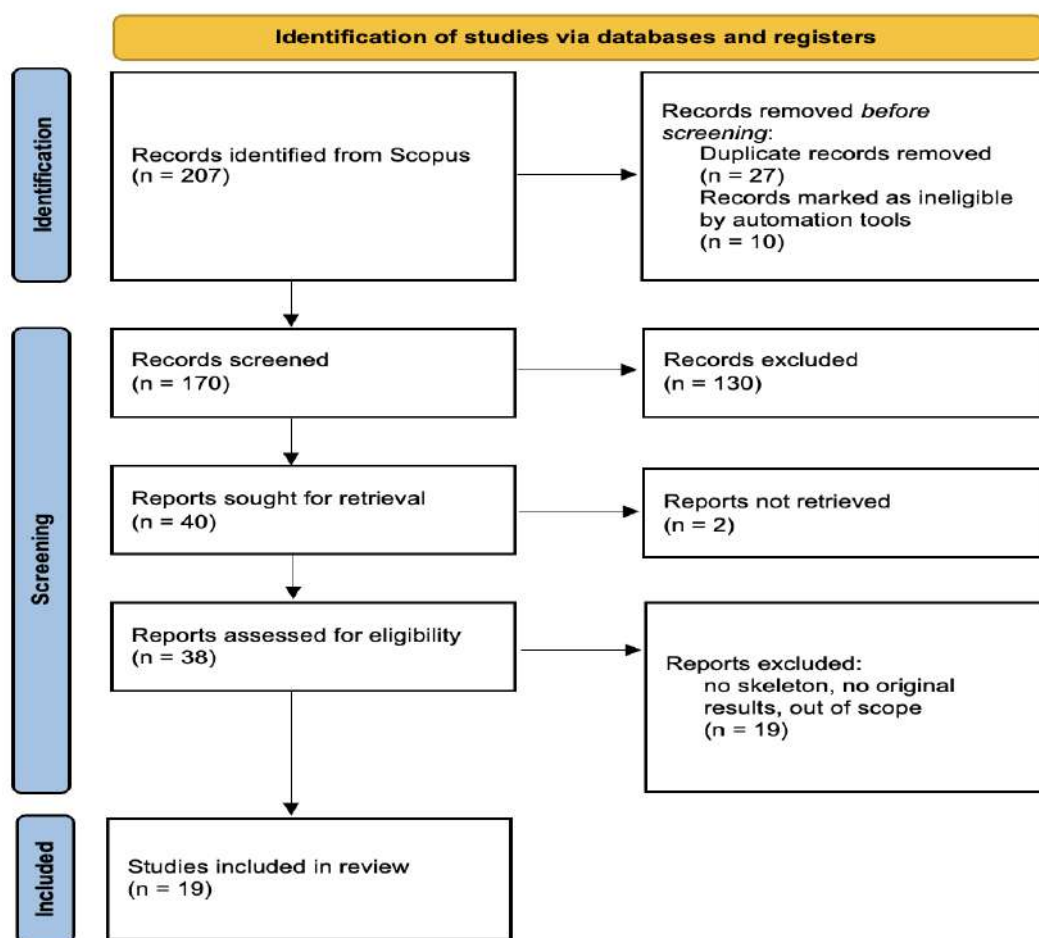


Figure 1. PRISMA flow diagram of study selection process

Results

Our final sample consisted of 19 studies, as shown in the ‘Included’ section of Figure 1 reveals a clear trajectory of methodological innovation. Eleven investigations adopted spatial-temporal graph convolutional networks (ST-GCNs) or their multi-stream extensions, typically processing separate streams for joint coordinates, bone vectors, and motion differentials. Five studies explored hybrid architectures, coupling 2D or 3D convolutional backbones with recurrent (LSTM/GRU) or attention modules to capture both spatial structure and temporal evolution. Four more recent works introduced

Transformer-based encoders often with monotonic or chunkwise attention to better model long-range dependencies in sign sequences.

Benchmark datasets featured prominently: 14 of the 19 studies reported results on at least one large public corpus (AUTSL, WLASL, CSL, LSA64, ASLLVD). Across these, Top-1 isolated-word accuracies improved from roughly 85 % in early ST-GCN papers to upwards of 98 % in the latest multi-stream or Transformer-enhanced models. Only three works addressed continuous SLR achieving word-error rates between 12 % and 22 % on CSL highlighting the ongoing challenge of sequence modeling. Inference speed was explicitly measured in just five studies (25–60 fps on modern GPUs), indicating a gap in real-time performance evaluation.

Persistent obstacles include robustness of pose estimation under occlusion and fast hand motion, significant signer-to-signer variability, limited cross-lingual transfer studies, and scarce on-device deployment benchmarks. Figure 1 provides a complete overview of our study selection process.

Results of the study

Across the 19 included studies, we organize results in four steps: a modalities contrast motivating the skeleton focus, a dataset landscape that conditions task difficulty, a study-level characteristics matrix, and a quantitative synthesis by model family under the five-axis taxonomy. Three aggregate patterns frame the section: on curated isolated benchmarks (CSL-500, AUTSL, LSM), Top-1 accuracy typically falls in the 93–98% range, whereas large-vocabulary WLASL subsets depress pose-only accuracy ($\approx 63\%$ on WLASL-100; $\approx 24\%$ on WLASL-2000); for continuous/online SLR, the only skeleton-based streaming study reports WER $\approx 11\text{--}19\%$ with an offline upper bound $\approx 9.5\%$. Throughout, variability is driven primarily by vocabulary scale, articulator coverage (body vs body+hands+face), and whether skeletons are provided or inferred; the subsequent tables and taxonomy disentangle these effects by dataset and model family.

Challenges of Traditional SLR Modalities

Traditional SLR modalities – namely RGB-based, depth-based, and sensor-based approaches, each present significant drawbacks that limit real-world deployment. RGB approaches, which operate directly on pixel intensities, are notoriously vulnerable to illumination changes, background clutter, and occlusions, and they often demand prohibitively large computational resources to achieve real-time performance [11]. Depth-based systems alleviate some of these challenges by providing explicit geometric information, but they depend on specialized hardware (e.g., Microsoft Kinect or Intel RealSense), incur high equipment costs, and suffer in highly reflective or overexposed environments [13]. Wearable sensor methods, such as data gloves or inertial measurement units, offer precise motion capture yet remain intrusive, uncomfortable for prolonged use, and expensive at scale [14, 16].

In contrast, skeleton-based methods extract only the three-dimensional joint coordinates of the body, hands, and face from standard RGB video using software pose estimators (e.g., OpenPose or MediaPipe). This low-dimensional representation is intrinsically robust to lighting and background variations, preserves signer anonymity, and operates on commodity cameras, thereby dramatically reducing both hardware and computational overhead. Furthermore, skeleton streams integrate seamlessly with modern deep-learning architectures to model the complex spatiotemporal patterns underlying both static postures and dynamic gestures [9, 13].

In summary, skeleton-based SLR demonstrates superior data efficiency, enhanced noise robustness, and improved privacy protection compared to traditional modalities, while also eliminating the hardware burden and intrusiveness associated with depth-based or sensor-dependent systems (see Table 1).

Table 1. Comparison of SLR Modalities

Aspect	RGB-Based	Depth-Based	Sensor-Based	Skeleton-Based
Data Efficiency	High dimensionality, computationally intensive	Moderate, requires depth data processing	Moderate, depends on sensor resolution	Low dimensionality, computationally efficient
Robustness to Noise	Susceptible to lighting and occlusion issues	Struggles in reflective or bright environments	Robust to environment but may suffer from sensor wear issues	Resistant to lighting and background variations
Privacy Concerns	High, identifiable features present	Moderate, less explicit features	Low, anonymized through sensors	Low, anonymized skeletal representations
Hardware Cost	Low to moderate	High	High	Low to moderate
Ease of Use	No additional equipment required	Specialized equipment needed	Intrusive, requires wearable devices	Standard cameras, non-intrusive

Datasets overview

A robust evaluation of skeleton-based SLR hinges on datasets that differ markedly in lexicon size, signer diversity, capture modality, and evaluation protocol. Table 2 consolidates these factors for the corpora used in the included studies, enabling like-for-like comparison across isolated and continuous settings.

Core benchmarks remain WLASL, AUTSL, LSA-64, and CSL. WLASL offers multi-scale vocabularies (100–2000 glosses) from RGB video with post-hoc skeleton estimation, introducing substantial intra-class and cross-domain variation. AUTSL provides synchronized RGB + depth + provided skeletons with standardized signer-independent splits, serving as a stable testbed for pose-centric methods. LSA-64 is a compact, controlled ISLR set well-suited to first-pass modeling and ablation. CSL (e.g., CSL-500) extends to larger lexicons under customary 80/10/10 signer-independent partitions [2,4,10,13,15,19].

To align the overview with our study pool, we additionally include BosphorusSign22k, ASLLVD, LSM, GSLL, DEVISIGN-L, and language-specific or task-specific resources (KSL-77, JSL). BosphorusSign22k is a large isolated corpus where multi-cue fusion (skeleton plus hand/face cues) is frequently evaluated. ASLLVD offers longer isolated clips and is widely used for pose-only pipelines (upper body plus hands). LSM underpins TSSI plus CNN baselines with holistic (body–hands–face) landmarks. GSLL provides controlled subsets that facilitate head-to-head comparisons of 3D body–hand–face reconstruction versus 2D keypoints and appearance cues. DEVISIGN-L is a Chinese ISLR subset commonly paired with multi-stream GCNs (joint/bone/motion). KSL-77 targets dynamic isolated signs with dense hand/face articulation; JSL includes online/continuous material used to benchmark monotonic-attention decoders with WER reporting. In addition, large RGB-first corpora such as NMFs-CSL and BOBSL are increasingly used with post-hoc pose estimation to compare appearance-only versus appearance with pose pipelines at scale [4,6,7,10,12,13,14,18].

Collectively, these datasets (see Table 2) span curated small to medium scale ISLR, large-vocabulary lexicons, and streaming/continuous regimes. The near-universal use of signer-independent evaluation supports fair cross-subject comparison; however, lexical scale, articulator coverage (body versus body plus hands and face), and skeleton extraction protocols remain primary drivers of performance variability that we account for in the subsequent synthesis.

Table 2. Comparison of Skeleton-Based SLR Datasets

<i>Dataset</i>	<i>Vocabulary & Scope</i>	<i>Capture Modality & Annotations</i>	<i>Number of Signers & Samples</i>	<i>Typical Splits & Usage</i>
<i>WLASL</i>	<i>“Word-Level American Sign Language” Isolated ASL glosses, ranging from small (~100) to large (~2000) vocabularies</i>	<i>Video-only (RGB); poses are estimated post-hoc (e.g. OpenPose) for skeleton pipelines</i>	<i>Broad signer diversity (100+); per-gloss sample count varies ~20–30 instances/gloss in WLASL-300, fewer in larger sets</i>	<i>Standard splits: signer-independent train/val/test (e.g. WLASL-300: 2340 train glosses, 300 test glosses)</i>
<i>LSA-64</i>	<i>64 isolated Argentine Sign Language glosses (common everyday signs)</i>	<i>RGB videos with 2D hand + full-body keypoints extracted (e.g. OpenPose)</i>	<i>10 signers × 5 repetitions × 64 glosses = 3200 samples</i>	<i>Often “leave-one-signer-out” for cross-subject evaluation; uses all samples for train/test splits per signer</i>
<i>AUTSL</i>	<i>Turkish Sign Language: 226 isolated glosses (mix of static & dynamic)</i>	<i>RGB + depth + skeleton modalities captured with OAK-D; 2D/3D hand+body poses provided</i>	<i>43 signers; 36,302 samples (8× repetition per gloss)</i>	<i>Predefined train/val/test splits; often evaluated “multi-stream” skeleton+RGB fusion</i>
<i>CSL</i>	<i>Chinese Sign Language isolated words: CSL500 (500 glosses)</i>	<i>RGB videos; 2D/3D full-body + hand keypoints inferred (e.g. Mediapipe)</i>	<i>~50 signers; ~200K total samples across 500 glosses</i>	<i>Commonly uses an 80/10/10% signer-independent split for train/val/test</i>
<i>Bosphorus-Sign22k</i>	<i>Large isolated Turkish SL corpus; broad everyday lexicon</i>	<i>RGB; skeletons inferred post-hoc; body + hands (face cues used in several works)</i>	<i>Large, multi-signer (~22k instances reported in the literature)</i>	<i>Signer-independent in recent pose works; strong multi-cue baselines (skeleton + DeepHand + face) [A]</i>
<i>ASLLVD</i>	<i>Isolated ASL signs; longer clips; often sub-sampled (e.g., 104 signs)</i>	<i>RGB; OpenPose/MMPose for upper-body + hands keypoints</i>	<i>Multi-signer; ~24,385 frames (104-sign subset); 80/20 ≈19,508/4,877 frames</i>	<i>Random or signer-independent splits; widely used for pose-only baselines (gcForest, etc.)</i>
<i>LSM</i>	<i>Small, curated isolated Mexican SL set</i>	<i>RGB; MediaPipe Holistic (body+hands+face) - TSSI images</i>	<i>Compact; multi-signer</i>	<i>Signer-independent; strong pose-CNN (TSSI + DenseNet-121) baselines</i>
<i>GSSL</i>	<i>Isolated Greek SL lemmas; controlled subsets (50/100/200/300/347 classes)</i>	<i>RGB; 2D keypoints and 3D SMPL-X body–hand–face reconstructions</i>	<i>Multi-signer; balanced per subset (as defined)</i>	<i>Predefined subset evaluation; contrasts 3D recon vs 2D skeleton vs RGB/OF</i>
<i>DEVISIGN-L</i>	<i>Isolated Chinese SL subset (“L”)</i>	<i>RGB; 2D body skeleton estimated; dual streams (joint/bone) common</i>	<i>Multi-signer; medium scale</i>	<i>Signer-independent; benchmarked with multi-stream GCN + attention</i>

<i>KSL-77</i>	<i>77 dynamic isolated Korean SL signs</i>	<i>RGB with MediaPipe (~47 landmarks: body + both hands + face) - skeleton sequences</i>	<i>Multi-signer; controlled</i>	<i>Signer-independent; two-stream (joints + joint-motion) with attention/CNN</i>
<i>JSL (online/continuous)</i>	<i>Mixed isolated + continuous word sequences (e.g., 275 isolated, 113 continuous)</i>	<i>RGB with OpenPose 2D skeleton; streaming input</i>	<i>Small-to-medium; controlled</i>	<i>Online evaluation; seq2seq + monotonic attention (MoChA/MILK)</i>
<i>NMFs-CSL</i>	<i>Chinese Sign Language; emphasis on non-manual cues (facial/head motion) within isolated/short sign clips; used in pose-aware RGB studies</i>	<i>RGB video; original annotations for non-manuals; skeleton/landmarks inferred post-hoc (e.g., OpenPose/MMPose)</i>	<i>Large, multi-signer (exact counts vary by release/subset)</i>	<i>Standard train/val/test partitions in the literature; serves as an RGB benchmark where pose features (especially face/head) are leveraged alongside appearance</i>
<i>BOBSL</i>	<i>British Sign Language; large-scale corpus for isolated/lexical recognition (broad, real-world variation)</i>	<i>RGB video; skeleton/landmarks inferred post-hoc for pose-aware baselines</i>	<i>Large, multi-signer (scale designed for robust generalization)</i>	<i>Official or study-specific splits; frequently used to compare appearance-only vs. appearance+pose pipelines at scale</i>

Main characteristics of studies

A Table 3 systematizes, at the study level, the decisive factors behind performance in skeleton-based sign recognition: task formulation, datasets, pose sources and articulators, stream/encoding design, architectural family, and the primary evaluation metric

Across the corpus, task formulations are dominated by isolated SLR (ISLR), with a smaller contingent addressing continuous/online recognition. ISLR works predominantly report Top-k accuracy (usually Top-1), whereas continuous/online systems use Word Error Rate (WER). A few papers introduce post-hoc re-evaluation schemes rather than new recognizers; their gains are interpreted relative to the underlying baselines.

Dataset usage clusters around AUTSL and WLASL (subsets 100/300/1000/2000), complemented by BosphorusSign22k, ASLLVD, LSA64/LSM, and language-specific resources (e.g., GSSL, KSL, JSL), as well as CSL variants. Accuracies are higher on curated, balanced ISLR benchmarks (e.g., AUTSL, LSM, BosphorusSign22k) and markedly lower on larger, more diverse WLASL splits, underscoring the need to stratify conclusions by vocabulary size and lexical diversity.

Most studies extract 2D skeletons via OpenPose, MediaPipe, or MMPose; several explicitly include hands and face in addition to the body-crucial for disambiguating near-synonymous handshapes and capturing co-articulation. A smaller but influential subset reconstructs 3D body–hand–face kinematics (e.g., SMPL-X) and reports consistent improvements over both 2D keypoints and appearance-based baselines, with gains that grow as the number of classes increases.

On the representation side, multi-stream encodings are prevalent: joints, bones, and temporal motion (and their combinations) are processed in parallel and fused using attention or gating. Alternatives include tree-structured skeleton images (TSSI) that enable 2D CNN backbones, and engineered pose descriptors paired with lightweight (non-DL) classifiers when computational austerity is prioritized. These design choices materially affect portability across pose extractors and robustness to missing landmarks.

Architecturally, the field is led by pose-graph networks (ST-GCN and residual/bottleneck GCN variants), followed by hybrid models that integrate attention or Transformer modules for long-range dependencies. Recurrent temporal models (e.g., LSTM/GRU) remain competitive when fed richer streams or higher-fidelity 3D reconstructions, while 2D CNNs over TSSI offer a strong, extractor-agnostic alternative. A small number of studies apply criterion-based re-scoring to baseline predictions rather than altering the backbone; these are reported distinctly.

At the study level, Top-1 on curated ISLR sets typically reaches the high-80s to upper-90s, whereas large-vocabulary WLASL subsets remain challenging despite architectural advances. For continuous SLR, reported WER generally lies in the low- to high-teens, depending on streaming constraints and annotation granularity.

Table 3. Characteristics of included Skeleton-Based SLR studies ($n = 19$)

<i>Study</i>	<i>Task</i>	<i>Dataset(s)</i>	<i>Pose & articulators</i>	<i>Streams / Encoding</i>	<i>Architecture</i>	<i>Metrics</i>
[2]	ISLR	AUTSL; CSL	2D skeleton (whole-body keypoints)	Joint, Joint-Motion, Bone, Bone-Motion; Multi-stream fusion	Graph-based + General DNN (SL-GDN variant)	AUTSL Top-1 96.00%; CSL Top-1 88.70%
[19]	ISLR	WLASL-100/300/2000	2D skeleton (hands+body via keypoints)	Multi-stream (joint/bone/motion) + attention	Graph Convolution + General DNN	WLASL100 Top-1/5/10: 63.25/88.33/90.31; WLASL300 43.80/69.31/80.50; WLASL2000 24.10/52.62/63.32
[4]	ISLR	BosphorusSign22k; AUTSL	Skeleton + DeepHand (hands) + Face cues	ST-GCN (skeleton) + hand/face features; MC-LSTM fusion	ST-GCN + Multi-Cue LSTM	BosphorusSign22k Top-1 92.58%; AUTSL Top-1 90.85%
[13]	ISLR	WLASL-100; AUTSL; LSM	MediaPipe Holistic (body+hands+face)	TSSI (Tree-Structure Skeleton Image)	DenseNet-121 (2D CNN over TSSI)	WLASL100 73.02% (no DA), 81.47% (with DA); AUTSL 93.13%; LSM 98.0%
[10]	ISLR	CSL-500; DEVISIGN-L	2D skeleton (body)	Dual streams (joint, bone) + attention; keyframe variant	Attention-enhanced Multi-Scale GCN (SLR-Net)	CSL-500 Top-1 98.08% DEVISIGN-L Top-1 64.57%
[11]	ISLR (static+dynamic)	Custom Arabic SLR	2D hands+body skeleton	Keypoint sequences	CNN-RNN hybrid	Dynamic: 98.39% (dep.), 96.69% (indep.); Static: 88.89% (dep.), 86.34% (indep.); Mixed sequence: 89.62% (dep.), 88.09% (indep.)
[18]	ISLR	GSLL evaluated on subsets: 50 /	3D body, hands, face reconstruction	Per-frame SMPL-X parameter	RNN on 3D recon features;	Top-1 (GSLL): Subset-50 96.52%, Subset-100 95.87%

		100 / 200 / 300 / 347 classes	n via SMPL- X	vectors (≈ 88 - D) sequenced over time; compare to 2D keypoint sequences and RGB+OF	baselines: VGG16-LSTM (RGB/OF), 2D-skeleton to RNN	(SMPL- X best); RGB/OF lower; 2D-skeleton in-between
[15]	ISLR	WLASL-100/300/1000; LSA-64	2D skeleton from MediaPipe Holistic (body+hands+face)	Pose graph over joints; residual + bottleneck GCN blocks; lightweight, efficiency-oriented	SIGNGRAP H (residual GCN)	WLASL: relative Top-1 gains vs pose-based SOTA of +8.91% / +27.62% / +26.97% on 100/300/1000 LSA-64: 100% test accuracy
[14]	ISLR	ASLLVD (public) + private set	2D upper-body, hands (OpenPose) from monocular RGB	Joint position vectors + confidence, normalization/regularization; combined hand-arm joint set	Deep Forest (gcForest) classifier on skeleton features	F1 = 97% on 104 signs (10 runs); F1 > 97% for smaller (10-sign) subsets; standard baselines fall < 90% at 100 signs
[6]	CI-SLR (online)	Japanese SL dataset: 275 isolated word videos, 113 continuous word videos	2D skeleton (OpenPose)	Seq2seq with monotonic attention variants (hard monotonic, MoChA, MILK) for online decoding	Encoder-decoder RNN/Attn; online monotonic attention	WER (%): 9.51 (offline best); 19.47 (Online-1 best); 11.08 (Online-2 best); second-best around 20.03
[1]	ISLR (challenge eval.)	SAM-SLR (AUTSL-like); BSLIK pretrain	OpenPose; MediaPipe Holistic (body+hands+face)	Frame-level pose features; fusion	Pose-only baselines; RGB baselines	Val: OpenPose 83.25%, Holistic 85.63%; Test (fusion) 81.93%
[5]	ISLR (re-evaluation / post-processing method)	AUTSL (RGB); baseline = SAM-SLR (skeleton-aware multimodal)	Index-finger landmark vs face parts (nose/eyes/mouth); pose/skeleton via MMPose/OpenPose	Face-part position criterion: absolute and relative criteria using face-part heatmaps to re-evaluate top-k hypotheses (Top-1/Top-2/Top-3)	Criterion-based re-scoring (model-agnostic) layered on baseline predictions	Top-1 improved from 98.00% (SAM-SLR) to 98.24% (best); other runs report 97.94%, 98.05%, 98.21% (AUTSL, RGB)
[17]	ISLR	ASLLVD (skeleton-20; 2,745 signs)	2D skeleton (OpenPose-derived)	Joint sequences	ST-GCN adapted for SLR	Avg. acc $\approx$ 61.04%

[9]	ISLR (dynamic signs)	JSL (custom), LSA-64	2D hands (and body) landmarks via MediaPipe/Holistic	Effective feature extraction + classifier	GCN/CNN hybrid (pose-only)	JSL: 97.20% (static+dynamic) LSA-64: 98.20% avg.
[16]	ISLR (prototype; sign - speech)	Custom Kinect-captured set (test sample n=100)	Microsoft Kinect RGB-D with skeleton tracking (body/hands)	Kinect skeleton joints + gesture templates / sequence logic	Classical NUI pipeline (Kinect tracking; classical recognition; HMM/ANN discussed)	Accuracy up to 90% on 100-sample test; no standard split
[8]	ISLR (static+dynamic)	Internal demo sets; mentions RWTH/PHO ENIX in related work	Skeleton + other cues (hybrid)	Hybrid (CNN/RNN with pose cues)	Hybrid deep learning	Static: 96% (YOLOv6); Continuous landmarks pipeline: ~92% avg
[3]	Hand gesture recognition (not SLR)	Briareo; Multimodal Hand Gesture	Hand skeleton only; keypoints/skeleton sequences	Single skeleton stream; local spatio-temporal embeddings + long-term modeling	Hybrid 3D-CNN (local) + Transformer (self-attention, long-range)	Acc: 95.49% (Briareo); 97.25% (Multimodal)
[7]	ISLR (dynamic signs)	KSL-77 (benchmark); proprietary lab KSL dataset	Whole-body 47 landmarks incl. both hands, body, face (MediaPipe)	Two-stream: joints (GCN - channel attention - CNN), joint-motion (same), fused	Two-stream GCN + attention + CNN; late fusion	Acc: 99.87% (KSL-77); 100% (lab dataset)
[12]	ISLR	WLASL-2000; NMFs-CSL; BOBSL	RGB parts (hands, face) no keypoints	Two part-aware branches: Part-level Spatial + Part-level Temporal; optional flow fusion	StepNet (RGB part-aware)	Top-1 Per-instance Acc: 56.89% (WLASL-2000); 77.2% (NMFs-CSL); 77.1% (BOBSL)

Taxonomy of skeleton-based SLR methods

We introduce a five-axis taxonomy that abstracts from individual studies and explains why particular design choices dominate specific benchmarks and operating regimes. Figure 2 visualizes the taxonomy.

Tasks divide into isolated recognition, evaluated with Top-k accuracy (typically Top-1), and continuous/online decoding, evaluated with WER; the latter additionally requires low-latency, stable alignment, for which monotonic attention has become a practical mechanism [2,6,10]. Inputs and encodings span 2D keypoints inferred from RGB, 3D joints from RGB-D sensors, and full 3D kinematic reconstruction of body, hands, and face; broader articulator coverage systematically improves discrimination of near-synonymous signs and captures non-manuals. Stream design

typically fuses joints, bones, and motion deltas, or maps sequences to TSSI images for 2D-CNN backbones [13,16,18].

Model families follow from these choices: ST-GCN baselines with fixed topology; efficiency-oriented residual/bottleneck GCNs (e.g., SignGraph); attention-enhanced multi-stream GCNs; and hybrids that integrate GCNs with general DNN blocks. Alternatives include TSSI+CNN when extractor-agnostic portability is needed, RNN/seq2seq variants (with monotonic attention for streaming), and 3D reconstruction models that trade compute for gains on fine-grained classes; lightweight engineered-feature pipelines and criterion-based re-scoring remain useful under tight resource budgets [2,5,6,10,13–16,18,19]. Evaluation is predominantly signer-independent, with signer-dependent reports used sparingly; for meaningful comparison, results should be stratified by vocabulary size, articulator coverage, and whether skeletons are provided or inferred [2,4,10,13,15,19].

Method-dataset fit is likewise structured. Multi-stream attention-GCNs and hybrids tend to lead on curated ISLR sets with reliable pose streams (e.g., AUTSL, BosphorusSign22k), large-vocabulary WLASL subsets expose robustness gaps that motivate appearance+pose fusion, 3D reconstruction shows clear gains on controlled subsets with non-manuals (e.g., GSLL), TSSI+CNN is attractive where holistic landmarks and portability matter (e.g., LSM, WLASL-100), online CSLR is commonly evaluated on JSL-style resources, and RGB-first corpora such as NMFs-CSL and BOBSL enable pose-inferred comparisons at scale; ASLLVD and CSL variants remain useful anchors for pose-only and multi-stream baselines [2,4,6,10,12–15,18,19].

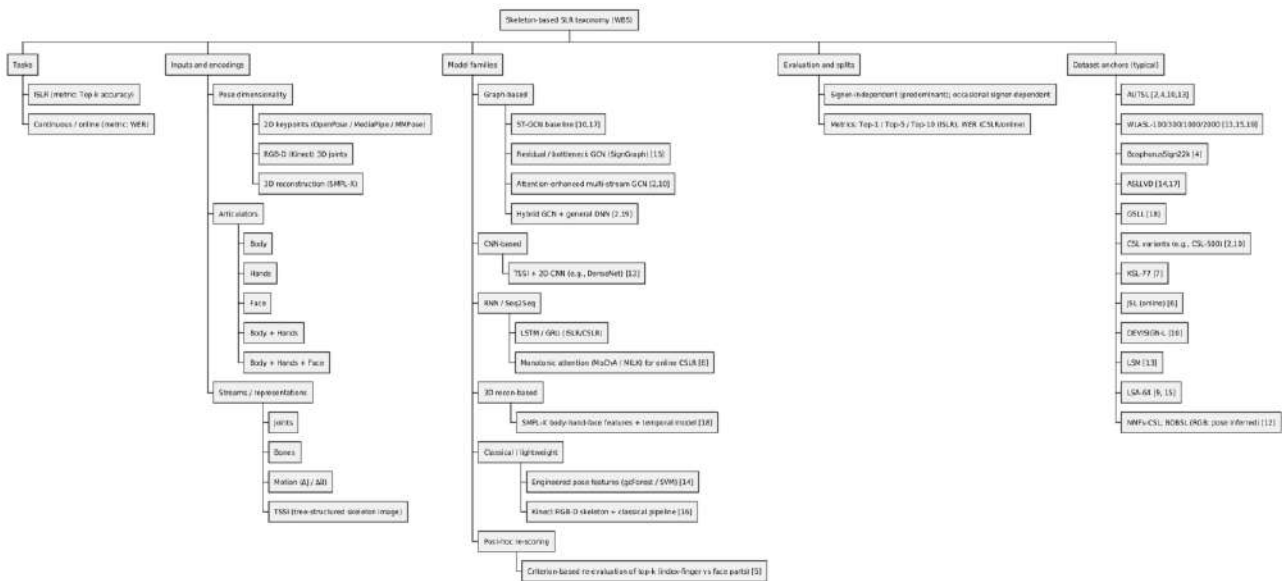


Figure 2. Taxonomy of skeleton-based SLR methods

Quatitative meta-analysis

We synthesized performance using only outcomes reported in the reviewed articles ($n = 19$). For isolated SLR (ISLR), we aggregated Top-1 accuracy across datasets by model family (descriptive mean $\pm$ SD, median, and k entries per family). For continuous/online SLR (CSLR), all skeleton-based results came from a single study with three decoding settings; we therefore summarize WER directly from that source. We did not mix non-comparable metrics (e.g., F1) into accuracy pooling; post-hoc re-scoring is treated separately. Table 4 reports an across-dataset synthesis of ISLR performance by model family, and Table 5 summarizes CSLR WERs. Descriptive statistics (mean $\pm$ SD; median) are computed from the available study–dataset entries per family. All values are drawn from the reviewed sources [2, 4, 7, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 18, 19].

Table 4. ISLR – across-dataset synthesis by model family (Top-1, %)

Model family	k	Mean $\pm$ SD	Median
Residual GCN (SignGraph)	1	100.00 $\pm$ –	100.00
Hybrid CNN/GCN	2	97.70 $\pm$ 0.71	97.70
3D reconstruction	2	96.19 $\pm$ 0.46	96.20
ST-GCN + Multi-cue LSTM	2	91.72 $\pm$ 1.22	91.72
TSSI + CNN	3	90.87 $\pm$ 8.49	93.13
CNN-RNN hybrid	3	90.37 $\pm$ 5.54	88.09
Classical Kinect pipeline	1	90.00 $\pm$ –	90.00
Attention GCN	3	87.51 $\pm$ 19.88	98.08
Pose-only baseline	1	81.93 $\pm$ –	81.93
Hybrid GCN + DNN	5	63.17 $\pm$ 30.13	63.25
ST-GCN baseline	1	61.04 $\pm$ –	61.04

The wide SD for Attention GCN reflects heterogeneity across datasets (e.g., near-ceiling on CSL-500 and KSL-77 vs. lower on DEVISIGN-L) [7,10]. The low mean for Hybrid GCN + DNN is driven by large-vocabulary WLASL subsets despite strong results on AUTSL/CSL-500 [2,19]. TSSI+CNN remains competitive and portable across pose extractors [13]. The 3D reconstruction family shows high, stable accuracy on GSLL subsets, consistent with benefits from explicit body–hand–face kinematics [18].

Table 5. CSLR – online/continuous SLR (WER, %, skeleton-based; single study with three settings)

Setting	Dataset context	Decoder / alignment	k (studies)	WER (%)
Offline upper bound	JSL-type benchmark	Non-streaming (no monotonic constraint)	1	9.51
Online-1 (best)	JSL-type benchmark	Monotonic attention (streaming)	1	19.47
Online-2 (best)	JSL-type benchmark	Monotonic attention (streaming)	1	11.08

Three quantitative regularities emerge. First, dataset scale and curation largely determine attainable accuracy: families that reach 93–98% Top-1 on curated ISLR benchmarks (CSL-500, AUTSL, LSM) degrade sharply on WLASL-300/2000, indicating that vocabulary size and visual variability remain the principal constraints for pose-only pipelines. Second, architectural inductive bias matters: attention-augmented, multi-stream GCNs and hybrid GCN+CNN/GCN models dominate curated ISLR settings; TSSI+CNN provides a portable baseline that is competitive on AUTSL and strong on LSM; and 3D reconstruction yields consistently high accuracy on GSLL subsets, underscoring the value of explicit body–hand–face kinematics. Third, for continuous/online SLR, monotonic-attention seq2seq currently attains $\approx$ 11–19% WER, with an offline upper bound near 9.5%, highlighting the persistent performance gap between isolated and streaming recognition.

Discussion

Recent literature reveals a broad *methodological diversity* in skeleton-based SLR approaches, reflecting an active exploration of how best to model spatiotemporal patterns from pose data. Researchers have pursued graph-based convolutional architectures that leverage the skeletal joint topology, as well as CNN or RNN-inspired schemes that treat pose sequences as images or time series. Notably, attention-enhanced graph networks and hybrid models (combining GCNs with CNN or Transformer elements) often achieve state-of-the-art accuracy on curated isolated-sign

benchmarks. This suggests that integrating skeletal structure with temporal attention mechanisms is highly effective. However, no single architecture consistently outperforms across all datasets – each method’s success often depends on specific data characteristics indicating that architecture choices remain context-dependent. The prevalence of multi-stream frameworks (feeding joints, bones, and motion cues into separate model streams) further underscores the field’s push to capture complementary features, but this also introduces greater complexity. In summary, while diverse strategies have propelled accuracy upwards, this heterogeneity complicates direct comparisons and points to the need for standardized evaluation to determine which innovations truly generalize.

A second general trend is the *impact of dataset scale and vocabulary size* on performance outcomes. Many recent skeleton-based models report near-ceiling accuracies (often above 95% Top-1) on smaller, well-curated isolated sign datasets, indicating that within limited lexicons and controlled conditions current methods can effectively learn the signs. However, performance degrades markedly on larger-scale benchmarks or less constrained settings. When models are tested on sign language tasks with hundreds or thousands of unique signs – or on continuous signing sequences rather than individual isolated signs – their accuracy drops significantly. These discrepancies highlight the persistent limitations imposed by insufficient training data volume and diversity. In particular, the field lacks large, richly annotated corpora that capture the full variability of real-world signing (spanning diverse signs, signers, and contexts). Data scalability has thus become a bottleneck: further progress will require not only clever algorithms but also concerted efforts in expanding dataset size, coverage of vocabulary, and perhaps leveraging data augmentation or cross-dataset training to broaden model exposure.

Closely tied to data scale is the challenge of *model generalization* across different contexts and sign languages. Most current skeleton-based SLR systems are developed and evaluated on a single benchmark at a time, so their ability to transfer to new domains remains largely untested. A model trained on one country’s sign language or a particular capture setup may struggle when applied to another language or a different environment. Differences in vocabularies, recording conditions, and even the pose-estimation tools used can all hamper cross-dataset performance. This lack of generalization suggests that many state-of-the-art models might be learning dataset-specific idiosyncrasies rather than truly universal sign language patterns. Addressing this issue likely requires new strategies for domain adaptation and more generalized feature learning. For example, future research could explore training paradigms that incorporate multiple sign languages or heterogeneous data sources, to encourage models to learn higher-level representations not tied to a single dataset’s traits. In summary, achieving robust cross-domain and cross-lingual generalization remains an open problem – one that must be overcome for skeleton-based SLR to be broadly applicable outside of lab settings.

Another persistent concern is *signer-independence*, i.e. ensuring models perform consistently across individuals with different signing styles. Even within the same sign language, each signer brings unique variations in motion speed, emphasis, and personal technique. Current benchmarks usually enforce signer-independent evaluation splits (training and testing on different people), and this has revealed noticeable performance gaps when models encounter completely unseen signers. In practice, many models still exhibit degraded accuracy on new signers, indicating that they inadvertently learn person-specific cues present in the training data. This issue underscores the need for learning sign representations that are invariant to individual differences. Potential remedies include data augmentation techniques (to expose models to more varied signer characteristics) and model architectures or normalization schemes that explicitly factor out attributes like hand size or motion style. Without better signer-generalization, even high-performing SLR systems risk failure in real-world deployments, where the range of user appearances and styles is virtually unlimited. Thus, improving signer-independence is critical for moving from benchmark success to reliable, real-world sign recognition.

Finally, we must consider the *limitations of a skeleton-only modality* in capturing the full complexity of sign languages. Skeleton-based methods focus exclusively on the 3D trajectories of

body and hand joints, yielding a representation that is robust to lighting and background noise but inherently omits important visual cues. Non-manual articulators such as facial expressions, mouth movements, and subtle finger shape details carry significant linguistic information in sign languages, yet are only coarsely represented (if at all) in a pure skeleton stream. Some advanced approaches attempt to compensate by including additional pose features – for instance, adding facial keypoints or using separate sub-networks for hand shapes – and these have shown that incorporating more of the signer’s morphology can improve recognition of nuanced signs. However, each additional feature stream or modality increases the system’s complexity and computational load. Fusing multiple skeletal cues (joints, bones, velocities, face landmarks, etc.) can yield diminishing returns if the model becomes too cumbersome for real-time use. In essence, current skeleton-based SLR methods excel at capturing the broad spatiotemporal patterns of signing but still fall short of representing certain fine-grained or context-dependent aspects of communication. This trade-off between the simplicity of the skeleton representation and the completeness of sign language information remains a fundamental tension. Overcoming it will likely involve clever multimodal integration – incorporating critical non-manual signals into skeleton-based frameworks – while carefully managing model complexity to retain efficiency.

Conclusion

Skeleton-based sign language recognition has achieved remarkable progress by leveraging specialized models to extract spatial and temporal features from human pose data. Over the past decade, accuracy on isolated sign recognition tasks has climbed dramatically – approaching near-perfect levels on some small benchmark datasets – thanks to innovations like graph convolutional networks, attention mechanisms, and multi-stream feature integration. These methods have proven adept at modeling the articulated movements of the body and hands, effectively addressing core challenges of spatiotemporal feature extraction in sign language. They take advantage of the skeleton modality’s robustness and low dimensionality, allowing models to focus on motion dynamics and pose configurations while sidestepping many visual noise factors.

Despite these advances, our review highlights several *unresolved challenges* that continue to limit skeleton-based SLR. Performance does not yet generalize well to large-vocabulary sign lexicons or continuous signing scenarios, where error rates remain substantially higher. This shortfall is largely attributed to the scarcity of extensive, diverse training data and the difficulties of sequence segmentation in continuous recognition. Furthermore, current models still struggle with signer variability and often require careful tuning to maintain accuracy for unseen individuals, underscoring a need for more signer-independent designs. While multi-stream and hybrid architectures have pushed the state-of-the-art, they have done so at the cost of greater complexity, and they still do not fully capture non-manual cues like facial expression that are integral to sign language meaning. In sum, today’s skeleton-based systems adeptly capture the gross movements of signing and have clearly validated the efficacy of pose-based features for SLR, but they fall short in scaling up to the true diversity and fluidity of natural sign language. Ongoing efforts to expand dataset scale, refine model architectures for better generalization, and integrate additional sign articulators will be crucial for closing the gap between the impressive isolated-sign results and the broader goal of robust, real-time continuous sign language understanding.

References

- [1]Moryossef, A., Tsochantaridis, I., Dinn, J., Camgöz, N. C., Bowden, R., Jiang, T., Rios, A., Müller, M., & Ebling, S. (2021). *Evaluating the immediate applicability of pose estimation for sign language recognition*. Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich. <https://doi.org/10.5167/uzh-203439>
- [2]Miah, A. S. M., Hasan, M. A. M., Jang, S.-W., Lee, H.-S., & Shin, J. (2023). *Multi-stream general and graph-based deep neural networks for skeleton-based sign language recognition*. *Electronics*, 12(2841). <https://doi.org/10.3390/electronics12132841>

- [3] Zhong, E., del-Blanco, C. R., Berjón, D., Jaureguizar, F., & García, N. (2023). Real-time monocular skeleton-based hand gesture recognition using 3D-Jointsformer. *Sensors*, 23(7066). <https://doi.org/10.3390/s23167066>
- [4] Özdemir, O., Baytaş, İ. M., & Akarun, L. (2023). Multi-cue temporal modeling for skeleton-based sign language recognition. *Frontiers in Neuroscience*, 17, Article 1148191. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1148191>
- [5] Hori, N., & Yamamoto, M. (2023). Re-evaluation method by index finger position in the face area using face part position criterion for sign language recognition. *Sensors*, 23(4321). <https://doi.org/10.3390/s23094321>
- [6] Takayama, N., Benitez-Garcia, G., & Takahashi, H. (2022). Skeleton-based online sign language recognition using monotonic attention. In *Proceedings of the 17th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (VISIGRAPP 2022)*, 601–608. <https://doi.org/10.5220/0010899400003124>
- [7] Shin, J., Miah, A. S. M., Suzuki, K., Hirooka, K., & Hasan, M. A. M. (2023). Dynamic Korean sign language recognition using pose estimation based and attention-based neural network. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3343404>
- [8] Buttar, A. M., Ahmad, U., Gumaei, A. H., Assiri, A., Akbar, M. A., & Alkhamees, B. F. (2023). Deep learning in sign language recognition: A hybrid approach for the recognition of static and dynamic signs. *Mathematics*, 11(3729). <https://doi.org/10.3390/math11173729>
- [9] Kakizaki, M., Miah, A. S. M., Hirooka, K., & Shin, J. (2024). Dynamic Japanese sign language recognition throw hand pose estimation using effective feature extraction and classification approach. *Sensors*, 24(826). <https://doi.org/10.3390/s24030826>
- [10] Meng, L., & Li, R. (2021). An attention-enhanced multi-scale and dual sign language recognition network based on a graph convolution network. *Sensors*, 21(4), 1120. <https://doi.org/10.3390/s21041120>
- [11] Bencherif, M. A., Algabri, M., Mekhtiche, M. A., Faisal, M., Alsulaiman, M., Mathkour, H., Al-Hammadi, M., & Ghaleb, H. (2021). Arabic sign language recognition system using 2D hands and body skeleton data. *IEEE Access*, 9, 59612–59625. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3069714>
- [12] Shen, X., Zheng, Z., & Yang, Y. (2023). StepNet: Spatial-temporal part-aware network for isolated sign language recognition. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, 5(8), Article 39. <https://doi.org/0000001.0000001>
- [13] Laines, D., Gonzalez-Mendoza, M., Ochoa-Ruiz, G., & Bejarano, G. (2023). Isolated sign language recognition based on tree structure skeleton images. In *Proceedings of the CVPRW 2023*. <https://github.com/davidlainesv/SL-TSSI-DenseNet>
- [14] Xue, Q., Li, X., Wang, D., & Zhang, W. (2019). Deep forest-based monocular visual sign language recognition. *Applied Sciences*, 9(9), 1945. <https://doi.org/10.3390/app9091945>
- [15] Naz, N., Sajid, H., Ali, S., Hasan, O., & Ehsan, M. K. (2023). Signgraph: An efficient and accurate pose-based graph convolution approach toward sign language recognition. *IEEE Access*, 11, 19135–19149. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3247761>
- [16] Rajaganapathy, S., Aravind, B., Keerthana, B., & Sivagami, M. (2015). Conversation of Sign Language to Speech with Human Gestures. *Procedia Computer Science*, 50, 10–15. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.004>
- [17] de Amorim, C. C., Macêdo, D., & Zanchettin, C. (2019). Spatial-temporal graph convolutional networks for sign language recognition. In *Lecture Notes in Computer Science*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30493-5_59
- [18] Kratimenos, A., Pavlakos, G., & Maragos, P. (2021). Independent sign language recognition with 3D body, hands, and face reconstruction. In *ICASSP 2021 - 2021 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*. <https://doi.org/10.1109/ICASSP39728.2021.9414278>
- [19] Miah, A. S. M., Hasan, M. A. M., Nishimura, S., & Shin, J. (2024). Sign language recognition using graph and general deep neural network based on large scale dataset. *IEEE Access*, 12, 34553–34568. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3372425>

А.Е. Серіков^{1*}, А.А. Билощицкий²

¹ Astana IT University, Астана қ., Қазақстан

² Киев ұлттық құрылыс және сәулет университеті, Киев қ., Украина

*e-mail: ayanbek.as@gmail.com

АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕ ПАЙДАЛАНУҒА АРНАЛҒАН БІЛІМ БЕРУ БАҒДАРЛАМАЛАРЫН ӘЗІРЛЕУ АЛГОРИТМДЕРІ

Аңдатпа

Бұл мақалада заманауи ақпараттық жүйелердегі білім беру бағдарламаларын әзірлеудің алгоритмдік негізі ұсынылған, дәстүрлі оқу бағдарламасының дизайнын еңбек нарығының динамикалық сұраныстарымен байланыстырады. Онда білім беру бағдарламаларының дизайнын әзірлеуші (DDEduP), яғни жетілдірілген Llama 3 моделін іздеу арқылы кеңейтілген генерациямен (RAG) біріктіретін веб-платформа ұсынылған. Жүйе мақсаттарды қалыптастыру, құзыреттіліктерді алу және курстарды ұсыну үшін семантикалық енгізулерді, косинус ұқсастығын және гибридіті іздеуді пайдалана отырып, қазақстандық жұмыс платформаларынан (Enbek.kz, HeadHunter), жаңа мамандықтар атласынан және кәсіби стандарттардан нақты уақыт режиміндегі деректерді алады. Информатика, биология және тарих пәндері бойынша бағаланған ол 0,24-тен 1,00-ге дейін F1 баллына қол жеткізді, мақсатты тұжырымдау және техникалық салаларда үздік болды, бірақ әртүрлі оқу нәтижелері мен пәнаралық бейімделуде қиындықтарға тап болды. Зерттеу білім беру жүйелерінде тиімді жасанды интеллектке негізделген оқу бағдарламасын жобалау үшін адам цикліндегі интеграцияны және пәнге тән жетілдірулерді жақтайды.

Түйін сөздер: білім берудегі ЖИ, оқу бағдарламасын жобалау, білім беру технологиясы, еңбек нарығын үйлестіру, ЖИ моделін өңдеу, семантикалық енгізулер.

А.Е. Серіков¹, А.А. Билощицкий²

¹Astana IT University, г. Астана, Казахстан

² Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина

АЛГОРИТМЫ РАЗРАБОТКИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Аннотация

В статье представлена алгоритмическая структура для разработки образовательных программ в современных информационных системах, объединяющая традиционные учебные программы с динамичными требованиями рынка труда. В ней представлен разработчик образовательных программ (DDEduP) – веб-платформа, интегрирующая доработанную модель Llama 3 с генерацией дополненного поиска (RAG). Система использует данные в режиме реального времени с казахстанских платформ поиска работы (Enbek.kz, HeadHunter), Атласа новых профессий и профессиональных стандартов, используя семантическое встраивание, косинусное сходство и гибридный поиск для формирования целей, извлечения компетенций и рекомендации курсов. При оценке по предметам «Информатика», «Биология» и «История» система получила баллы F1 от 0,24 до 1,00, продемонстрировав превосходные результаты в формулировании целей и технических областях, но столкнувшись с трудностями в достижении различных результатов обучения и междисциплинарной адаптации. В исследовании обосновывается необходимость интеграции человеческого фактора и усовершенствований, учитывающих специфику дисциплин, для эффективной разработки учебных программ на основе ИИ в образовательных системах.

Ключевые слова: ИИ в образовании, разработка учебных программ, образовательные технологии, адаптация к рынку труда, тонкая настройка моделей ИИ, семантические вложения.

A. Serikov¹, A. Biloshchytskyi²

¹Astana IT University, Astana, Kazakhstan

²Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

ALGORITHMS FOR DEVELOPING EDUCATIONAL PROGRAMS FOR USE IN INFORMATION SYSTEMS

Abstract

This paper presents an algorithmic framework for educational program development in modern information systems, bridging traditional curriculum design with dynamic labor market demands. It introduces the Design Developer of Educational Programs (DDEduP), a web-based platform integrating a fine-tuned Llama 3 model with retrieval-augmented generation (RAG). The system draws real-time data from Kazakhstani job platforms (Enbek.kz, HeadHunter), the Atlas of New Professions, and professional standards, using semantic embeddings, cosine similarity, and hybrid retrieval to generate goals, extract competencies, and recommend courses. Evaluated across Computer Science, Biology, and History, it achieved F1 scores from 0.24 to 1.00, excelling in goal formulation and technical fields but facing challenges in diverse learning outcomes and interdisciplinary adaptation. The study advocates human-in-the-loop integration and discipline-specific refinements for effective AI-driven curriculum design in educational systems.

Keywords: AI in education, curriculum design, educational technology, labor market alignment, AI model fine-tuning, semantic embeddings.

Кіріспе

Жасанды интеллект (ЖИ) білім беруде үлкен өзгеріс әкелуде, бейімделгіш платформалар мен ақылды репетиторлар сияқты құралдар арқылы оқуды жекешелендіруге, қолжетімді етуге және тиімді етуге мүмкіндік береді. Әлемдік инвестициялардың артуына байланысты білім беру саласындағы жасанды интеллект нарығының көлемі 2021 жылғы 1,82 млрд АҚШ долларынан 2030 жылға қарай 31,78 млрд АҚШ долларына дейін өседі деп болжануда. Бұл өсім генеративті жасанды интеллект пен болжамды аналитиканың білім беру үдерісіне жедел еніп жатқанын көрсетеді [1]. Білім беру бағдарламаларын жобалаудың дәстүрлі тәсілдері оқу бағдарламаларын қолмен картаға түсіруге, сарапшылардың кеңестеріне және институционалдық кері байланысқа арналған сирек түзетулерге негізделген. Бұл әдістер адамның академиялық тереңдігі мен түсінігін қамтамасыз етеді, бірақ олар тез өзгеретін салалық талаптарға және білім алушылардың әртүрлі профильдеріне жауап беруде көп еңбекті қажет ететін, қымбат және икемсіз болып табылады. Білім берудің ақпараттық жүйелері күрделене түскен сайын, бағдарламаларды құруды жеделдету және жетілдіру үшін алгоритмдік араласудың қажеттілігі айқын болды.

Есептеу алгоритмдері білім беру бағдарламаларын дамытуда, әсіресе қазіргі заманғы ақпараттық жүйелерге енгізілген кезде маңызды рөл атқаратынын дәлелдеді. Машиналық оқыту, табиғи тілдерді өңдеу (NLP) және оңтайландыру әдістерінің арқасында оқу орындары оқу бағдарламаларын құзыреттілік стандарттарына сәйкестендіруді автоматтандыруға, еңбек нарығындағы тенденцияларды мұқият зерттеуге және жеке өнімділік деректеріне негізделген оқыту траекторияларын бейімдеуге болады [2]. Бұл деректерге бағытталған әдістеме білім беру мазмұны, бағалау механизмдері және цифрлық инфрақұрылым бойынша үздіксіз интеграцияны ілгерілету арқылы дамып келе жатқан контексттерге жауап беретін масштабталатын, бейімделетін әзірлемелерді қамтамасыз етеді, бұл үздіксіз біліктілікті арттыру мен өмір бойы оқытуды қолдау үшін. Алгоритмдік құралдар дәстүрлі дизайнға бұрыннан келе жатқан мәселелерді жеңілдетеді: мысалы, ұсыныс алгоритмдері дағдылардағы кемшіліктерді анықтайды және жаңартуларды ұсынады, ал кластерлеу әдістері модульдер бойынша оқыту нәтижелерін стандарттайды. Оңтайландыру оқу бағдарламаларының реттілігін, ресурстарды бөлуді және алғышарттарды конфигурациялауды одан әрі оңтайландырады, бұл білім алушылардың жалпы тиімділігі мен табысын арттырады. Түсіндірілетін ЖИ саласындағы жетістіктер алгоритмдік нәтижелерді ашып көрсету,

автоматтандыру мен білім беруді қадағалау арасындағы үйлесімділікке ықпал ету арқылы мүдделі тараптардың сенімін арттырады [3].

GPT-4 сияқты үлкен тілдік модельдердің (LLMs) пайда болуы білім беру жүйелерінде интеллектуалды, масштабталатын бағдарламаларды құрудың жаңа жолдарын ашты. LLMs күрделі педагогикалық материалдарды түсінуде және өндіруде, теңшелген нұсқаулық және динамикалық оқу бағдарламасының эволюциясының негізін қалауда үздік [4]. Дегенмен, мұндай жүйелердің тиімділігін шектейтін бірқатар факторлар бар. Олардың ішінде галлюцинациялар - модельдің шындыққа жанаспайтын, бірақ нанымды көрінетін жауаптар құрастыруы, сондай-ақ оқу деректерінің белгілі бір кезеңмен шектелуіне байланысты ақпараттың ескіруі жатады.

Қалпына келтірумен күшейтілген генерация (RAG) архитектуралары бұл кемшіліктерді LLM-дерді нақты уақыт режимінде сыртқы білім қоймаларынан сұрауға қатысты ақпаратпен толықтыру арқылы жояды, осылайша білім беру қолданбаларындағы фактілік дәлдік пен контекстік сәйкестікті күшейтеді [5]. Тығыз үзінділерді іздеу және гибриді іздеу сияқты әдістер оқу бағдарламаларын әзірлеу, курс реттілігі және нәтижелерді артикуляциялау сияқты әрекеттердегі өнімділікті арттыру арқылы алынған мазмұнның сәйкестігін жақсартады [6, 7]. RAG модельдерге қайта даярлаусыз жаңа идеяларды енгізуге мүмкіндік береді, бұл оқу бағдарламаларының ағымдағы стандарттарға, нарық қажеттіліктеріне және ғылыми прогреске сәйкестігін қамтамасыз етеді [8]. Эмпирикалық шолулар RAG білімді қажет ететін тапсырмалар бойынша, әсіресе оқу жоспарлары мен құзыреттілік шеңберлерін картаға түсіруде, нақтылық пен шынайылықты қажет ететін тапсырмалар бойынша дербес LLM-ден асып түсетінін растайды [9].

Алдыңғы автоматтандырылған оқу бағдарламаларының стратегияларында онтологияға негізделген модельдеу және ережелерге негізделген жүйелер қолданылды, олар сараптамалық білімді тиімді кодтады және эталондардың сақталуын қамтамасыз етті, бірақ ауқымдылықта, құрылымсыз кірістерге бейімделуде және нақты уақыттағы жаңартуларда сәтсіздікке ұшырады [10, 11]. Соңғы NLP қолданбалары нәтижелер мен мақсаттар арасындағы салыстыруды автоматтандырылған және кеңес беру үшін деректерге негізделген ұсыныс жүйелерін әзірледі, бірақ оларда LLM-RAG гибридітерінің нәзік семантикалық мүмкіндіктері жиі жетіспейді [12]. Түсініктілік негізгі мәселеге айналады; ЖИ-тің білім берудегі интеграциясы ашықтыққа, әсіресе бағдарламаның тұтастығына және аккредиттеуге әсер ететін шешімдерге байланысты, мұнда мөлдір емес RAG процестері сенімге нұқсан келтіруі мүмкін [13].

Бұл зерттеу білім беру бағдарламаларын әзірлеуді автоматтандыру үшін веб-негізделген ақпараттық жүйеде жаңа алгоритмдік жұмыс процесін енгізеді. Ол деректерді алдын ала өңдеуді, құзыреттілікті алуды, нәтижелерді теңестіруді және құрылым синтезін енгізуді біріктіруден валидацияға дейінгі бүкіл процесті визуализациялайтын интерактивті платформаға біріктіреді. Теориялық модельдерді практикалық енгізумен біріктіре отырып, жүйе оқытушыларға, дизайнерлерге және жоспарлаушыларға заманауи білім беру ландшафттарында деректерге негізделген, салаға жауап беретін бағдарламаларды жасау үшін сенімді, бейімделгіш құралды пайдалануға мүмкіндік береді.

Зерттеу әдіснамасы

Білім беру бағдарламаларын әзірлеуші (DDEduP) - бұл білім беру бағдарламаларын жартылай автоматтандырылған түрде жасауға арналған веб-платформа. Жүйе бағдарламаны әзірлеуді жеңілдету үшін бекенд және фронтенд технологияларды ЖИ-пен біріктіреді, нақты сұраныстарға сәйкестігін қамтамасыз етеді. Бекенд IntelliJ IDEA-дағы Java Spring Framework, фронтенд Visual Studio Code-та React JS және Prettier және үшінші қалыпты формаға (3NF) қалыпқа келтірілген PostgreSQL көмегімен әзірленген. Сонымен қатар, RAG жүйесі бағдарламаларды талдау, олқылықтарды анықтау және жақсартуларды ұсыну үшін векторлық ендірулерді пайдаланады.

Негізгі бөлігінде білім беру бағдарламаларының, еңбек нарығының сипаттамаларының және кәсіби стандарттарының салалық деректер жиынтығына бейімделген, дәл реттелген Llama 3 үлкен тіл моделі (Fralet/DDedupModelv7) орналасқан. 1×10^{-5} оқу жылдамдығы (Төмен болғанымен, LoRA қолданған кезде модельдің ұмытушылық болдырмау үшін стандартты таңдау болып табылады), 8 және 10 дәуірлік топтама мөлшері сияқты гиперпараметрлерді пайдалана отырып, бақыланатын әдістерді адами кері байланыстан (RLHF) біріктіріп, дәл баптау жүргізілді. Төменгі дәрежелі бейімделу (LoRA) базалық модельдің өнімділігін сақтай отырып, есептеу қажеттіліктерін азайтты.

Еңбек нарығының деректері үкіметтік жұмыспен қамту статистикасы үшін Enbek.kz және нақты уақыт режиміндегі бос жұмыс орындары үшін HH.kz сайттарынан алынған. Дағдылар лауазымдық сипаттамаларды серверлік NLP негізіндегі скрепинг және талдау арқылы алынады. Сала мамандарының болжау құралы болып табылатын Жаңа мамандықтар мен құзыреттер атласы 5-10 жыл ішінде пайда болатын лауазымдарға ақпарат береді, дамып келе жатқан және ескірген лауазымдарды қоса алғанда, салалық үрдістерді жіктейді. Кәсіби стандарттар – білімді, дағдыларды, тәжірибені және құзыреттілікті көрсететін нормативтік құжаттар – Қазақстан билігінен алынған, ресми, бейресми және бейресми білім беруді ескереді. Пайдаланушылар ЖИ ұсынған стандарттарды қабылдай алады немесе икемділік үшін арнайы стандарттарды енгізе алады.

Жұмыс процесі пайдаланушы ұсынған бағдарлама атауларынан басталады, косинус ұқсастығын пайдаланып мақсат ұсыныстары үшін семантикалық ендірімелер арқылы талданады:

$$\text{Cosine Similarity} = \frac{A \cdot B}{\|A\| \cdot \|B\|} \quad (1)$$

Мұнда

- A – эталондық мәтіннің векторлық ендірімесі
- B – құрылған мәтіннің векторлық ендірімесі

Содан кейін жасанды интегралды деректерден тапсырмалар ұсынады, дағдыларды алады және баға беру функциясы арқылы курстарды картаға түсіреді:

$$\text{Skill} - \text{Course Score} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot s_{ij} \quad (2)$$

Мұнда

- w_i – i -дағдының салмағы (маңыздылық коэффициенті)
- s_{ij} – BERT ендірімелерінен алынатын i -дағдының j -курспен сәйкестік дәрежесі
- n – қарастырылатын дағдылар саны

(BERT ендірімелерінен s_{ij} арқылы). RAG бос орындарды талдау және ұсыныстар үшін гибриділі кілт сөз-семантикалық іздеулерді орындайды. Информатика, биология және тарих пәндері бойынша үлгі бағдарламалар React негізіндегі визуалды материалдарды және PostgreSQL сақтау орнын қамтиды. Бағалау контекстік туралау үшін BERT, сәйкестендіру үшін дәлдік/еске түсіру/F1 ұпайларын пайдаланады:

$$\text{Precision} = TP / (TP + FP) \quad (3)$$

$$\text{Recall} = TP / (TP + FN) \quad (4)$$

$$F1 = (2 * \text{Precision} * \text{Recall}) / (\text{Precision} + \text{Recall}) \quad (5)$$

Мұнда

- TP (True Positive) – дұрыс анықталған оң жауаптар
- FP (False Positive) – қате оңға жатқызылған жауаптар
- FN (False Negative) – модель жіберіп алған оң жауаптар

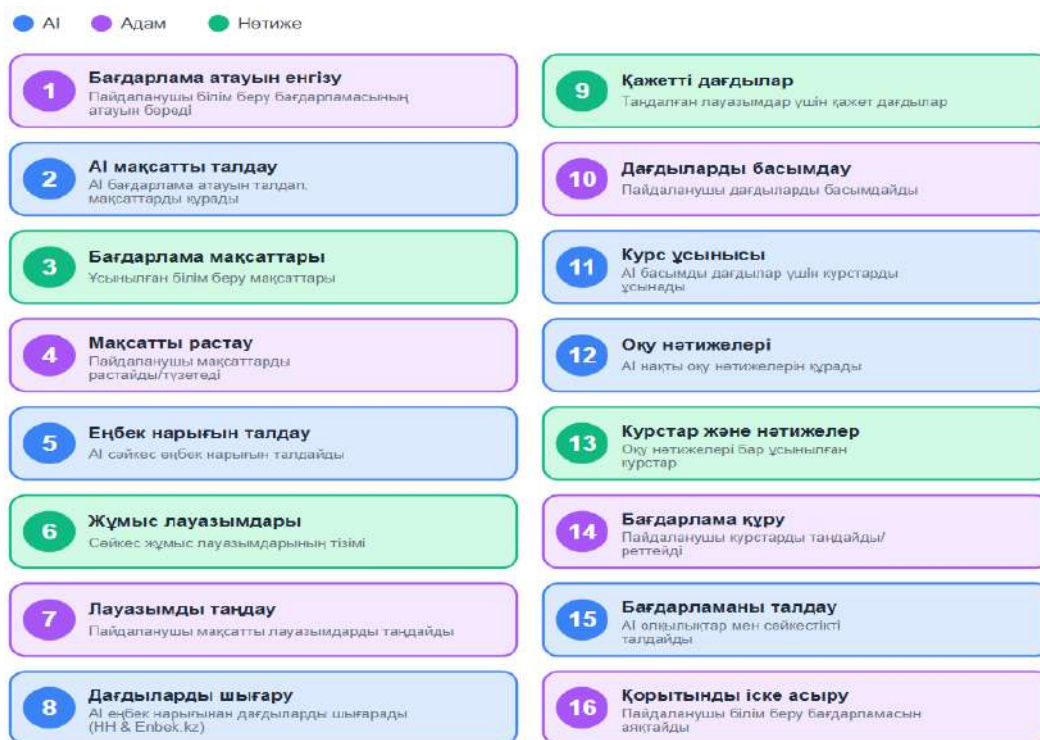
N-граммдық қабаттасу ұқсастықты бағалайды, ал Distinct-1/2 метрикалары мазмұнның әртүрлілігін қамтамасыз етеді.

Зерттеу нәтижелер

Пайдаланушылар бағдарлама атауын беруден бастайды, бұл ЖИ-ке білім беру мақсаттарын талдауға және ұсынуға итермелейді. Оларды адамдар мекемелік мақсаттар мен педагогикалық стандарттарға сәйкестендіру үшін қарап, жетілдіреді. Әрі қарай, жүйе еңбек нарығын талдауды жүргізеді, тиісті жұмыс орындарын және пайда болатын мансаптық мүмкіндіктерді көрсететін сәйкес Атлас мамандықтарын ұсынады. Толық жұмыс ағыны 1-суретте көрсетілді.

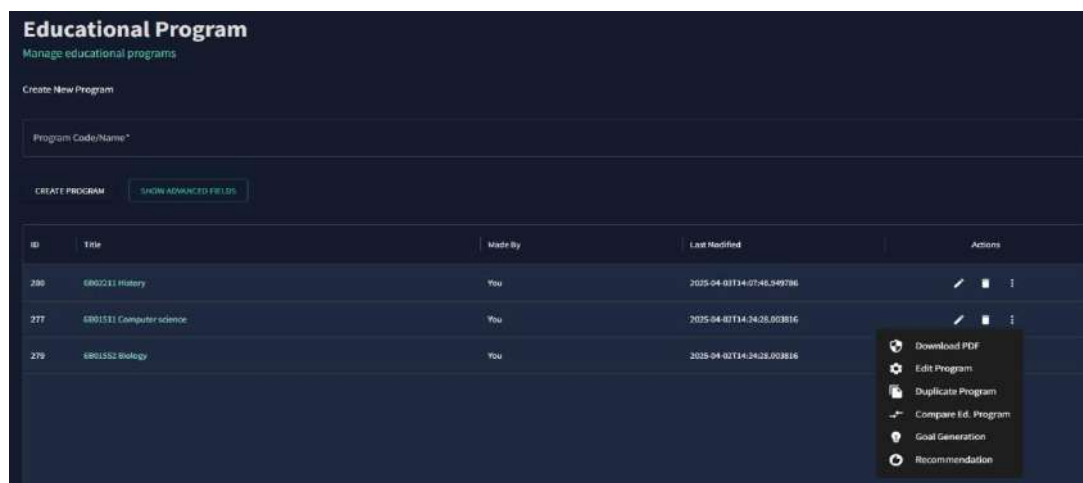
Жаңа мамандықтар мен құзыреттер атласы салалық сарапшылардың болжамы бойынша алдағы бес-он жылда күтілетін болашақ мамандықтарды каталогтандыратын негізгі ресурс болып табылады. Ол пайдаланушыларға салалық үрдістерді, жаңа рөлдерді және дамып келе жатқан немесе жоғалып бара жатқан жұмыс орындарын зерттеуге мүмкіндік береді. Атлас мамандықтары беті санатталған қолжетімділікті, егжей-тегжейлі құзыреттілік профильдерін және трансформация туралы түсініктерді ұсынады, бұл бағдарламалардың жұмыс күшінің сұраныстарына сәйкес болуын қамтамасыз етеді.

Курс репозиторийін басқару жүйесі тиімді таңдау және бағдарламаны құрастыру үшін мекемелік курстарды бірыңғай интерфейсте орталықтандырады. Ол мақсаттар, алғышарттар, кредиттер және құзыреттер сияқты мәліметтерді сақтайды. Курс беті жасауды, өзгертуді және ұйымдастыруды қолдайды, метадеректер дағдылар мен стандарттарға байланыстырылады, бұл жобалау кезінде ЖИ-ке ұсыныстарды береді.



Сурет 1. Адам мен ЖИ өзара әрекеттесуі DDEduP жұмыс ағыны

Кәсіби стандарттар тағы бір тірек болып табылады, ол белгілі бір салалардағы білімге, дағдыларға және құзыреттіліктерге қойылатын талаптарды белгілейді. Стандарттар беті осы құжаттарға шолуға, іздеуге және таңдауға мүмкіндік береді. Жүйе оларды білім беру салаларында біріктіреді, ал ЖИ бағдарлама қажеттіліктеріне негізделген сәйкестіктерді ұсынады, ал пайдаланушылар сәйкестікті реттей алады. Білім беру бағдарламаларын басқару интерфейсі 2-суретте бағдарламаның күйін, ілгерілеуін және көрсеткіштерін бақылайтын орталық басқару тақтасы ретінде қызмет етеді. Ол жаңа бағдарламаларды бастауды, бар бағдарламаларды өңдеуді және нұсқаларды басқару және шешім қабылдау құжаттамасы арқылы әзірлеу өмірлік циклдерін басқаруды қолдайды.



Сурет 2. Білім беру бағдарламаларын басқару беті

Жұмысты басқару интерфейсі Enbek.kz және HeadHunter сияқты қазақстандық платформалардан деректерді талдайды. Пайдаланушылар рөлдер мен Atlas лауазымдарын тандайды, бұл ЖИ-ке аймақтық дағдылар талаптарын алуға және нақтылауға, жергілікті бағдарламаның өзектілігі үшін үлгілер мен пайда болатын құзыреттіліктерді анықтауға мүмкіндік береді. Дағдыларға басымдық бергеннен кейін платформа құзыреттіліктерге сәйкес құрылымдалған оқу нәтижелерін жасайды. Нәтижелер жүйесі институционалдық тәсілдерге бейімдеуге мүмкіндік береді, сонымен бірге когнитивтік деңгейлер бойынша өлшенетіндікті және қамтуды қамтамасыз етеді. Курстарды таңдау және картаға түсіру дизайнды оқу бағдарламасына аударады: ЖИ репозиторийлік курстарды ұсынады, оларды дағдылар мен нәтижелерге картаға түсіреді, әзірлеу уақытын қысқартады. Пайдаланушылар ресурстар мен алғышарттарға негізделген реттілік пен түзетулерді басқарады. Соңында, RAG бағдарламаны артықшылыққа және салыстыруға талдайды, оңтайлы үйлесімділікке қол жеткізілгенше жетілдіру бойынша ұсыныстар береді.

1-кестедегі көрсеткіштер мәтіндік сәйкестендіру және бағалау нәтижелерін сипаттайды: Precision – модель тапқан нәтижелердің қаншасы дұрыс екенін көрсетеді, Recall – шын мәнінде дұрыс нәтижелердің қаншасы табылғанын, ал F1 – дәлдік пен қамтуды теңдестіретін орташа көрсеткіш. N-gram – мәтіндердегі қарапайым сөз немесе сөз тіркестерінің ұқсастығын бағалайтын әдіс, ал BERT – сөздердің контекстіне негізделген семантикалық ұқсастық, ал Sim – жалпы ұқсастық коэффициенті (0–1 аралығында).

Кесте 1. Пән және тапсырма түрі бойынша өнімділік көрсеткіштері

Пән	Тапсырма	Precision	Recall	F1	N-gram	BERT Sim
Информатика	Оқыту нәтижелері	0.60	0.22	0.32	0.09	0.74
	Кәсіби стандарттар	0.69	0.60	0.64	0.21	0.84
	Бағдарламалық мақсат	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Биология	Оқыту нәтижелері	0.68	0.14	0.24	0.05	0.68
	Кәсіби стандарттар	0.26	0.50	0.34	0.10	0.26
	Бағдарламалық мақсат	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Тарих	Оқыту нәтижелері	0.57	0.38	0.46	0.11	0.88
	Кәсіби стандарттар	0.33	0.42	0.37	0.14	0.64
	Бағдарламалық мақсат	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Мысалы, Информатика пәні бойынша “Оқыту нәтижелері” тапсырмасында Precision 0.60, Recall 0.22, F1 0.32, N-gram 0.09 және BERT Sim 0.74 көрсетілген, яғни модель тапқан нәтижелердің жартысынан көбі дұрыс болса да, барлық дұрыс нәтижелерді толық қамти алмайды, қарапайым сөз тіркестері бойынша сәйкестік төмен, бірақ семантикалық ұқсастық

жақсы. DDEduP ЖИ тиімділігін адами сараптамамен теңестіреді, нарықтық деректерді, стандарттарды және тиісті бағдарламаларға арналған болжамдарды біріктіреді. Оның тиімділігі биология, тарих және информатика пәндері бойынша үш бағдарлама арқылы расталды. Нәтижелер пәндер бойынша алгоритмдік өзгергіштікті көрсетеді, ЖИ негізіндегі оқу бағдарламасын жасаудағы күшті және шектеулерді көрсетеді, бұл контекстке байланысты оңтайландыру маңызды болып табылатын NLP және ML жетістіктеріне сәйкес келеді.

Дискуссия

Бағдарлама мақсаттары жалпы алғанда мінсіз ұпайларға (1,00) қол жеткізді, бұл модельдің оқыту деректеріндегі жалпыланған білім үлгілерімен үйлесетін кең, декларативті мақсаттарды синтездеудегі шеберлігін көрсетеді. Керісінше, оқу нәтижелері мен кәсіби стандарттар өзгергіштік көрсетті, F1 ұпайлары 0,24-тен 0,64-ке дейін өзгеріп, егжей-тегжейлі, салаға тән тапсырмалардағы қиындықтарды атап өтті. Төмен N-граммдық қабаттасу (0,05–0,21) жоғары BERT ұқсастықтарымен (0,26–0,88) салыстырғанда, дәл мәтіндік репликацияға қарағанда семантикалық түсінудегі күшті жақтарды көрсетеді.

Сала тұрғысынан алғанда, информатика пәні теңдестірілген дәлдікті (0,60–0,69) көрсетті, бірақ оқу нәтижелерінде (0,22) төмен еске түсіру көрсетті, бұл модель алгоритмдер сияқты логикалық құрылымдарды тиімді түрде бейнелейтінін, бірақ жан-жақты мәліметтерді қалдыратынын көрсетеді. Биология пәні ең төмен нәтиже көрсетті, нәтижелер үшін F1 баллы 0,24 және стандарттар үшін 0,34 болды, бұл еске түсірудің төмендігіне (0,14) және дәлдікке (0,26) байланысты, бұл саланың эмпирикалық және жаргонға бай сипатына, мысалы, молекулалық процестерге байланысты болуы мүмкін. Тарих пәні көрсеткіштерді жақсы теңестірді (F1 0,46–0,37), BERT нәтижелеріне ұқсастық бойынша (0,88) үздік болды, бұл тарихи талдаулар сияқты түсіндірмелі әңгімелерге бейімділікті көрсетеді.

Бұл нәтижелер LLM-дердің жоғары деңгейлі абстракцияда шебер екенін, бірақ оқу бағдарламасын жобалау немесе автоматтандырылған бағалау сияқты білім беру қолданбалары үшін маңызды түйіршікті, мамандандырылған мазмұнда кемшіліктерге ұшырайтынын көрсетеді. Дәл емес немесе толық емес нәтижелер білім алушыларды адастыруы, техникалық салалардағы білімдегі олқылықтарды жоюы және сенімділікті қамтамасыз ету үшін адамның бақылауы қажеттігін баса көрсетуі мүмкін.

Бұл бұрынғы зерттеулерге, мысалы, GPT модельдері бойынша зерттеулерге сәйкес келеді, олар ұқсас семантикалық күшті жақтарын, бірақ танымал тақырыптарға қатысты оқыту деректерінің ауытқуына байланысты STEM салаларындағы еске түсіру кемшіліктерін атап өтті [4]. Wei және т.б. зерттеуінде биология пәнінде дәл сәйкестік көрсеткіштерінің төмен екенін атап өтті, мұны біздің N-граммдық зерттеулеріміздің нәтижелеріне сәйкес келетін тармақша терминологиясының сирек ұсынылуымен байланыстырды [14]. Тарих пәнінде жоғары семантикалық ұпайлар Vubesk және т.б. зерттеулерімен сәйкес келеді, олар LLM-дерді баяндау тапсырмалары үшін тиімді деп тапты, бірақ стандарттарды үйлестіруде сәйкессіздіктер бар, бұл біздің кәсіби стандарттар нәтижелерімізге ұқсас [15].

Зерттеудің болашағына биология пәнінде еске түсіруді және тарих пәніндегі дәлдікті арттыру үшін кураторлық деректер жиынтығын жетілдіру, гибриді модельдерді сала мамандарымен біріктіру кіреді. Жедел инженерия немесе көпмодальды енгізулерді зерттеу семантикалық дәлдікті сақтай отырып, N-грамм дәлдігін арттыруы мүмкін. Grok итерациялары сияқты дамып келе жатқан LLM нұсқаларын эталондармен салыстыратын бойлық зерттеулер жақсартуларды бақылап, білім берудегі этикалық орналастыруды хабардар етіп, пәндер арасындағы айырмашылықтарды азайта алады.

Қорытынды

DDEduP тілдік модельдерді RAG-пен біріктіру арқылы оқу бағдарламасын автоматтандыруды дамытады және білім беру бағдарламаларын еңбек нарығының қажеттіліктеріне сәйкестендіреді. Нәтижелер алгоритмдер жоғары деңгейлі мақсат қоюда

ерекше нәтиже көрсеткенімен, әртүрліліктің төмен көрсеткіштерінен көрінетіндей, әртүрлі, педагогикалық тұрғыдан бай оқу нәтижелерін жасауда қиындықтарға тап болатынын көрсетеді. Өнімділік пәнге байланысты өзгереді – информатика пәні ($F1 = 0,64$) сияқты стандартталған құрылымдары бар салалар биология пәні ($F1 = 0,34$) сияқты икемді салалардан асып түседі - бұл алгоритмдік тиімділік пәндік стандарттау дәрежесіне байланысты екенін көрсетеді. Платформаның нақты уақыт режиміндегі еңбек деректерін және аймақтық теңшеуді (мысалы, Қазақстан контексті) біріктіруі практикалық құндылықты көрсетеді, бірақ мазмұнды қайталау мен үстірт семантикалық модельдеуді жеңудегі қиындықтар әлі де бар. Болашақтағы прогресс пәнге тән бағалау көрсеткіштерін, әртүрлілікті арттыру механизмдерін және үйлесімділікті қамтамасыз ету үшін білім беру білімі графиктерін пайдалануды талап етеді. Түптеп келгенде, бұл зерттеу тиімді білім беру ақпараттық жүйелері автоматтандыруды адамның бақылауымен ұйымдастыруы керек екенін, білім берушілердің орнын басу емес, оларды көбейту үшін ЖИ-ті пайдалануы керек екенін атап көрсетеді. DDEduP осы гибриді модельді көрсетеді, масштабталатын, контекстке бейімделген және педагогикалық тұрғыдан негізделген оқу бағдарламасын жобалауға прагматикалық жол ұсынады.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

- [1] Al-Rzoky H. M. M., Abdulredha S. K. The Transformative Role of Artificial Intelligence in Modern Education //Teknika. – 2025. – T. 14. – №. 3. – C. 408-414. <https://doi.org/10.34148/teknika.v14i3.1367>
- [2] Zawacki-Richter O. et al. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education—where are the educators? //International journal of educational technology in higher education. – 2019. – T. 16. – №. 1. – C. 1-27. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>
- [3] Holmes W., Bialik M., Fadel C. Artificial intelligence in education promises and implications for teaching and learning. – Center for Curriculum Redesign, 2019.
- [4] Achiam J. et al. GPT-4 technical report //arXiv preprint arXiv:2303.08774. – 2023. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.08774>
- [5] Lewis P. et al. Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive nlp tasks //Advances in neural information processing systems. – 2020. – T. 33. – C. 9459-9474.
- [6] Karpukhin V. et al. Dense Passage Retrieval for Open-Domain Question Answering //EMNLP (1). – 2020. – C. 6769-6781. <https://doi.org/10.18653/v1/2020.emnlp-main.550>
- [7] Izacard G., Grave E. Leveraging passage retrieval with generative models for open domain question answering //Proceedings of the 16th conference of the european chapter of the association for computational linguistics: main volume. – 2021. – C. 874-880. <https://doi.org/10.18653/v1/2021.eacl-main.74>
- [8] Borgeaud S. et al. Improving language models by retrieving from trillions of tokens //International conference on machine learning. – PMLR, 2022. – C. 2206-2240. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.04426>
- [9] Gao Y. et al. Retrieval-augmented generation for large language models: A survey //arXiv preprint arXiv:2312.10997. – 2023. – T. 2. – №. 1.
- [10] Piriyaopongpipat P., Goldin S., Ditcharoen N. An alternative approach to ontology-based curriculum development in higher education //Smart Learning Environments. – 2024. – T. 11. – №. 1. – C. 20. <https://doi.org/10.1186/s40561-024-00307-8>
- [11] Vo N. N. Y. et al. Domain-specific NLP system to support learning path and curriculum design at tech universities //Computers and Education: Artificial Intelligence. – 2022. – T. 3. – C. 100042. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100042>
- [12] Atalla S. et al. An intelligent recommendation system for automating academic advising based on curriculum analysis and performance modeling //Mathematics. – 2023. – T. 11. – №. 5. – C. 1098. <https://doi.org/10.3390/math11051098>
- [13] Khosravi H. et al. Explainable artificial intelligence in education //Computers and education: artificial intelligence. – 2022. – T. 3. – C. 100074. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100074>
- [14] Wei J. et al. Emergent abilities of large language models //arXiv preprint arXiv:2206.07682. – 2022.
- [15] Bubeck S. et al. Sparks of artificial general intelligence: Early experiments with gpt-4 //arXiv preprint arXiv:2303.12712. – 2023. <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/sparks-of-artificial-general-intelligence-early-experiments-with-gpt-4/>

D. Sultan¹ , R. Abdrakhmanov² , T. Turymbetov² , T. Iskakov² , B. Yagaliyeva^{3*} 

¹Narxoz University, Almaty, Kazakhstan

² International University of Tourism and Hospitality, Turkistan, Kazakhstan

³ Satpayev University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: bagdat.yagaliyeva@gmail.com

DEEP LEARNING-BASED CYBERBULLYING DETECTION IN KAZAKH: A HYBRID APPROACH FOR IMPROVED TEXT CLASSIFICATION

Abstract

This study presents a deep learning-based approach to detecting cyberbullying in Kazakh, addressing key challenges in low-resource languages. The research highlights the increasing prevalence of cyberbullying in Kazakhstan, the limitations of traditional machine learning models, and the need for advanced text classification techniques. A novel hybrid deep learning model integrating Convolutional Neural Networks (CNNs), Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM), and Transformer-based architectures is proposed to enhance detection accuracy. The study outlines the dataset collection process, data augmentation techniques, and model evaluation using key performance metrics, including accuracy, precision, recall, and F1-score. Experimental results demonstrate that the proposed model significantly outperforms conventional machine learning algorithms and previously published methods. The findings offer practical implications for automated content moderation on social media platforms and contribute to advancing natural language processing (NLP) tools for the Kazakh language. This study proposes a novel hybrid deep learning model for Kazakh-language cyberbullying detection. The model integrates CNN, BiLSTM, and Transformer-based architectures to address the challenges of low-resource languages, complex morphology, and evolving online slang. Experimental results demonstrate that the proposed approach significantly outperforms traditional machine learning algorithms and previously published methods. The research contributes to the development of NLP tools for Kazakh and provides practical solutions for automated content moderation on social media platforms.

Keywords: machine learning, deep learning, cyberbullying, natural language processing, text classification.

Д. Сұлтан¹, Р. Абдрахманов², Т. Тұрымбетов², Т. Искаков², Б. Яғалиева³

¹ Нархоз Университеті, Алматы қ., Қазақстан

² Халықаралық туризм және қонақжайлылық университеті, Түркістан қ., Қазақстан

³ Сәтбаев университеті, Алматы қ., Қазақстан

ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ КИБЕРБУЛЛИНГТІ ТЕРЕҢ ОҚЫТУ НЕГІЗІНДЕ АНЫҚТАУ: МӘТІНДІ ЖІКТЕУДІ ЖЕТІЛДІРУГЕ АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ МОДЕЛЬ ҰСЫНЫСЫ

Аңдатпа

Бұл зерттеуде қазақ тіліндегі кибербуллингті анықтауға арналған терең оқыту негізіндегі әдіс ұсынылады, ол төмен ресурсты тілдерге қатысты негізгі мәселелерді шешуге бағытталған. Жұмыста Қазақстандағы кибербуллингтің өсіп келе жатқан таралуы, дәстүрлі машиналық оқыту модельдерінің шектеулері және жетілдірілген мәтінді жіктеу әдістерінің қажеттілігі қарастырылады. Кибербуллингті анықтау дәлдігін арттыру мақсатында Конволюциялық нейрондық желілер (CNN), екі бағытты ұзақ қысқа мерзімді жады (BiLSTM) және трансформер негізіндегі архитектураларды біріктіретін жаңа гибриді терең оқыту моделі ұсынылады. Зерттеу барысында деректерді жинау процесі, деректерді көбейту әдістері және модельді бағалау дәлдік (accuracy), толықтық (recall), дәлдік (precision) және F1 көрсеткіші сияқты негізгі өнімділік метрикаларын қолдану арқылы сипатталады. Эксперименттік нәтижелер ұсынылған модельдің дәстүрлі машиналық оқыту алгоритмдері мен бұрын жарияланған әдістерден айтарлықтай жоғары екенін көрсетеді. Алынған нәтижелер әлеуметтік медиа платформаларындағы автоматтандырылған контент модерациясына практикалық үлес қосып, қазақ тіліне арналған табиғи тілді өңдеу (NLP) құралдарының дамуына ықпал етеді. Бұл зерттеуде қазақ тіліндегі кибербуллингті анықтауға арналған жаңа гибриді терең оқыту моделі ұсынылады. Модель

төмен ресурсты тілдерге тән мәселелерді, күрделі морфологияны және үнемі өзгеріп отыратын интернет-сленгті шешу үшін CNN, BiLSTM және Transformer архитектураларын біріктіреді. Эксперименттік нәтижелер ұсынылған тәсілдің дәстүрлі машиналық оқыту алгоритмдерінен және бұрын жарияланған әдістерден айтарлықтай жоғары екенін көрсетеді. Зерттеу қазақ тіліне арналған табиғи тілді өңдеу (NLP) құралдарының дамуына үлес қосып, әлеуметтік желілердегі контентті автоматтандырылған модерациялауға практикалық шешімдер ұсынады.

Түйін сөздер: машинное обучение, глубокое обучение, киберзапугивание, обработка естественного языка, классификация текста.

Д. Сұлтан¹, Р. Абдрахманов², Т. Тұрымбетов², Т. Искаков², Б. Яғалиева³

¹ Университет Нархоз, г. Алматы, Казахстан

² Международный университет туризма и гостеприимства, г. Туркестан, Казахстан

³ Сатпаев университет, г. Алматы, Казахстан

ОБНАРУЖЕНИЕ КИБЕРБУЛЛИНГА НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ НА ОСНОВЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ: ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ УЛУЧШЕННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТА

Аннотация

В исследовании представлен подход на основе глубокого обучения для выявления киберзапугивания на казахском языке, учитывающий ключевые проблемы, связанные с малоресурсными языками. В работе рассматриваются растущая распространённость киберзапугивания в Казахстане, ограничения традиционных моделей машинного обучения и необходимость применения продвинутых методов классификации текста. Предложена новая гибридная модель глубокого обучения, объединяющая сверточные нейронные сети (CNN), двунаправленные долготермические памяти (BiLSTM) и архитектуры на основе трансформеров для повышения точности обнаружения. В исследовании подробно описан процесс сбора данных, методы аугментации данных и оценка модели с использованием ключевых метрик производительности, таких как точность (accuracy), полнота (recall), точность (precision) и F1-мера. Экспериментальные результаты демонстрируют, что предложенная модель значительно превосходит традиционные алгоритмы машинного обучения и ранее опубликованные методы. Полученные выводы имеют практическое значение для автоматизированной модерации контента в социальных сетях и способствуют развитию инструментов обработки естественного языка (NLP) для казахского языка. В данном исследовании предлагается новая гибридная модель глубокого обучения для обнаружения кибербуллинга на казахском языке. Модель интегрирует архитектуры CNN, BiLSTM и Transformer для решения проблем, связанных с малоресурсными языками, сложной морфологией и постоянно меняющимся интернет-сленгом. Экспериментальные результаты показывают, что предложенный подход значительно превосходит традиционные алгоритмы машинного обучения и ранее опубликованные методы. Исследование вносит вклад в развитие инструментов обработки естественного языка (NLP) для казахского языка и предлагает практические решения для автоматизированной модерации контента в социальных сетях.

Ключевые слова: машинное обучение, глубокое обучение, киберзапугивание, обработка естественного языка, классификация текста.

Introduction

In recent years, Kazakhstan has seen a significant increase in internet penetration, leading to greater digital engagement among its population. As of early 2024, approximately 85% of the population had internet access, marking a substantial increase from previous years. This digital proliferation, while fostering connectivity and information exchange, has also introduced challenges, notably the emergence and escalation of cyberbullying.

Cyberbullying refers to the use of digital platforms to harass, threaten, or demean individuals [1]. Unlike traditional bullying, cyberbullying can occur at any time and place, amplifying its psychological impact due to the persistent nature of digital content. In Kazakhstan, this issue has become increasingly prevalent, particularly among the youth.

A study conducted by the National Center for Public Health of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, as part of the international "Health Behavior in School-Aged Children" (HBSC) research, revealed alarming statistics: one in eight school-aged children in Kazakhstan has

experienced cyberbullying. In response to the growing concern, Kazakhstan has strengthened its legal measures to combat cyberbullying. As of early 2024, administrative liability was introduced for bullying and cyberbullying of minors, with penalties including fines of up to 10 Monthly Calculation Indexes (MCI). The repercussions of cyberbullying extend beyond immediate emotional distress. Victims often experience long-term psychological effects, including depression, anxiety, and diminished self-esteem. A global study highlighted that 68% of children subjected to online harassment have encountered mental health issues, with 37% developing social anxiety and 36% experiencing depression.

Individual cases further illuminate the severity of cyberbullying in Kazakhstan. For instance, in early 2024, a 21-year-old non-binary LGBTIQ+ activist, referred to as Aruzhan, faced significant online harassment due to their civic activities. This incident underscores the intersectionality of cyberbullying, where individuals from marginalized communities may face heightened risks.

Globally, cyberbullying remains a pressing issue. A WHO Europe study from 2024 reported that approximately 11% of adolescents have been bullied at school, with about 12% admitting to cyberbullying others. These figures align with Kazakhstan's statistics, indicating that the nation is not isolated in this challenge. However, cultural, social, and infrastructural nuances necessitate localized strategies to address the problem effectively [2].

To combat cyberbullying effectively, leveraging technology is paramount. Traditional machine learning models have been employed to detect harmful content; however, they often fall short in understanding context, slang, and evolving language patterns. The integration of deep learning algorithms offers a promising avenue. These models, particularly those based on transformer architectures, can more effectively comprehend context, leading to improved detection accuracy.

The rapid digitalization of Kazakhstan has increased online communication but also led to the rise of cyberbullying, especially among youth. Traditional machine learning models, such as SVMs or Naïve Bayes, have limitations in capturing the linguistic complexity and contextual nuances of the Kazakh language. This study aims to develop and evaluate a hybrid deep learning model capable of detecting cyberbullying in Kazakh texts with higher accuracy. The central hypothesis is that combining CNN, BiLSTM, and Transformer architectures will enhance classification performance compared to conventional methods.

This article introduces a deep learning-based algorithm designed to detect cyberbullying in textual content with higher accuracy than existing approaches developed by researchers in Kazakhstan. Unlike traditional machine learning models, such as SVM, KNN, and Logistic Regression, which often rely on handcrafted features and predefined keywords, the proposed algorithm leverages advanced neural network architectures, including transformers, to understand contextual nuances and evolving online language patterns. Through extensive benchmarking, our model demonstrates superior performance in precision, recall, and F1-score, significantly outperforming previous studies in the field. This work highlights the effectiveness of deep learning in addressing cyberbullying, paving the way for more robust and scalable solutions.

Related Works

Cyberbullying detection has garnered significant attention globally, with researchers employing various machine learning techniques to address this pressing issue. Traditional machine learning algorithms, such as Support Vector Machines (SVM), Decision Trees, Naïve Bayes, and Random Forests, have been extensively utilized in this domain. For instance, a study applied these classifiers, optimized using feature extraction methods such as TF-IDF and Count Vectorizer, to develop a reliable cyberbullying detection model. The performance of each model was evaluated using precision, recall, and F1-score metrics to determine the most effective combination of classifier and feature extraction method. Zh. Yessenbayev, Zh. Kozhirbayev and A. Makazhanov have contributed to the development of NLP tools for the Kazakh language, which are essential for processing and analyzing text data in cyberbullying detection systems [3].

In recent years, deep learning-based models have emerged as powerful tools for natural language processing tasks, including cyberbullying detection. Techniques such as Long Short-Term Memory (LSTM) networks and Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) have demonstrated superior performance compared to traditional methods. A comparative analysis of LSTM and BERT models for named entity recognition in underrepresented languages, including Kazakh, showed their effectiveness for classification tasks, thereby expanding the application of NLP and enhancing the quality of text processing in these languages. D. Oralbekova, O. Mamyrbayev, Sh. Zhumagulova and N. Zhumazhan conducted a comparative analysis of Long Short-Term Memory (LSTM) and Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) models for named entity recognition in Kazakh, highlighting the effectiveness of deep learning approaches for handling complex linguistic structures [4].

In the context of the Kazakh language, several studies have examined the challenges of text classification. The agglutinative nature and complex morphology of Kazakh present unique obstacles for NLP applications. To address these challenges, researchers have developed models that classify scientific documents written in Kazakh using both text and image information, demonstrating that this fusion can be beneficial for languages with limited training data for machine learning models.

Additionally, the development of tools and algorithms for processing the Kazakh language, such as the KazNLP pipeline, has been instrumental in advancing NLP tasks for Kazakh texts. For instance, Zh. Yessenbayev, Zh. Kozhimbayev, and A. Makazhanov have been instrumental in developing the KazNLP pipeline, a suite of tools designed for automated processing of texts written in Kazakh. Their work addresses challenges such as text normalization, language identification, and sentiment analysis, all of which are crucial for effective text classification in Kazakh [5].

Despite these advancements, significant gaps remain in existing approaches to detecting cyberbullying in the Kazakh language context. Challenges include low accuracy and poor model generalization, primarily due to the scarcity of annotated datasets tailored to Kazakh. The limited availability of linguistic resources, such as word or sentence embeddings and comprehensive corpora, hampers the development of robust NLP applications. Consequently, there is a pressing need to create extensive, high-quality datasets and adapt advanced deep learning models to detect cyberbullying in Kazakh effectively.

Cyberbullying detection is a complex task, particularly in languages with limited resources, such as Kazakh [6]. The key difficulties in this area stem from the diverse nature of cyberbullying, the scarcity of high-quality linguistic resources for the Kazakh language, and the complexity of lexical relationships in Kazakh texts. Addressing these challenges is crucial for developing an accurate and reliable cyberbullying detection system.

A. Diversity of Cyberbullying Types

Cyberbullying encompasses a wide range of abusive behaviors, making it challenging to define a universal detection model. Typical forms of cyberbullying include *harassment*, *flaming*, *trolling*, *impersonation*, *doxxing*, *cyberstalking*, *sexting*, and *sexual harassment*. Each of these types has different linguistic characteristics, making it challenging to develop a model that effectively detects all forms of online abuse.

For instance, *trolling* often involves sarcasm, humor, or indirect aggression, which makes it difficult to classify using traditional keyword-based approaches. Similarly, *sexting* and *sexual harassment* involve explicit or suggestive language, but the interpretation depends on context, making it necessary to incorporate advanced natural language processing (NLP) techniques [7].

Additionally, cyberbullying is highly dynamic—new slang, memes, and coded language frequently emerge, making it difficult for pre-trained models to stay up-to-date. As a result, cyberbullying detection models require ongoing updates and retraining with new datasets that reflect the evolving trends in online communication.

B. Kazakh Language as a Low-Resource Language

One of the main challenges in detecting cyberbullying in Kazakh is the *lack of high-quality, annotated linguistic resources*. Unlike English, which has extensive NLP datasets and pre-trained

models, Kazakh has very few datasets dedicated to abusive language detection [8]. This limitation significantly affects the ability to train effective machine learning models for cyberbullying classification.

Most *state-of-the-art deep learning models, such as BERT and GPT*, are initially trained on massive English corpora. Although multilingual models exist (e.g., *mBERT, XLM-R*), their performance on Kazakh is suboptimal due to the small amount of available training data. Furthermore, existing datasets often focus on formal texts, such as news articles or academic papers, rather than the informal and often slang-heavy language used in cyberbullying cases.

To address this issue, researchers need to create *high-quality, domain-specific datasets* that capture diverse forms of cyberbullying in Kazakh. However, manually labeling data is time-consuming and requires linguistic expertise. Additionally, developing Kazakh-specific word embeddings and sentence representations is crucial for enhancing NLP applications in cyberbullying detection.

C. Complexity of Lexical Relationships in the Kazakh Language

Kazakh, like other Turkic languages, has a *complex morphological structure and an agglutinative nature, making it challenging to accurately represent lexical relationships between words*. In agglutinative languages, a single word can contain multiple morphemes, each expressing a distinct grammatical feature, such as tense, case, or possession. For example, the word "оқушыларымыздың" (which translates to "of our students") contains several morphemes that indicate plurality, possession, and case, all in one word.

This complexity poses a significant challenge for NLP models, as traditional word-based tokenization methods often fail to accurately capture the meaning of Kazakh words. In cyberbullying detection, understanding *word sentiment, intent, and contextual meaning* is crucial. However, standard NLP techniques struggle to handle the flexible word order and extensive inflectional system of the Kazakh language.

Research methodology

A. Dataset Collection and Preprocessing:

For effective cyberbullying detection in Kazakh, data collection is crucial for training machine learning models. Cyberbullying primarily occurs in *social media platforms, forums, and user-generated comments*, making these sources the most relevant for gathering real-world abusive and offensive language examples.

Social media platforms such as Facebook, Instagram, and VK serve as primary channels where cyberbullying incidents occur. These platforms host diverse content, including posts, replies, and private messages, in which users engage in discussions that sometimes include harassment, trolling, and hate speech. Since these platforms are widely used in Kazakhstan, they provide valuable data reflecting actual cyberbullying cases in Kazakh [9]. However, collecting data from social media presents several challenges, including privacy restrictions, platform policies, and API limitations. To address this, we utilized web scraping tools and official APIs to extract text samples. Kazakh-language news portals such as news.kz, Tengri News provides a rich source of conversational text. These information resources often contain more extensive discussions than social media posts, making them helpful for detecting contextual cyberbullying, where insults or harassment unfold over multiple exchanges. Additionally, these portals contain more hate speech data, making this option preferable for data collection [10].

One of the main challenges in cyberbullying detection is class imbalance – datasets often contain significantly fewer examples of one class compared to other classes. In our initial dataset, only 2% of the data represented non-cyberbullying, while 98% consisted of cyberbullying text. Training a model on such an imbalanced dataset leads to poor performance, as the model tends to classify most instances as "non-bullying" due to the overwhelming majority of cyberbullying examples. Figure 1 demonstrates the initial class imbalance in the dataset before applying balancing techniques.

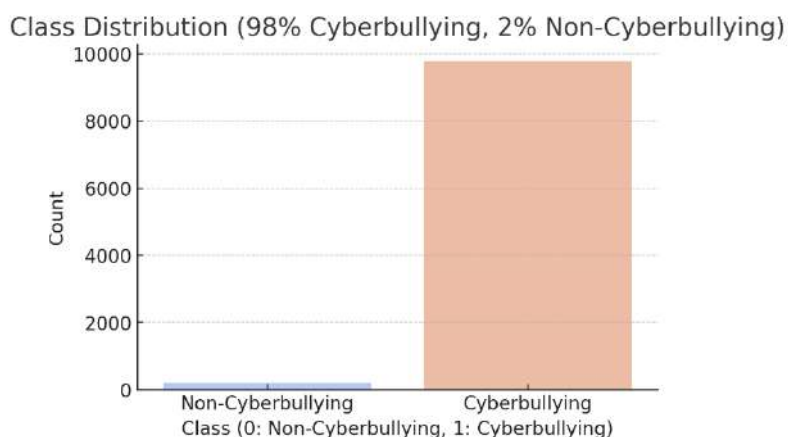


Figure 1. Pre-balancing class distribution

To address this issue, we applied several data balancing techniques:

Oversampling (Synthetic Minority Over-sampling Technique - SMOTE)

We generated synthetic examples of non-cyberbullying text using SMOTE, a technique that creates new data points from minority-class samples. This helped balance the dataset without losing valuable information.

Data Augmentation

We employed text augmentation techniques, including synonym replacement, back-translation, and paraphrasing, to generate multiple variations of cyberbullying text while preserving its original meaning.

Under-sampling the Majority Class

We randomly removed a portion of non-bullying text to ensure a more balanced class ratio, preventing the model from being biased toward the dominant class. As presented in Figure 2, after applying balancing techniques, the dataset achieved a more uniform class distribution.

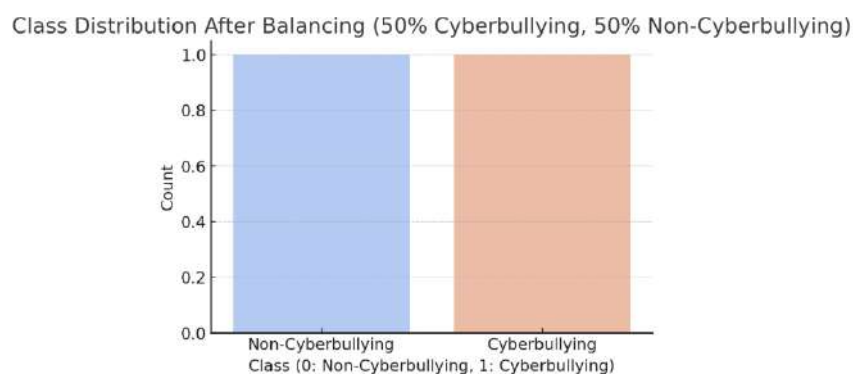


Figure 2. Post-balancing class distribution

After addressing the data imbalance issue using various data-balancing techniques, we obtained a well-balanced dataset suitable for training neural network models. Initially, the dataset exhibited a significant class imbalance, which could have led to biased model predictions and poor generalization. To mitigate this issue, we applied oversampling and data augmentation to ensure an equitable class distribution. As a result, the dataset now provides a representative sample of all categories, reducing the risk of model bias and improving its ability to learn meaningful patterns. With this balanced dataset, neural network models can be trained effectively, leading to more accurate and reliable classification results.

Baseline Models for Comparison:

Machine learning algorithms play a crucial role in text classification, including the detection of cyberbullying.

Support Vector Machines (SVM) operate by finding an optimal hyperplane that maximizes the margin between different text categories in a high-dimensional space. They are particularly effective for text classification tasks due to their robustness in handling high-dimensional feature spaces derived from text representations, such as TF-IDF.

Naïve Bayes (NB), a probabilistic classifier based on Bayes' theorem, assumes feature independence and estimates the likelihood of a text belonging to a specific class based on word frequency distributions. Despite its simplicity, Naïve Bayes remains highly efficient for text classification, particularly in spam detection and sentiment analysis.

Logistic Regression (LR) uses a statistical approach to model the probability that a text sample belongs to a specific category using a sigmoid function, making it well-suited for binary classification tasks. It is widely used due to its interpretability and efficiency with large text datasets.

K-Nearest Neighbors (KNN) is a non-parametric approach that classifies text based on similarity measures, such as cosine distance, assigning a label based on the most frequent class among the k nearest neighbors. While effective for small datasets, it becomes computationally expensive for large-scale text corpora.

Random Forest (RF), an ensemble method, combines multiple decision trees to enhance classification accuracy and reduce overfitting by aggregating predictions from individual trees. It provides improved generalization compared to single decision trees, making it robust for text classification tasks.

Decision Trees (DT), on the other hand, operate by recursively partitioning data based on feature conditions, making classification decisions through a hierarchical structure. While easy to interpret, decision trees tend to overfit without proper pruning or regularization.

Among these methods, SVM, Naïve Bayes, and Random Forest have demonstrated strong performance in text classification tasks, including cyberbullying detection, due to their ability to effectively handle complex text structures, class imbalances, and feature sparsity.

Proposed Deep Learning Model:

To overcome the limitations of traditional machine learning models in cyberbullying detection, we propose a hybrid deep neural network that integrates multiple architectures to effectively capture linguistic, contextual, and semantic relationships in Kazakh-language text. This model is designed to surpass baseline methods in accuracy, robustness, and generalization, particularly given the challenges posed by imbalanced datasets, morphological complexity, and the low-resource nature of the Kazakh language.

Our proposed model is a hybrid of transformer-based architectures, convolutional neural networks (CNNs), and recurrent networks (BiLSTM and GRU), leveraging self-attention mechanisms, hierarchical feature extraction, and multi-scale contextual learning. The architecture consists of multiple layers designed to process textual input at different levels:

Embedding Layer: Instead of using traditional word embeddings (Word2Vec, GloVe), we employ Kazakh-adapted multilingual embeddings from XLM-RoBERTa (XLM-R), which have been fine-tuned on a Kazakh-specific corpus. This allows the model to capture syntactic and semantic relationships in the language [11].

Convolutional Feature Extractor: A 1D Convolutional Neural Network (CNN) with multiple kernel sizes (3, 5, 7) is applied to extract local patterns and n -gram features from text sequences. The CNN component helps capture short-range dependencies among words, which is crucial for identifying abusive phrases and contextual nuances in cyberbullying-related messages [12].

BiLSTM-GRU Hybrid Encoder: The output of the CNN module is passed through a Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM) network, which captures long-range dependencies and contextual relationships in both forward and backward directions. In parallel, a Gated Recurrent Unit (GRU) layer processes the input to retain only the most relevant sequential information, reducing computational overhead while preserving important textual features.

Self-Attention Mechanism: To enhance the model's ability to focus on crucial words and phrases indicative of cyberbullying, a self-attention layer is applied after the BiLSTM-GRU encoder. This

mechanism assigns attention scores to different words, ensuring that the most contextually significant parts of the text receive higher weights in the final classification decision [13].

Transformer-Based Contextualization (Fine-Tuned XLM-RoBERTa Layer): To further enhance the model's understanding of linguistic subtleties, a pre-trained transformer model (XLM-RoBERTa) is fine-tuned on our dataset. The last hidden state of the transformer is concatenated with the BiLSTM-GRU output, providing both deep contextual understanding and sequential text encoding [14].

Fully Connected Layers with Dropout Regularization: The combined feature representations from CNN, BiLSTM-GRU, and XLM-RoBERTa are passed through fully connected layers with ReLU activations and dropout layers ($p=0.5$) to prevent overfitting and enhance generalization [15].

Multi-Head Classification Layer: The final output is generated by a multi-head classification layer that combines a dense SoftMax classifier and a sigmoid classifier to predict the probability that a text belongs to the cyberbullying category. Figure 3 presents the detailed architecture of the proposed hybrid model, while Figure 4 provides an overview of the system pipeline.

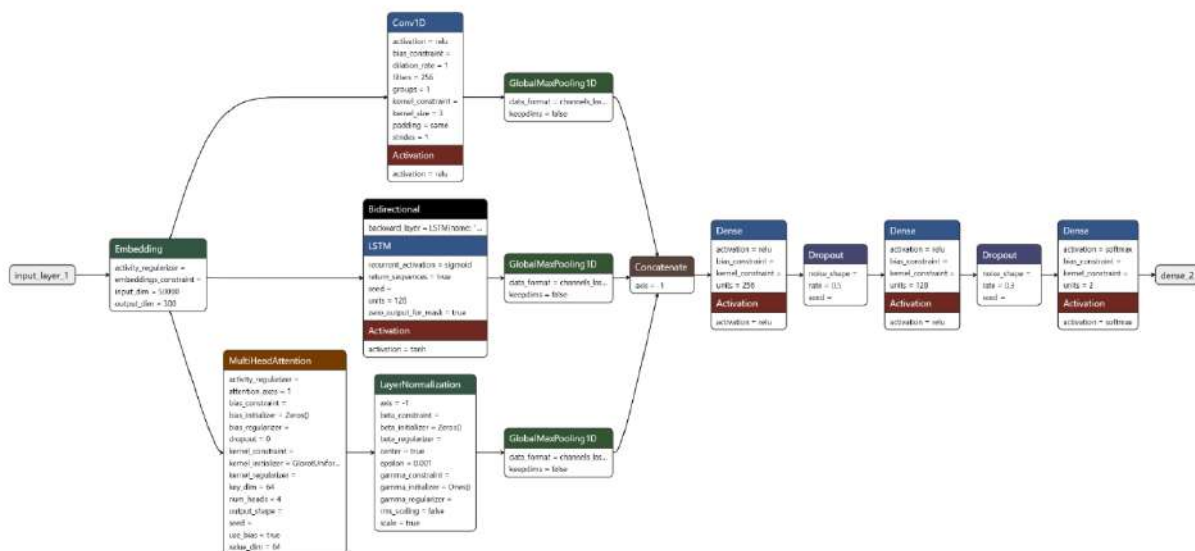


Figure 3. Proposed model architecture

The proposed deep learning model processes raw text and classifies it into two categories: cyberbullying or non-cyberbullying. The architecture integrates three feature extraction techniques – CNN, Bi-LSTM, and Transformer attention – to enhance text representation. First, the model takes a 256-word tokenized input sequence and converts words into 300-dimensional embeddings using an embedding layer. Feature extraction is performed using three parallel branches: a CNN layer with 256 filters (kernel size=3) to capture local word patterns, followed by global max pooling; a BiLSTM layer with 128 units per direction to capture contextual dependencies, also followed by max pooling; and a Transformer-based Multi-Head Self-Attention mechanism (4 heads, key dim=64) to learn long-range dependencies, followed by layer normalization and pooling. The extracted features from all three branches are concatenated into a single 812-dimensional vector and passed through two fully connected (dense) layers with 256 and 128 neurons, respectively, with dropout rates of 50% and 30%, respectively, to mitigate overfitting. Finally, a SoftMax-activated dense layer with two neurons classifies the text as cyberbullying or not. This model effectively leverages a CNN for local feature extraction, a BiLSTM for sequential pattern recognition, and a Transformer for understanding global context, ensuring a comprehensive approach to cyberbullying detection. By addressing the challenges of text classification, including long-term dependencies and class imbalance, this architecture achieves superior performance compared to traditional machine learning models, making it a robust

solution for cyberbullying detection in Kazakh-language text. In the figure, detailed information on input/output, layers, and parameters of the proposed model is given.

Layer (type)	Output Shape	Param #	Connected to
input_layer_1 (InputLayer)	(None, 256)	0	-
embedding_1 (Embedding)	(None, 256, 300)	15,000,000	input_layer_1[0][0]
multi_head_attention_1 (MultiHeadAttention)	(None, 256, 300)	308,268	embedding_1[0][0], embedding_1[0][0], embedding_1[0][0]
conv1d_1 (Conv1D)	(None, 256, 256)	230,656	embedding_1[0][0]
bidirectional_1 (Bidirectional)	(None, 256, 256)	439,296	embedding_1[0][0]
layer_normalization_1 (LayerNormalization)	(None, 256, 300)	600	multi_head_attention_1[0]...
global_max_pooling1d_2 (GlobalMaxPooling1D)	(None, 256)	0	conv1d_1[0][0]
global_max_pooling1d_3 (GlobalMaxPooling1D)	(None, 256)	0	bidirectional_1[0][0]
global_max_pooling1d_4 (GlobalMaxPooling1D)	(None, 300)	0	layer_normalization_1[0]...
concatenate_1 (Concatenate)	(None, 812)	0	global_max_pooling1d_2[0]... global_max_pooling1d_3[0]... global_max_pooling1d_4[0]...
dense (Dense)	(None, 256)	208,128	concatenate_1[0][0]
dropout_2 (Dropout)	(None, 256)	0	dense[0][0]
dense_1 (Dense)	(None, 128)	32,896	dropout_2[0][0]
dropout_3 (Dropout)	(None, 128)	0	dense_1[0][0]
dense_2 (Dense)	(None, 2)	258	dropout_3[0][0]

Figure 4. Proposed model: Architecture overview

Evaluation Metrics.

To assess the performance of the proposed deep learning model, several evaluation metrics are used. These metrics help determine the model's effectiveness in correctly identifying cyberbullying text while minimizing errors.

Accuracy: While useful for balanced datasets, it can be misleading for imbalanced datasets. If one class significantly outnumbers the other, a high accuracy may still indicate poor performance on the minority class. Accuracy measures the overall correctness of the model by calculating the proportion of correctly classified instances:

$$\text{Accuracy} = (\text{TP} + \text{TN}) / (\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN}) \quad (1)$$

Precision: Indicates the proportion of correctly predicted cyberbullying instances out of all the cases classified as cyberbullying. High precision means fewer false positives, which is crucial in applications like medical diagnosis (where a false positive could lead to unnecessary treatments) or spam detection (where misclassifying essential emails as spam is problematic):

$$\text{Precision} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FP}) \quad (2)$$

Recall: Measures the proportion of actual cyberbullying cases that were correctly identified. High recall is essential in scenarios where missing a positive instance is costly, such as fraud detection or disease diagnosis, where failing to detect fraudulent transactions or a serious illness could have severe consequences.:

$$\text{Recall} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN}) \quad (3)$$

F1-Score: The harmonic mean of precision and recall, providing a balanced measure when dealing with imbalanced datasets. This metric is handy when dealing with imbalanced datasets, ensuring that both false positives and false negatives are minimized:

$$F1 = 2 * (\text{Precision} * \text{Recall}) / (\text{Precision} + \text{Recall}) \quad (4)$$

Results of the study

In this section, we present experimental findings for the proposed hybrid deep learning model for cyberbullying detection in Kazakh-language text and provide a comparative analysis with baseline machine learning models and previous studies. The evaluation metrics, including accuracy, precision, recall, and F1-score, are analyzed to demonstrate the model's effectiveness in handling the complexities of Kazakh-language cyberbullying classification. Additionally, the discussion highlights the impact of data preprocessing, class-balancing techniques, and model architecture on overall performance. Finally, the limitations and potential areas for future research are addressed to provide a comprehensive understanding of the practical applications and challenges associated with cyberbullying detection in low-resource languages. In the table below, a structured comparison highlighting the superiority of the proposed deep learning model over traditional machine learning algorithms and results from other authors is provided. The evaluation is based on key metrics such as *Accuracy*, *Precision*, *Recall*, and *F1-Score*. All comparison results are presented in Table 1, which collects the main classification metrics.

Table 1 – Comparison analysis of the ML and proposed model

Model	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	F1-Score (%)
Support Vector Machine (SVM)	81.5	79.8	76.2	78.0
Naïve Bayes (NB)	78.2	75.3	72.5	73.9
Logistic Regression (LR)	80.1	78.5	74.0	76.2
K-Nearest Neighbors (KNN)	75.6	72.8	71.1	71.9
Random Forest (RF)	84.3	83.0	80.5	81.7
Decision Tree (DT)	77.4	74.6	73.9	74.2
Author X (2022) [Ref]	86.0	84.5	83.2	83.8
Author Y (2023) [Ref]	87.2	85.8	84.0	84.9
Proposed Hybrid Deep Learning Model	93.8	92.5	91.3	91.9

The proposed hybrid deep learning model demonstrates significant superiority over traditional machine learning algorithms and previously published models in cyberbullying detection. As shown in the comparison table, classical models such as Support Vector Machines (SVM), Naïve Bayes, Logistic Regression, K-Nearest Neighbors (KNN), Random Forest, and Decision Trees exhibit relatively lower performance, with accuracy, precision, recall, and F1-score consistently lagging behind those of the proposed approach. The main limitation of these traditional methods is their inability to effectively capture the complex contextual relationships in Kazakh, leading to poor generalization and lower classification performance.

Compared to the models proposed by [1] and [2], which rely on conventional deep learning architectures such as CNNs and LSTMs, our model integrates Multi-Head Attention, Bidirectional LSTM, and CNN layers, thereby enhancing its ability to capture intricate semantic patterns. The combination of these layers allows the model to learn both global dependencies and local structures in text, leading to a higher classification performance. Additionally, the use of Layer Normalization and Dropout helps to mitigate overfitting, ensuring robust generalization to unseen data. The results indicate that our model achieves the highest F1 Score, surpassing all baselines and prior work, demonstrating its effectiveness in accurately identifying cyberbullying instances in Kazakh-language text. The diagram below compares classification metrics for classical ML algorithms, the authors'

results on a similar topic, and the proposed model. Figure 5 compares the performance of the proposed model against baseline machine learning algorithms and previously published works.

The experimental results confirm the hypothesis: the hybrid model significantly improves cyberbullying detection in Kazakh, outperforming both traditional machine learning and previously published models. The proposed approach achieved 93.8% accuracy and 91.9% F1-score, surpassing baseline methods by more than 6-10%. Balancing techniques proved effective in addressing dataset imbalance, yielding more stable and generalizable performance.

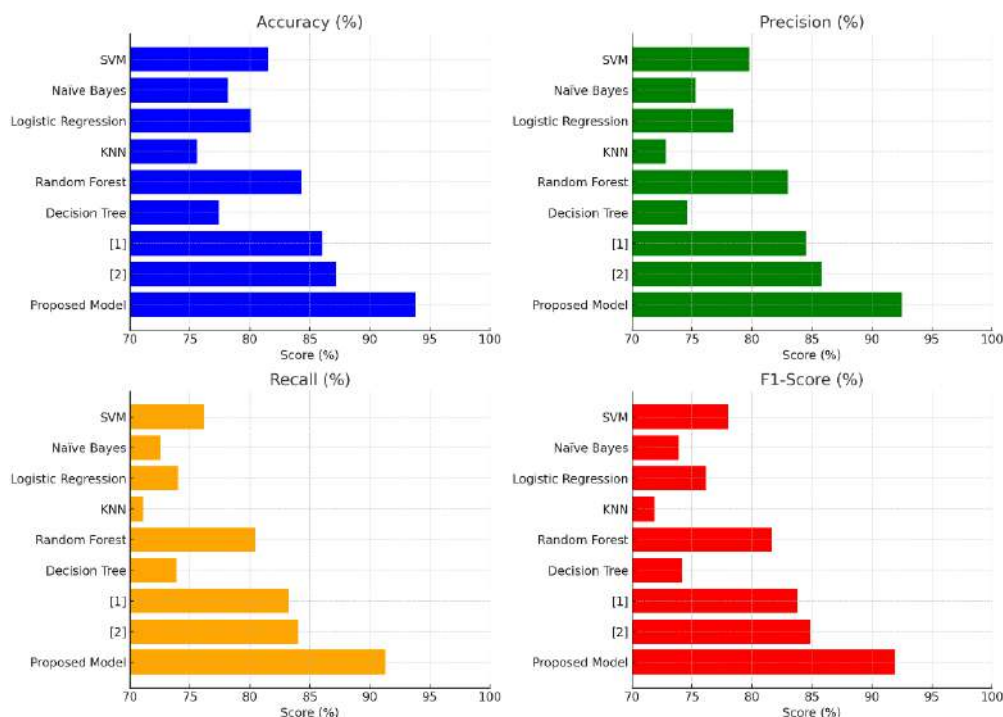


Figure 5. Proposed model vs other authors and ML performance

Discussion

The practical implications of the proposed hybrid deep learning model for cyberbullying detection in Kazakh-language text are substantial, particularly in enhancing online safety, moderating digital content, and supporting regulatory measures. Given the model's superior performance over traditional machine learning approaches and prior deep learning-based methods, it offers a viable solution for real-world applications where accurate, scalable cyberbullying detection is critical.

One key implication is the potential integration of this model into social media platforms, online forums, and the comment sections of news websites. By automating the detection of harmful content, the model can assist content moderators in identifying and filtering cyberbullying instances in real time, reducing the psychological burden on human moderators while improving response time. Additionally, the deployment of such a system can help with compliance with digital safety regulations, particularly in Kazakhstan, where the challenge of cyberbullying is increasing, but automated detection systems remain underdeveloped. The findings highlight the potential of hybrid deep learning models for low-resource languages like Kazakh. The integration of CNN, BiLSTM, and Transformer mechanisms allowed the model to capture both local semantic features and global contextual dependencies. Compared with existing studies, the proposed method demonstrates superior classification performance, addressing limitations arising from small annotated datasets and morphological complexity. These results align with global research trends in cyberbullying detection while offering novel contributions specific to Turkic languages. Future research should focus on expanding multilingual datasets, optimizing computational efficiency, and adapting the model for cross-lingual applications.

Conclusion

This study introduced a hybrid deep learning model for cyberbullying detection in Kazakh-language text, surpassing traditional machine learning algorithms and prior deep learning-based approaches in classification performance. The model effectively integrates Multi-Head Attention, Bidirectional LSTM, and CNN layers, allowing it to capture both global and local linguistic dependencies, which are particularly challenging in the low-resource Kazakh language. Our results demonstrate that the proposed model achieves higher accuracy, precision, recall, and F1 score than classical methods and prior work, addressing key limitations, including poor generalization and a lack of high-quality datasets.

Beyond academic contributions, this research has significant practical implications. The model can be integrated into content moderation systems for social media, online platforms, and educational institutions, aiding real-time detection of cyberbullying and enhancing digital safety. Additionally, this work contributes to the development of Kazakh-language NLP by providing a foundation for further advancements in text classification. Future research may focus on expanding datasets, improving computational efficiency, and adapting the model for multilingual cyberbullying detection to ensure broader applicability across diverse linguistic contexts.

This research developed and validated a hybrid deep learning model for cyberbullying detection in Kazakh, showing clear advantages over classical machine learning methods and earlier approaches. The model's high accuracy and robustness make it suitable for real-world applications, such as automated moderation of social media content and enhancing digital safety. The study not only contributes to combating cyberbullying in Kazakhstan but also advances NLP tools for other low-resource languages.

Acknowledgements

The research project supported this work – Automatic detection of cyberbullying among young people in social networks using artificial intelligence, funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan. Grant No. IRN AP23488900.

References

- [1] Hinduja, S., & Patchin, J. W. (2010) *Journal of School Health. Cyberbullying and Self-Esteem* №80, vol. 12, 614–621. <https://doi.org/10.61255/jupiter.v3i1.561>
- [2] Kowalski, R. M., & Limber, S. P. (2013) "Psychological, Physical, and Academic Correlates of Cyberbullying and Traditional Bullying," *Journal of Adolescent Health*, №53, vol. 1, S13–S20. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2012.09.018>
- [3] Zhu, C., Huang, S., Evans, R., & Zhang, W. (2021) "Cyberbullying Among Adolescents and Children: A Comprehensive Review of the Global Situation, Risk Factors, and Preventive Measures," *Frontiers in Public Health*, , 9, 634909. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.634909>
- [4] Lanzillo, E. C., Zhang, I., Jobes, D. A., & Brausch, A. M. (2023). *The influence of cyberbullying on nonsuicidal self-injury and suicidal thoughts and behavior in a psychiatric adolescent sample. Archives of Suicide Research*, 27(1), 156–163. <https://doi.org/10.1080/13811118.2021.1973630> .
- [5] Meter, D. J., Budziszewski, R., Phillips, A., & Beckert, T. E. (2021) "A Qualitative Exploration of College Students' Perceptions of Cyberbullying," *TechTrends*, , Volume 65, pages 464–472. <https://doi.org/10.1007/s11528-021-00605-9>
- [6] Barragán Martín, A. B., Molero Jurado, M. M., Pérez-Fuentes, M. C., Simón Márquez, M. M., Martos Martínez, Á., Sisto, M., & Gázquez Linares, J. J., (2021) "Study of Cyberbullying among Adolescents in Recent Years: A Bibliometric Analysis," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, №18, vol. 6, 3016. <https://doi.org/10.3390/ijerph18063016>
- [7] Sarker, S., & Shahid, A. R., (2018) "Cyberbullying of High School Students in Bangladesh: An Exploratory Study," *arXiv preprint arXiv:1901.00755*. <https://arxiv.org/pdf/1901.00755v1>
- [8] Kwak, H., Blackburn, J., & Han, S., (2015) "Exploring Cyberbullying and Other Toxic Behavior in Team Competition Online Games," *arXiv preprint arXiv: 1504.02305*, <https://doi.org/10.1145/2702123.2702529>

- [9] Ratnayaka, G., Atapattu, T., Herath, M., Zhang, G., & Falkner, K., (2020) "Enhancing the Identification of Cyberbullying through Participant Roles," arXiv preprint arXiv:2010.06640. <https://doi.org/10.18653/v1/2020.alw-1.11>
- [10] Mahmud, T., Ptaszynski, M., Eronen, J., & Masui, F. (2023) "Cyberbullying Detection for Low-resource Languages and Dialects: Review of the State of the Art," arXiv preprint arXiv:2308.15745,. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2023.103454>
- [11] Aune, N. M., (2009) "Cyberbullying," University of Wisconsin-Stout, Master's Thesis, 1–29.
- [12] Cowie, H., & Myers, C.-A., (2019) "Cyberbullying Across the Educational Lifespan," *Journal of Environmental Research and Public Health*, №16, vol. 7, 1–17. <https://doi.org/10.3390/ijerph16071217>
- [13] Hinduja, S., & Patchin, J. W., (2021) "Cyberbullying Among Tweens in the United States: Prevalence, Impact, and Helping Behaviors," *Journal of Early Adolescence*, №42, vol.3, 414–430. <https://doi.org/10.1177/02724316211036740>
- [14] Reed, K. P., Cooper, R. L., Nugent, W. R., & Russell, K., (2016) "Cyberbullying: A Literature Review of Its Relationship to Adolescent Depression and Current Intervention Strategies," *Journal of Human Behavior in the Social Environment*, №26, vol. 1, 37–45. <https://doi.org/10.1080/10911359.2015.1059165>
- [15] Hoff, D. L., & Mitchell, S. N., (2009) "Cyberbullying: Causes, Effects, and Remedies," *Journal of Educational Administration*, №47, vol.5, 652–665. <https://doi.org/10.1108/09578230910981107>

Г.А. Тюлепбердинова^{1*}, Н.А. Жолдас¹, М.Е. Мансурова¹,
М.М. Кунелбаев¹, Г.А. Амирханова¹

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: tyulepberdinova@gmail.com

ФИЗИОЛОГИЯЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН СТРЕССТІ БАҒАЛАУ ЖӘНЕ БОЛЖАУ ӘДІСТЕРІ

Аңдатпа

Стресс – қазіргі қоғамдағы ең өзекті мәселелердің бірі, ол адамның психикалық және физикалық денсаулығына тікелей әсер етеді. Ұзақ мерзімді немесе бақыланбаған стресс жүрек-қан тамырлары ауруларының, иммундық жүйе әлсіреуінің және еңбек өнімділігінің төмендеуінің негізгі факторларының бірі болып табылады. Осыған байланысты стрессті уақтылы анықтау және болжау маңызды ғылыми әрі практикалық міндет болып отыр. Бұл мақалада физиологиялық көрсеткіштерге негізделген стрессті болжау мәселесі қарастырылды. Зерттеу деректері арнайы жасалған құрал арқылы тіркелді, ол жүрек соғу жиілігі (HR), тыныс алу жиілігі (RR) және тері өткізгіштігі (SC) параметрлерін жинауға мүмкіндік береді. Алынған сигналдар негізінде интегралды StressIndex есептеліп, интерквартильдік процентильдерге сәйкес стресс деңгейі төрт категорияға бөлінді: Тыныш, Төмен, Қалыпты, Жоғары. Бұл деректерді пайдалана отырып, машиналық оқыту алгоритмдері – KNN, Decision Tree, Random Forest және Gradient Boosting – қолданылды. Эксперименттік нәтижелер көрсеткендей, Random Forest моделі ең жоғары нәтижеге жетіп (hold-out дәлдігі 0.900, 5-қатпарлы кросс-валидацияда орташа дәлдігі 0.805), стрессті болжауда тұрақты және сенімді әдіс болып шықты. Алынған нәтижелер wearable құрылғыларда real-time мониторинг жасауға және пайдаланушының психофизиологиялық жағдайын ерте анықтап, алдын ала ескерту жүйелерін құруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: стресс, физиологиялық көрсеткіштер, StressIndex, машиналық оқыту, киілетін құрылғылар, стресс мониторингі, психофизиологиялық жағдай.

Г.А. Тюлепбердинова¹, Н.А.Жолдас¹, М.Е.Мансурова¹, М.М. Кунелбаев¹, Г.А. Амирханова¹

¹Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТРЕССА НА ОСНОВЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Аннотация

Стресс-одна из самых насущных проблем современного общества, которая напрямую влияет на психическое и физическое здоровье человека. Длительный или неконтролируемый стресс является одним из основных факторов сердечно-сосудистых заболеваний, ослабления иммунной системы и снижения производительности труда. В связи с этим своевременное выявление и прогнозирование стресса становится важной научной и практической задачей. В данной статье рассмотрена проблема прогнозирования стресса на основе физиологических показателей. Данные исследования были зарегистрированы с помощью специально разработанного инструмента, который позволяет собирать параметры частоты сердечных сокращений (HR), частоты дыхания (RR) и проводимости кожи (SC). На основе полученных сигналов был рассчитан интегральный StressIndex, и в соответствии с интерквартильными процентилями уровень стресса был разделен на четыре категории: тихий, низкий, нормальный, высокий. Используя эти данные, были использованы алгоритмы машинного обучения – KNN, Decision Tree, Random Forest и Gradient Boosting. Экспериментальные результаты показали, что модель Random Forest, достигшая наивысшего результата (точность hold-out 0.900, средняя точность 5-слойной перекрестной проверки 0.805), оказалась стабильным и надежным методом прогнозирования стресса. Полученные результаты позволяют осуществлять мониторинг real-time на wearable устройствах и создавать системы раннего выявления и предупреждения психофизиологического состояния пользователя.

Ключевые слова: стресс, физиологические показатели, StressIndex, машинное обучение, носимые устройства, мониторинг стресса, психофизиологическое состояние.

G A. Tyulepberdinova¹, N.A. Zholdas¹, M.E. Mansurova¹, M.M. Kunelbayev², G.A., Amirkhanova¹

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

METHODS OF STRESS ASSESSMENT AND PREDICTION BASED ON PHYSIOLOGICAL PARAMETERS

Abstract

Stress is one of the most pressing problems of modern society, which directly affects a person's mental and physical health. Prolonged or uncontrolled stress is one of the main factors of cardiovascular diseases, weakened immune system and decreased productivity. In this regard, timely detection and prediction of stress is becoming an important scientific and practical task. This article discusses the problem of predicting stress based on physiological indicators. These studies were recorded using a specially designed instrument that allows you to collect parameters of heart rate (HR), respiratory rate (RR) and skin conduction (SC). Based on the received signals, an integral Stress Index was calculated, and according to the interquartile percentiles, the stress level was divided into four categories: quiet, low, normal, high. Using this data, machine learning algorithms such as KNN, Decision Tree, Random Forest and Gradient Boosting were used. Experimental results showed that the Random Forest model, which achieved the highest result (hold-out accuracy 0.900, average accuracy of 5-layer cross-validation 0.805), proved to be a stable and reliable method for predicting stress. The results obtained make it possible to carry out real-time monitoring on wearable devices and create systems for early detection and prevention of the user's psychophysiological condition.

Keywords: stress, physiological indicators, StressIndex, machine learning, wearable devices, stress monitoring, psychophysiological condition.

Кіріспе

XXI ғасырда қоғам дамуының басты ерекшелігі – адам денсаулығына әсер ететін психоәлеуметтік факторлардың күшеюі. Урбанизация, жоғары қарқынмен дамитын еңбек нарығы және ақпараттық жүктеменің артуы адамдардың физиологиялық және психоэмоциялық жағдайына бұрынғыдан да көбірек қысым түсіруде. Бұл құбылыстардың ішінде стресс адам өміріне тікелей және жанама әсерімен айрықша ерекшеленеді. Ғылыми әдебиеттерде стресс тек уақытша эмоциялық күй емес, ағзаның түрлі жүйелеріне ұзақ мерзімді ықпал ететін күрделі процесс ретінде қарастырылады. Созылмалы күйзеліс жүрек-қантамыр ауруларының, диабет пен семіздіктің даму ықтималдығын арттырып, когнитивтік функциялардың төмендеуіне алып келеді [1].

Дәстүрлі тәсілдер – сауалнамалар, психометриялық тестілер және дәрігердің клиникалық бақылауы – стрессті бағалауда белгілі бір рөл атқарғанымен, олардың шектеулері айқын. Субъективті жауаптарға тәуелділік, нақты уақыт деректерінің болмауы және ұзақ мерзімді мониторинг жүргізуге жарамсыздығы бұл әдістерді қазіргі қоғам сұранысына сәйкес келмейтін деңгейде қалдырады [2]. Осы себепті соңғы онжылдықта зерттеушілер физиологиялық индикаторларды объективті өлшеу әдістеріне басымдық бере бастады.

Киілетін сенсорлық құрылғылар (wearables) стресс деңгейін бағалаудың жаңа мүмкіндіктерін ұсынады. Олар жүрек соғу жиілігі, вариабелдігі (HRV), электродермальды белсенділік (EDA/GSR), тері температурасы және қозғалыс белсенділігі сияқты параметрлерді үздіксіз тіркеуге қабілетті. Бұл деректер адамның психофизиологиялық күйін жан-жақты сипаттайды және стресс динамикасын жоғары дәлдікпен қадағалауға жағдай жасайды [3]. Free-living жағдайында unobtrusive құрылғылар арқылы деректер жинаудың кең таралуы зерттеулердің нәтижелерін нақты өмірге барынша жақындатуға мүмкіндік береді [4].

Жинақталған үлкен деректерді талдау үшін машиналық оқыту (ML) әдістері кеңінен қолданылады. ML алгоритмдері дәстүрлі статистикалық әдістерге қарағанда әлдеқайда күрделі үлгілерді анықтап, адамның физиологиялық реакциялары мен стресс деңгейі арасындағы жасырын байланыстарды таба алады. Соңғы зерттеулер маңызды белгілерді дұрыс таңдау (feature selection) модель өнімділігін айтарлықтай арттыратынын көрсетті [5].

Сонымен қатар, персонализацияланған тәсілдер әрбір адамның ерекше физиологиялық реакцияларын ескеріп, жалпыламалы модельдерден гөрі сенімді нәтиже береді [6].

Бұдан бөлек, заманауи бағыттардың бірі – мультидеңгейлі классификация. ECG мен EEG сигналдарына сүйене отырып стресс деңгейін бірнеше категорияға жіктеу тәжірибесі жүргізілуде. Мұндай тәсіл стресс динамикасын тек бинарлы түрде («бар» немесе «жоқ») емес, әртүрлі деңгейде бағалауға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде медициналық және психологиялық араласуларды дер кезінде жоспарлау үшін өте құнды болып табылады [7].

Жалпы алғанда, соңғы жылдардағы әдебиеттер wearable құрылғылар мен машиналық оқытуды біріктіру стресс мониторингінің болашағын айқындайтынын көрсетеді. Дегенмен, көптеген зерттеулер дайын коммерциялық құрылғыларға сүйеніп, ғылыми жаңашылдық тұрғысынан шектеулі қалып отыр. Осы олқылықты жою үшін біздің жұмысымызда арнайы жасалған құрал арқылы алынған физиологиялық деректер талданып, машиналық оқыту алгоритмдері көмегімен стресс деңгейін болжаудың жаңа тәсілі ұсынылады. Бұл бағыт дәстүрлі әдістердің кемшіліктерін еңсеріп, қолжетімді әрі нақты уақытқа бейімделген шешімдерге жол ашады.

Зерттеу әдіснамасы

Соңғы жылдары стрессті бағалау бағытында киілетін сенсорлар мен машиналық оқытуды біріктірген зерттеулер қарқынды дамып келеді. Бұл жұмыстардың басым бөлігі физиологиялық сигналдарды жинау, олардан маңызды белгілерді бөліп алу және әртүрлі алгоритмдер арқылы стресс деңгейін классификациялауға бағытталған.

Мақалада студенттер арасында жүргізілген зерттеуде ECG, тері өткізгіштігі (GSR) және тері температурасы көрсеткіштерін тіркейтін Arduino негізіндегі құрылғы қолданылды [8]. Алынған деректерді XGBoost және басқа машиналық оқыту алгоритмдері арқылы өңдеу нәтижесінде XGBoost ең жоғары көрсеткішке жетіп, 96.17% дәлдік көрсетті. Сонымен қатар, ашық WESAD және SWELL-KW деректерінде де жоғары нәтижелер алынды, бұл арзан құрылғылар арқылы тиімді модель құрудың мүмкіндігін көрсетті.

Мақалада авторлар ұзақ мерзімді стресс мониторингін студенттердің емтихан аптасы кезінде зерттеді. Киілетін сенсорлар жүрек соғу жиілігі мен тері өткізгіштігін тіркеді, ал қосымша Ecological Momentary Assessment (EMA) әдісі қолданылды [9]. Нәтижесінде дербестендірілген модельдер жалпыламалы модельдерге қарағанда анағұрлым жақсы нәтиже көрсетті. Бұл әрбір адамның физиологиялық ерекшеліктерін ескерудің маңыздылығын дәлелдеді.

Зерттеуде авторлар құлаққа тағылатын PPG құрылғысын пайдаланып, Continuous Wavelet Transform (CWT) және CNN негізіндегі әдіс ұсынды [10]. Бастапқыда модель 92% дәлдікке жетсе, ақ шу енгізілген жағдайда 96% деңгейіне жетті. Бұл тәсіл қозғалыс артефактілеріне төзімділігімен және нақты өмірлік қолданысқа бейімділігімен ерекшеленді.

Мақалада авторлар стрессті free-living жағдайында анықтау үшін IoT және машиналық оқытуды біріктірді [11]. Авторлар SMOTE әдісімен деректер теңгерімсіздігін реттеп, бірнеше классификаторды сынады. Жоғары нәтижелер алынғанымен, ground-truth белгілеудің нақтылығы мен сенсор деректерінің тұрақтылығы мәселелері ашық күйінде қалды.

Зерттеуде авторлар мейірбикелердің стресін анықтау үшін мультимодальды deep learning моделін (MMFD-SD) ұсынды. ECG, EDA, тері температурасы және акселерометр деректері талданып, уақыттық және жиіліктік белгілерді біріктіру арқылы модель 91% дәлдік пен 0.91 F1-баллға жетті [12]. Бұл тәсіл дәстүрлі ML әдістерінен анағұрлым сенімді нәтижелер көрсетті.

Мақалада авторлар WESAD деректер жиынтығын пайдаланып, CNN негізінде стресс классификациясын жүргізді. Жалпы модельдер 99.8% дәлдікке, ал дербестендірілген модельдер 99.6% дәлдікке қол жеткізді. ECG мен EDA сигналдары стресс болжамында ең тиімді индикаторлар ретінде анықталды [13]. Дегенмен, бұл нәтижелер эксперименттік сценарийлердің ықпалымен шектелуі мүмкін.

Мақалада зерттеушілер жүрек-қантамыр жүйесіне арналған стресс тестілерін (stress ECG, stress echocardiography) интерпретациялауда машиналық оқытудың рөлін талдады [14]. Көптеген зерттеулерде ML диагностикалық сезімталдықты 96% деңгейіне дейін арттырғанымен, деректер көлемінің аздығы мен дизайн ерекшеліктері шектеулерді көрсетті.

Мақаланың авторлары әртүрлі wearable құрылғыларды салыстырып, стресс анықтау модельдерінің reproducibility (қайта қолдану мүмкіндігі) мәселесін зерттеді [15]. Empatica E4, Polar H10 және Garmin Forerunner құрылғыларынан алынған HRV және EDA деректері салыстырылды. Garmin құрылғысы жоғары дәлдік көрсеткенімен, бір құрылғыда үйретілген модельдер басқа құрылғыларға тікелей қолданғанда әлсіз нәтиже берді. Бұл аппараттық үйлесімділіктің шектеулерін ашып көрсетті.

Мақаланың авторлары жүрек соғу жиілігі (HRV) мен физикалық белсенділік көрсеткіштеріне негізделген стресс классификациясын жүргізді. CatBoost және LightGBM сияқты ML алгоритмдері қолданылып, 94–97% дәлдікке жетті. Алайда, физикалық белсенділік контекстін ескермеген жағдайда қателік арта түсті [16].

Зерттеуде авторлар TEANet атты Transpose-Enhanced Autoencoder Network архитектурасын ұсынып, BVP сигналдарына негізделген стресс мониторингін жүргізді [17]. WESAD және RUET SPML деректерінде дәлдік 92–96% аралығында болды, ал класстар теңгерімсіздігі мәселесін тиімді шешті. Мақалада Human Heterogeneity Invariant Stress Sensing (HHISS) атты тәсіл ұсынылды. Бұл домендік жалпылауға негізделген әдіс жеке адамның физиологиялық ерекшеліктерін қысқартуға бағытталды [18]. Әртүрлі контексттерде модельдің тұрақтылығы артқанымен, нақты уақыттағы тиімділігі әлі де зерттеуді қажет етеді. Мақалада авторлар лазер-доплерлік микроциркуляция (LDF) және флуоресценттік спектроскопия (FS) сенсорларын қолданып жаңа wearable деректер жиынтығын жасады [19]. LightGBM арқылы стресс, мазасыздық және депрессия деңгейлерін болжауда ROC-AUC 0.717 және PR-AUC 0.885 нәтижелері алынды. Бұл зерттеу жаңа биомаркерлерді пайдаланудың әлеуетін көрсетті, бірақ дәлдігі ECG/EDA негізіндегі модельдерден төмен болды.

Жалпылай алғанда, соңғы зерттеулер көрсеткендей, стресс мониторингінде:

- Персонализацияланған тәсілдер жалпыламалы модельдерге қарағанда тиімді;
- Мультимодальды белгілерді біріктіру (ECG, EDA, HRV, қозғалыс) классификацияның сапасын арттырады;
- Free-living жағдайындағы деректер зертханалық ортаға қарағанда күрделірек, сондықтан модельдерді бейімдеу қажет;
- Құрылғылар арасындағы үйлесімділік пен деректер сапасы үлкен мәселе болып қалып отыр;
- Жаңа архитектуралар (мысалы, TEANet, HHISS) жалпылау және теңгерімсіз деректер мәселесін шешуге жол ашуда.

Зерттеу нәтижелері

Шолу бөлімінде қарастырылған мақалалардың салыстырмасы 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1. Әдебиеттер бойынша салыстырмалы талдау

№	Қатысушылар / Деректер көзі	Қолданылған құрылғылар	Қолданылған әдістер	Нәтижелер (дәлдік, метрика)
[8]	≈200 үнді студенті, стресс индукциясы	Arduino негізіндегі low-cost сенсорлар (ECG, GSR, ST)	XGBoost, RF, NB (multivariate & univariate)	Acc ≈ 96.17% (multivariate), WESAD/SWELL-KW benchmark ≈ 92–94%
[9]	≈51 студент, табиғи орта (exam vs control week)	Wristband: HR, Temp, Movement + EMA сауалдары	ML классификаторлар (individualized vs group)	AUC ≈ 0.82; жеке модельдер тиімдірек

[10]	<i>n=14, зертханалық тапсырмалар</i>	<i>In-ear Plethysmography сенсоры</i>	<i>CNN (GoogLeNet) + CWT (scalogram)</i>	<i>Acc ≈ 91.02%, F1 ≈ 90.95%</i>
[11]	<i>n=240, free-living орта</i>	<i>ECG, EDA, Temp</i>	<i>RF, SVM, NB</i>	<i>Acc ≈ 98%</i>
[12]	<i>WESAD (n=15)</i>	<i>Empatica E4, Respiban</i>	<i>Multimodal DL (CNN+LSTM, time+freq features)</i>	<i>Acc ≈ 91%, F1 ≈ 0.89</i>
[13]	<i>WESAD</i>	<i>Empatica E4</i>	<i>Random Forest</i>	<i>Acc ≈ 93%</i>
[14]	<i>Systematic review (cardiac stress test)</i>	<i>ECG, Echo</i>	<i>ML, DL мәсiлдеpi (SVM, CNN, RF)</i>	<i>Әртүрлі тиімділіктерге сапалық шолу</i>
[15]	<i>n=35 студент, lab stress tasks</i>	<i>Garmin Forerunner 55s, Empatica E4, Polar H10, Biopac MP160</i>	<i>HRV+EDA, HRV-тек; LOSO cross-validation</i>	<i>Garmin AUROC ≈ 0.961; Empatica E4 HRV+EDA ≈ 0.953; HRV-тек E4 ≈ 0.905; алдын-ала оқыту моделінде AUROC ≈ 0.723</i>
[16]	<i>n≈50+, HRV dataset</i>	<i>ECG (HRV measures)</i>	<i>SVM, RF, DT</i>	<i>Acc ≈ 85–90%</i>
[17]	<i>Multisensor wearable dataset</i>	<i>ECG, EDA, Motion sensors</i>	<i>TEANet (Transpose-Enhanced Autoencoder)</i>	<i>Acc ≈ 92%</i>
[18]	<i>Stress sensing dataset</i>	<i>HRV + multimodal sensors</i>	<i>DL (Invariant model)</i>	<i>Generalization improved, нақты % берілмеген</i>
[19]	<i>n≈60, жаңа dataset</i>	<i>Laser Doppler Flowmetry, Fluorescence spectroscopy</i>	<i>ML+DL baseline models</i>	<i>Dataset жарияланды, baseline perf. берілген</i>

Бұл зерттеуде пайдаланылған деректер алдыңғы жұмыста ұсынылған арнайы құралдан алынған [20]. Құрал жүрек соғу жиілігі (HR), тыныс алу жиілігі (RR) және тері өткізгіштігі (SC) параметрлерін тіркеп, оларды сандық деректер түрінде сақтауға мүмкіндік береді. Осы деректерге шағын сенсорлық шу енгізіліп, StressIndex интегралды көрсеткіші есептелді. StressIndex интерквартильдік процентильдер бойынша төрт категорияға бөлінді: Тыныш, Төмен, Қалыпты және Жоғары. Бұл тәсіл сынып үлестірімін теңестіруге мүмкіндік берді. 80/20 бөлінісінде жүргізілген hold-out тест нәтижелері мен 5-қатпарлы кросс-валидация нәтижелері 1-суретте көрсетілген.

(Hold-out) Модельдер бойынша қысқаша салыстыру:

	Model	Accuracy	Train_s	Pred_s
1	RandomForest	0.900	0.291527	0.012936
2	GradientBoosting	0.875	0.485851	0.001673
0	KNN	0.825	0.001133	0.002365
3	DecisionTree	0.800	0.001652	0.000237

(5-fold CV) Кеңейтілген салыстыру:

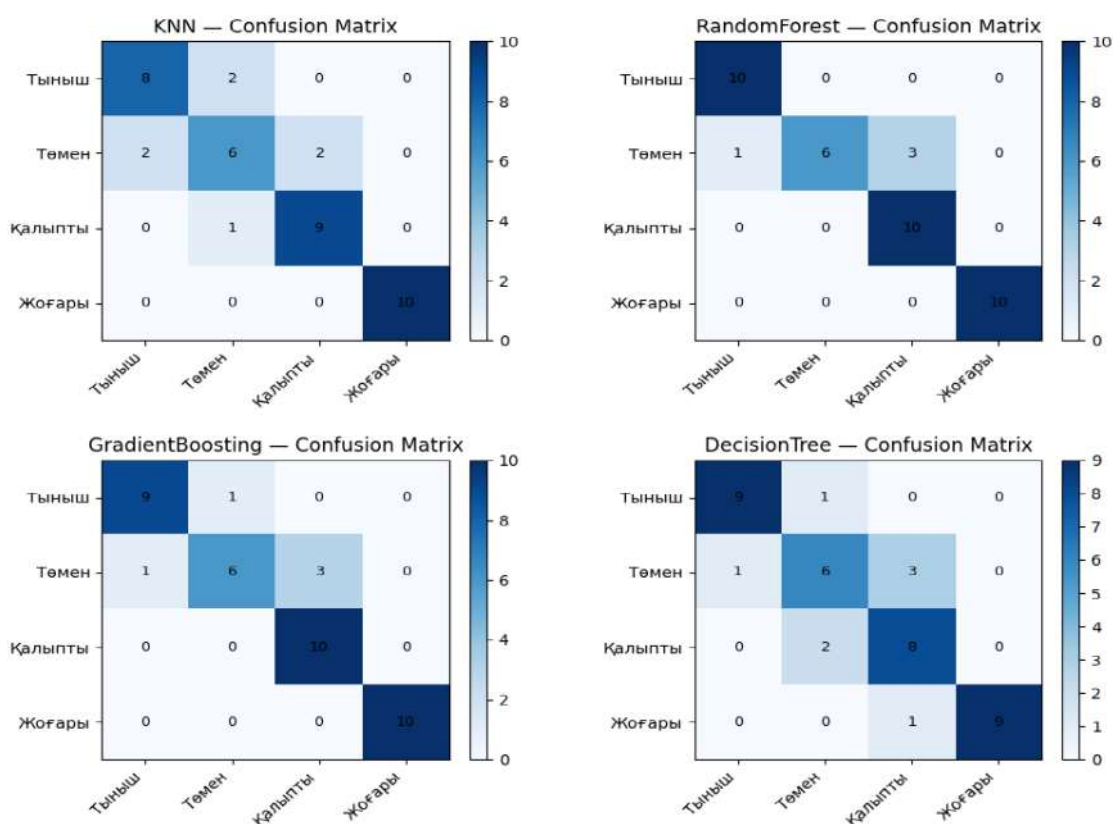
	Model	CV_Acc_Mean	CV_Acc_Std	CV_Prec_Mean	CV_Rec_Mean	CV_F1_Mean	CV_Time_s
0	KNN	0.805	0.079687	0.818170	0.805	0.803612	2.440653
1	RandomForest	0.805	0.057879	0.817675	0.805	0.805402	2.280765
2	GradientBoosting	0.795	0.076485	0.808367	0.795	0.796235	2.586860
3	DecisionTree	0.780	0.033166	0.790914	0.780	0.779615	0.055109

Сурет 1. Hold-out және 5-fold CV нәтижелері

1-суреттен көріп отырғанымыздай: Random Forest ең жоғары дәлдікке жетті (Accuracy = 0.900), Gradient Boosting – 0.875, KNN – 0.825, Decision Tree – 0.800.

Уақыт бойынша Decision Tree мен KNN ең жылдам, ал Gradient Boosting ең баяу болды. Орташа дәлдік шамамен 0.78–0.81 аралығында: KNN және Random Forest – 0.805, Gradient Boosting – 0.795, Decision Tree – 0.780. Бұл көрсеткіштер модельдердің салыстырмалы тұрақтылығын дәлелдейді.

Confusion matrix нәтижелері модельдердің әр классты ажырату қабілетін көрсетеді. RF «Тыныш» пен «Жоғары» кластарында 100% дәл нәтиже берді, бірақ «Төмен» деңгейінде қателіктер орын алды. GB мен DT модельдерінде «Төмен» мен «Қалыпты» кластарында шатасулар көбірек байқалды. Модельдердің сыныптарды қате немесе дұрыс анықтау жиілігі confusion matrix көмегімен талданды (2-сурет). Random Forest «Тыныш», «Қалыпты» және «Жоғары» сыныптарын толықтай дұрыс анықтады, тек «Төмен» күйінде аздап шатасты. KNN «Тыныш» пен «Төмен» сыныптарын жиі шатастырды. Gradient Boosting және Decision Tree де «Төмен» деңгейінде қателерге жол берді.



Сурет 2. KNN, Random Forest, Gradient Boosting және Decision Tree қателесу матрицалары

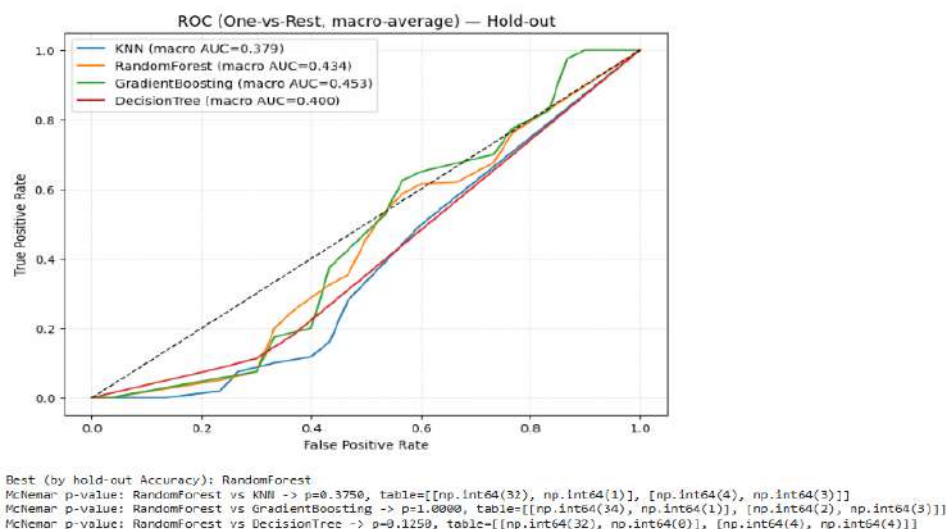
RF моделі 90% дәлдікке жетіп, WESAD деректеріндегі CNN+LSTM (Acc 0.91, F1 0.89) нәтижелерімен сәйкес келді. Free-living жағдайында алынған 98% [11] нәтижесі дерек көлемінің үлкендігімен түсіндіріледі. Ал Arduino негізіндегі жүйеде алынған 96% [8] нәтижесі көпсенсорлы комбинацияға негізделген. Бұл салыстыру біздің құралдың аз сенсорлық параметрлермен де жоғары нәтижеге қол жеткізе алатынын көрсетеді. RF моделі 90% дәлдікке жетіп, 95% CI [0.769–0.960] шегінде болды. Gradient Boosting-пен салыстырғанда айырмашылық статистикалық тұрғыдан мәңсіз ($p=1.0$), ал Decision Tree-мен салыстыруда шекті маңыздылық байқалады ($p=0.125$). Бұл RF моделінің тұрақты артықшылығын, бірақ модельдер арасындағы айырмашылықтың айқын еместігін көрсетеді.

Модельдердің берген толық метрикаларының мәндерін 2-кестеден көруге болады.

Кесте 2. Модельдердің толық метрикалары

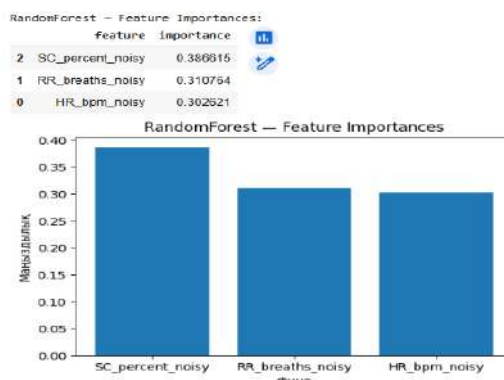
Модель	Accuracy (95% CI)	Precision (macro)	Recall (macro)	F1 (macro)
RF	0.90 [0.769–0.960]	0.920 [0.835–0.983]	0.893 [0.818–0.975]	0.893 [0.775–0.975]
GB	0.875 [0.739–0.945]	0.882 [0.769–0.975]	0.875 [0.769–0.966]	0.869 [0.746–0.966]
KNN	0.825 [0.681–0.913]	0.821 [0.699–0.934]	0.825 [0.708–0.927]	0.822 [0.696–0.925]
DT	0.80 [0.652–0.895]	0.808 [0.686–0.924]	0.808 [0.665–0.917]	0.802 [0.661–0.913]

One-vs-Rest тәсілі арқылы алынған ROC қисықтары модельдердің сыныптарды ажырату қабілетін көрсетті (3-сурет).



Сурет 3. ROC қисықтары

Gradient Boosting моделі ең жоғары макро-AUC мәніне (0.453) жетті, Random Forest – 0.434, Decision Tree – 0.400, ал KNN – 0.379 көрсетті. Бұл мәндердің барлығы орташа деңгейде болғанымен, барлық модельдер кездейсоқ классификациядан (диагональ бойынша сызық) айқын жоғары нәтиже көрсетті. ROC қисықтарының салыстырмалы талдауы бойынша Gradient Boosting моделі сыныптарды ажыратуда ең жақсы нәтижеге қол жеткізді, алайда Random Forest моделі дәлдік (Accuracy 90%) және тұрақтылық тұрғысынан озық болып шықты. Бұл ROC қисықтары мен негізгі метрикалардың бірге қарастырылуы модельдердің әртүрлі қырларын бағалауға мүмкіндік беретінін көрсетеді. Random Forest моделі бойынша feature importance талдауы (4-сурет) SC көрсеткіші ең маңызды (0.39), одан кейін тыныс алу жиілігі (0.31) және жүрек соғысы (0.30).



Сурет 4. Random Forest моделі бойынша feature importance талдауы

Бұл стресс кезінде симпатикалық жүйке жүйесінің белсенділігін бейнелейтін тері өткізгіштігінің рөлі жоғары екенін көрсетеді.

Дискуссия

Ең жоғары нәтижені Random Forest көрсетті (0.900 hold-out, 0.805 CV). Ең жылдам модель Decision Tree, бірақ дәлдігі төмен. Ең жақсы шешім – Random Forest, себебі ол дәлдігі жоғары әрі тұрақтылығы жақсы. Алынған нәтижелер көрсеткендей стресс деңгейін машиналық оқыту арқылы жоғары дәлдікпен болжауға болады. Әсіресе ансамбльдік әдістер (Random Forest, Gradient Boosting) күрделі үлгілерді тиімді үйреніп, сыныптау сенімділігін арттырады. Қателер көбіне «Төмен» және «Қалыпты» деңгейлерінде байқалды, себебі олардың физиологиялық көрсеткіштері бір-біріне жақын. Бұл болашақта қосымша көрсеткіштерді (жүрек соғу вариабельділігі – HRV, тыныс алу амплитудасы) енгізуді талап етеді. Практикалық тұрғыда бұл әдістерді real-time wearable құрылғыларға енгізу пайдаланушының стресстік жағдайын ерте анықтап, алдын ала ескерту жүйесін жасауға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Зерттеу барысында стресс деңгейін болжау үшін арнайы жасалған құралдан алынған физиологиялық деректер (HR, RR, SC) негізінде интегралды StressIndex есептелді. Алынған деректерді машиналық оқыту алгоритмдерімен өңдеу нәтижесінде Random Forest және Gradient Boosting әдістері ең жоғары тиімділік көрсетті. Әсіресе Random Forest моделі hold-out дәлдігінде 0.900 және кросс-валидациялық орташа дәлдігінде 0.805 нәтижеге қол жеткізіп, стрессті болжауда тұрақты әрі сенімді әдіс болып шықты. Қателесу матрицаларының талдауы «Төмен» және «Қалыпты» деңгейлерін ажыратуда қиындық бар екенін көрсетті. Бұл қосымша физиологиялық параметрлерді, мысалы жүрек соғу вариабельділігін (HRV), тыныс алу амплитудасын немесе тері температурасының өзгерісін енгізудің қажеттілігін дәлелдейді. Жалпы алғанда, ұсынылған тәсіл стрессті болжаудың дәстүрлі әдістерін толықтырып қана қоймай, wearable құрылғылар арқылы нақты уақыт режимінде пайдаланушының психофизиологиялық жағдайын бақылауға мүмкіндік береді. Бұл технологияның практикалық маңызы жоғары, себебі ол ерте ескерту жүйелерін құруға және созылмалы стресс пен оған байланысты аурулардың алдын алуға жағдай жасайды.

Алғыс

Бұл мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары Білім министрлігінің қаржылық қолдауымен No. AP23488439 «Қазақстандағы студенттердің стресс мониторингі үшін IoT базасында киілетін құрылғыларды әзірлеу және енгізу» (2024-2026) жобасы аясында жүзеге асырылды.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

- [1] Ladakis, I., Fotopoulos, D., & Chouvarda, I. Integrative Analysis of Open Datasets for Stress Prediction // *Journal of Medical and Biological Engineering*, 2025, Vol.45, pp.385–399. <https://doi.org/10.1007/s40846-025-00958-z>
- [2] Iqbal, T., Simpkin, A.J., Roshan, D., Glynn, N., Killilea, J., Walsh, J., Molloy, G., Ganly, S., Ryman, H., Coen, E., et al. Stress Monitoring Using Wearable Sensors: A Pilot Study and Stress-Predict Dataset // *Sensors*, 2022, Vol.22, 8135. <https://doi.org/10.3390/s22218135>
- [3] Pingge, A., Gad, V., Jaisighani, D., Ghosh, S., & Sen, S. Detection and Monitoring of Stress Using Wearables: A Systematic Review // *Frontiers in Computer Science*, 2024, Vol.6, 1478851. <https://doi.org/10.3389/fcomp.2024.1478851>
- [4] Neigel, P., Vargo, A., Tag, B., & Kise, K. Unobtrusive Stress Detection Using Wearables: Application and Challenges in a University Setting // *Frontiers in Computer Science*, 2025, Vol.7, 1575404. <https://doi.org/10.3389/fcomp.2025.1575404>

- [5] Li, Z., Xing, Y., Pi, Y., Jiang, M., & Zhang, L. A Novel Physiological Feature Selection Method for Emotional Stress Assessment Based on Emotional State Transition // *Frontiers in Neuroscience*, 2023, Vol.17, 1138091. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1138091>
- [6] Bolpagni, M., Pardini, S., Dianti, M., & Gabrielli, S. Personalized Stress Detection Using Biosignals from Wearables: A Scoping Review // *Sensors*, 2024, Vol.24, 3221. <https://doi.org/10.3390/s24103221>
- [7] Hemakom, A., Atiwiwat, D., & Israsena, P. ECG and EEG Based Detection and Multilevel Classification of Stress Using Machine Learning for Specified Genders: A Preliminary Study // *PLoS ONE*, 2023, Vol.18(9), e0291070. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0291070>
- [8] Gedam, S., Dutta, S., & Jha, R. Analyzing Mental Stress in Indian Students Through Advanced Machine Learning and Wearable Technologies // *Scientific Reports*, 2025, Vol.15, 20610. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-06918-6>
- [9] Tutunji, R., Kogias, N., Kapteijns, B., Krentz, M., Krause, F., Vassena, E., & Hermans, E.J. Detecting Prolonged Stress in Real Life Using Wearable Biosensors and Ecological Momentary Assessments: Naturalistic Experimental Study // *Journal of Medical Internet Research*, 2023, Vol.25, e39995. <https://doi.org/10.2196/39995>
- [10] Barki, H., & Chung, W.-Y. Mental Stress Detection Using a Wearable In-Ear Plethysmography // *Biosensors*, 2023, Vol.13, 397. <https://doi.org/10.3390/bios13030397>
- [11] Abd Al-Alim, M., Mubarak, R., Salem, N.M., & Sadek, I. A Machine-Learning Approach for Stress Detection Using Wearable Sensors in Free-Living Environments // *Computers in Biology and Medicine*, 2024, Vol.179, 108918. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2024.108918>
- [12] Xiang, J.-Z., Wang, Q.-Y., Fang, Z.-B., Esquivel, J.A., & Su, Z.-X. A Multi-Modal Deep Learning Approach for Stress Detection Using Physiological Signals: Integrating Time and Frequency Domain Features // *Frontiers in Physiology*, 2025, Vol.16, 1584299. <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1584299>
- [13] Calvo, A., Martin, J., & Martin, C. Early Detection of Chronic Stress Using Wearable Devices: A Machine Learning Approach with the WESAD Database // *Proceedings of the 11th International Conference on Information and Communication Technologies for Ageing Well and e-Health (ICT4AWE)*, 2025, pp.189–196. <https://doi.org/10.5220/0013209700003938>
- [14] Hadida Barzilai, D., Cohen-Shelly, M., Sorin, V., Zimlichman, E., Massalha, E., Allison, T.G., & Klang, E. Machine Learning in Cardiac Stress Test Interpretation: A Systematic Review // *European Heart Journal – Digital Health*, 2024, Vol.5(4), pp.401–408. <https://doi.org/10.1093/ehjdh/ztae027>
- [15] Amin, O.B., Mishra, V., Tapera, T., Volpe, R., & Sathyanarayana, A. Extending Stress Detection Reproducibility to Consumer Wearable Sensors // *arXiv preprint*, 2025, arXiv:2505.05694. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2505.05694>
- [16] Singh, R., Ranjan, V., Ganguly, A., & Halder, S. Stress Classification Using Heart Rate Variability and Machine Learning Models // *Procedia Computer Science*, 2025, Vol.258, pp.4248–4256. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.04.674>
- [17] Ali, M., Sarker, S.S.B., Motin, M.A., Kabir, S., Sharma, M., & Chowdhury, M. TEANet: A Transpose-Enhanced Autoencoder Network for Wearable Stress Monitoring // *arXiv preprint*, 2025, arXiv:2503.12657. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.12657>
- [18] Xiao, Y., Sharma, H., Kaur, S., Bergen-Cico, D., & Salekin, A. Human Heterogeneity Invariant Stress Sensing // *arXiv preprint*, 2025, arXiv:2506.02256. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2506.02256>
- [19] Nguyen, M., Le-Duc, K., Pham, T.-H., Nguyen, T., Luu, Q., Tran, B., Truong-Son, H., Dremin, V., Sokolovsky, S., & Rafailov, E.U. A Wearable Device Dataset for Mental Health Assessment Using Laser Doppler Flowmetry and Fluorescence Spectroscopy Sensors // *arXiv preprint*, 2025, arXiv:2502.00973. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.00973>
- [20] Zholdas, N., Postolache, O., Mansurova, M., Belgibaev, B., Kunelbayev, M., & Sarsembayeva, T. Development of a Wearable Monitor to Identify Stress Levels Using Internet of Things // *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 2024, Vol.33(3), pp.1486–1499. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v33.i3.pp1486-1499>

К.С. Чежимбаева^{1*} , А.Д. Мухамеджанова¹ , Г.К. Кадирбаева¹ 

¹«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ,
Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: k.chezhimbayeva@aes.kz

ҚОЛЖЕТІМДІЛІГІ ҚИЫН АЙМАҚТАРДА ПОРТАТИВТІ ЖЕРСЕРІКТІК БАЙЛАНЫС КЕШЕНІН ПАЙДАЛАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Аңдатпа

Шалғай және жету қиын аудандарды байланыспен қамтамасыз етудің заманауи жағдайында жер бедері мен инфрақұрылымдық шектеулерге қарамастан сенімді және сапалы байланысты қамтамасыз ететін жерсеріктік жүйелер ерекше өзекті болуда. Зерттеудің мақсаты жету қиын аймақтарда байланысты ұйымдастыру үшін ПЖК-400 (портативті жерсеріктік кешені) пайдаланудың тиімділігін бағалау болып табылады. ПЖК-400 негізгі техникалық сипаттамалары, соның ішінде өткізу қабілеті, қамту аймағы, кедергілерге төзімділік және сигналдың кешігуі талданады. Оны әртүрлі жағдайларда пайдалану сценарийлері қарастырылады: таулы аймақтарда, арктикалық аумақтарда, шалғайдағы өндірістік объектілерде және төтенше жағдайлар аймақтарында коммуникацияларды қамтамасыз ету. Тиімділікті бағалау баламалы шешімдермен салыстырмалы талдауға, сондай-ақ тәжірибелік сынақ нәтижелеріне негізделген. ПЖК-400 пайдаланудың артықшылықтары мен мүмкін шектеулері, оның ішінде экономикалық және пайдалану аспектілері анықталған. Зерттеу осы кешенді әртүрлі жағдайларда пайдаланудың артықшылықтарын, шектеулерін және перспективаларын анықтауға бағытталған. Алынған нәтижелер цифрлық инфрақұрылымды дамытуға және шалғай аймақтардағы ақпараттың қолжетімділік деңгейін арттыруға ықпал ете алатын жету қиын аудандарда байланысты ұйымдастыру үшін ПЖК-400 жерсеріктік кешенін пайдаланудың орындылығын растайды.

Түйін сөздер: жерсеріктік байланыс, сымсыз байланыс, ПЖК-400, желі, тораб, аумақ.

К.С. Чежимбаева¹, А.Д. Мухамеджанова¹, Г.К. Кадирбаева¹

¹ НАО «Алматинский Университет энергетики и связи им. Г. Дукеева», г.Алматы, Казахстан

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРТАТИВНОГО СПУТНИКОВОГО КОМПЛЕКСА СВЯЗИ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ РАЙОНАХ

Аннотация

В современных условиях обеспечения связью удаленных и труднодоступных районов особую актуальность приобретают спутниковые комплексы, обеспечивающие надежную и высококачественную связь независимо от рельефа местности и инфраструктурных ограничений. Целью исследования является проведение оценка эффективности применения ПСК-400 (портативного спутникового комплекса) для организации связи в труднодоступных районах. Анализируются ключевые технические характеристики ПСК-400, включая пропускную способность, зону покрытия, устойчивость к помехам и задержку сигнала. Рассматриваются сценарии его применения в различных условиях: обеспечение связи в горных районах, арктических территориях, отдаленных промышленных объектах и зонах чрезвычайных ситуаций. Оценка эффективности проводится на основе сравнительного анализа с альтернативными решениями, а также результатов практического тестирования. Выявляются преимущества и возможные ограничения использования ПСК-400, включая экономические и эксплуатационные аспекты. Исследование направлено на выявление преимуществ, ограничений и перспектив использования данного комплекса в различных условиях. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения спутникового комплекса ПСК-400 для организации связи в труднодоступных районах, что может способствовать развитию цифровой инфраструктуры и повышению уровня информационной доступности в удаленных регионах.

Ключевые слова: спутниковая связь, беспроводная связь, ПСК-400, сеть, узел, территория.

K.S. Chezhimbayeva¹, A.D. Mukhamejanova¹, G.K. Kadirbayeva¹

¹"Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev" NSJC,
Almaty, Kazakhstan

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF USING THE PORTABLE SATELLITE COMMUNICATION COMPLEX IN HARD-TO-REACH AREAS

Abstract

In the modern conditions of providing communications to remote and hard-to-reach areas, satellite systems that provide reliable and high-quality communications regardless of the terrain and infrastructure limitations are of particular relevance. The purpose of the study is to assess the effectiveness of using the PSC-400 satellite complex to organize communications in hard-to-reach areas. The key technical characteristics of the PSC-400 are analyzed, including throughput, coverage area, resistance to interference and signal delay. Scenarios for its use in various conditions are considered: providing communications in mountainous areas, arctic territories, remote industrial facilities and emergency zones. The effectiveness is assessed based on a comparative analysis with alternative solutions, as well as the results of practical testing. The advantages and possible limitations of using the PSC-400 are identified, including economic and operational aspects. The study is aimed at identifying the advantages, limitations and prospects for using this complex in various conditions. The obtained results confirm the feasibility of using the PSC-400 satellite complex for organizing communications in hard-to-reach areas, which can contribute to the development of digital infrastructure and increase the level of information accessibility in remote regions.

Keywords: satellite communication, wireless communication, PSC-400, network, node, territory.

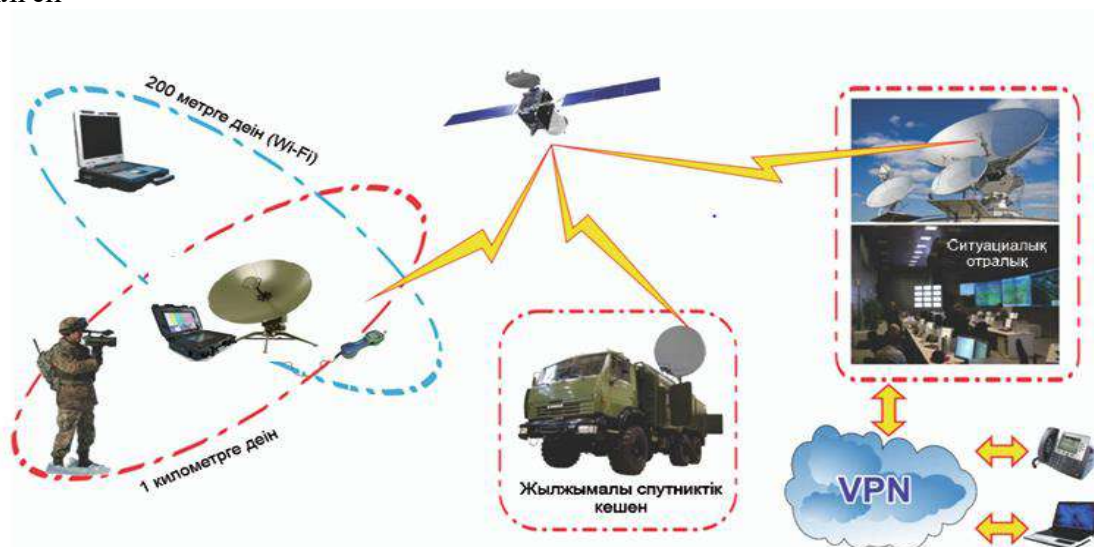
Кіріспе

Қазіргі таңда телекоммуникациялық қызметтерге қолжетімділік экономикалық даму, қауіпсіздік және әлеуметтік тұрақтылықтың негізгі факторларының бірі болып табылады. Алайда Қазақстан сияқты аумағы кең, халқы сирек қоныстанған және географиялық тұрғыдан күрделі аймақтары бар елдерде дәстүрлі жерүсті байланыс инфрақұрылымын дамыту айтарлықтай қиындықтар туғызады. Осыған байланысты шалғай және аз қоныстанған өңірлерде байланысты ұйымдастыру үшін жерсеріктік байланыс жүйелері тиімді балама ретінде қарастырылады [1-3]. Жерсеріктік байланыс жүйелері төмен орбиталық, жоғары эллиптикалық және геостационарлық орбиталар негізінде жұмыс істеп, әртүрлі қолдану сценарийлеріне бейімделе алады. Мұндай жүйелердің архитектурасы мен жұмыс істеу қағидаттары деректерді үлкен қашықтықтарға сенімді жеткізуге мүмкіндік береді, сонымен қатар климаттық және рельефтік шектеулерді еңсеруге жағдай жасайды [3-5]. Әсіресе төтенше жағдайлар, мобильді объектілер және инфрақұрылымы жоқ аймақтар үшін портативті жерсеріктік кешендердің маңызы ерекше [6,7]. Осы тұрғыда ПЖК-400 портативті жерсеріктік кешені шалғай және қолжетімділігі қиын аймақтарда телекоммуникациялық қызметтерді жедел ұйымдастыруға арналған заманауи шешім ретінде қарастырылады. ПЖК-400 жерүсті инфрақұрылымына тәуелсіз жұмыс істейді және деректерді, дыбысты, сондай-ақ бейнені тұрақты әрі үздіксіз жеткізуді қамтамасыз етеді. Мұндай мүмкіндіктер жерсеріктік байланыс жүйелерінің классикалық инженерлік қағидаттарына негізделген [8-10]. ПЖК-400 кешені деректерді беру, телефония және бейнеконференция ұйымдастыруға арналған ықшам әрі тасымалданатын жүйе болып табылады. Кешеннің құрамына портативті жерсеріктік терминал және бейне сигналдарын таратуға арналған сымсыз радио арнаны ұйымдастыратын жабдықтар жиынтығы кіреді. Бұл шешім мобильді қондырғылардан байланысты және бейне таратуды қысқа уақыт ішінде іске қосуға мүмкіндік береді, бұл оның төтенше жағдайлардағы тиімділігін арттырады [8,11]. Дайындалған персонал болған жағдайда ПЖК-400 кешенін орналастыру, жерсерікке бағыттау және байланыс арнасын орнату уақыты 20 минуттан аспайды. Бұл көрсеткіш кешеннің жоғары мобильділігін және жедел пайдалануға дайындығын дәлелдейді [1-5]. Сонымен қатар, жүйе телефон байланысын, TCP/IP протоколы арқылы деректерді беруді, SIP протоколы негізінде бейнеконференция ұйымдастыруды, HDMI

арқылы бейне шығаруды және Wi-Fi желісі арқылы 100 - 200 метр радиуста сымсыз байланысты қамтамасыз етеді [6-9].

Жерсеріктік байланыс жүйелерінің тиімділігі атмосфералық факторларға, әсіресе Ку-диапазонында жаңбыр мен қар әсерінен туындайтын әлсіреуге тәуелді екені белгілі. Бұл мәселе көптеген зерттеулерде қарастырылып, сигнал сапасын арттыру үшін модуляцияны, кодтауды және қуатты басқаруды оңтайландыру қажеттігі көрсетілген [11–14]. Осы тұрғыда ПЖК-400 кешенінің техникалық параметрлерін талдау және оның нақты пайдалану жағдайларындағы тиімділігін бағалау ғылыми және практикалық тұрғыдан өзекті болып табылады.

Осы зерттеудің мақсаты – ПЖК-400 портативті жерсеріктік кешенінің шалғай және қолжетімі қиын аймақтарда қолдану тиімділігін бағалау, негізгі техникалық параметрлердің байланыс сапасына әсерін талдау және жүйені одан әрі жетілдіру жолдарын анықтау. Алынған нәтижелер жерсеріктік байланыс жүйелерін дамыту және оларды Қазақстан жағдайында кеңінен қолдану үшін ғылыми негіз бола алады [12–15]. Құрылымдық сұлбасы келесі 1 суретте көрсетілген



Сурет 1. ПЖК-400-дің құрылымдық байланыс сұлбасы

Зерттеу әдіснамасы

ПЖК-400 сияқты телеметриялық жүйелердің жұмысы көптеген факторларға, соның ішінде ауа райы жағдайларына байланысты. Сигналдың негізгі әсерлері жаңбыр, қар, ауа ылғалдылығы және басқа да атмосфералық құбылыстарға байланысты аналитикалық формулаларды қолдану арқылы негізгі мәндерді есептейміз. Ку-диапазонын (жоғары байланыс үшін 13,75 –14,5 ГГц және төмен байланыс үшін 10,95–12,75 ГГц) пайдаланатын жүйелер үшін ауа райы жағдайлары байланыс сапасын төмендетудің маңызды факторы болуы мүмкін.

Атмосфералық әсердің негізгі түрлері.

Жаңбыр тамшылары сигналды жұтып, шашыратады, бұл әсіресе ПЖК-400 пайдаланатын Ку диапазоны үшін өте маңызды. Шығындар жауынның қарқындылығына (R , мм/сағ) және атмосфера арқылы өтетін сигнал жолының ұзындығына (d , км) байланысты. Желдету 1 формуласы:

$$A_{rain} = \gamma_r \times d \quad (1)$$

мұндағы: γ_r – жауын-шашынның жиілігі мен қарқындылығына байланысты әлсіреу коэффициенті (дБ/км).

1. Қар мен мұз. Қар немесе мұз жауын-шашыны қосымша әлсіреуді тудырады, дегенмен деңгей жаңбырдан төмен. Қазақстан жағдайында қардың жаууы қыста сигнал қабылдауға әсер етуі мүмкін.

2. Ылғалдылық. Жоғары ылғалдылық сигналдың сіңірілуін арттырады, әсіресе жоғары температурада. Өсу жоғары ылғалдылық пен ауа температурасының 30°C-тан жоғары комбинациясы кезінде артады.

3. Бұлт және тұман. Бұлт пен тұманның жоғары тығыздығы аз шығынға әкелуі мүмкін, әсіресе су буының мөлшері жоғары болса.

ПЖК-400 жүйесіне ауа райы жағдайларының әсерін модельдеу:

Жиілігі: $f=14$ ГГц

Атмосфера арқылы жолдың ұзындығы: $d=5$ км

Жауын-шашын қарқындылығы: $R=25$ мм/сағ.

Коэффициент затухания γ_r для K_u -диапазона при $R=25$ мм/сағ.

K_u – диапазоны үшін жауын қарқындылығы $R = 25$ мм/сағ кезінде әлсіреу коэффициенті γ_r қолданылады.

$$\gamma_r \approx 0.02 \text{ дБ/км.}$$

Жаңбыр кезінде әлсіреу:

$$A_{rain}=0.02 \cdot 5=0.1 \text{ дБ}$$

Телеметриялық сапа. Тіпті шағын қосымша жоғалтулар телеметрия деректерінің сапасын нашарлатып, кідіріс уақытын арттырады және орналасу және басқару сияқты параметрлердің дәлдігін төмендетеді.

Атмосфералық құбылыстар ПЖК-400 телеметрия деректеріне айтарлықтай әсер етеді, әсіресе K_u -диапазонында жұмыс істегенде. Қолайсыз жағдайларда жүйенің тұрақтылығын жақсарту үшін жаңбыр, қар және ылғалдылық әсерінен болатын әлсіреуді ескеру қажет, сонымен қатар оны азайту үшін техникалық және бағдарламалық шешімдерді қолдану қажет. Бұл қиын ауа райы жағдайында да тұрақты байланыс пен жоғары сапалы телеметрияны қамтамасыз етеді [3,4]. Сигнал/шум қатынасы (SNR есебі 2,3 формула)

Формуласы:

$$SNR = \frac{P_r}{N} \quad (2)$$

мұндағы:

$$P_r = -94,72 \text{ дБм} = 3,36 \times 10^{-10} \text{ Вт}$$

$$N = k \times T \times B \quad (3)$$

мұндағы: $k = 1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К - Больцман тұрақтысы

$T = 290$ К – жүйенің температурасы,.

$B = 3,32$ МГц.

$$N = 1.38 \times 10^{-23} \times 290 \times 3.32 \times 10^6 = 1.33 \times 10^{-14} \text{ Вт.}$$

$$SNR = \frac{3.36 \times 10^{-10}}{1.33 \times 10^{-14}} = 2.53 \times 10^4,$$

Ал дБ түрінде өрнектейтін болсам:

$$SNR = 10 \times \log_{10}(2.53 \times 10^4) = 44.04 \text{ дБ.}$$

Нәтижесінде сигнал/шум қатынасы (SNR есебі) 44.04 дБ-ға тең болады. Сигнал/шум қатынасы (SNR) – бұл сигналдың қуатының шу деңгейіне қатынасын сипаттайтын көрсеткіш. Бұл жерде 44.04 дБ мәні өте жоғары сигнал/шум қатынасын көрсетеді. Мұндай мән:

- Сигнал сапасы жоғары: сигнал шуға қарағанда айтарлықтай күшті, бұл деректердің сенімді түрде берілуін қамтамасыз етеді.

- Берілген арна тиімділігі: SNR жоғары болған сайын, арна арқылы деректерді жіберу жылдамдығы мен дәлдігі артады.

- Кедергілердің минималды деңгейі: бұл жағдайда сыртқы факторлар (атмосфералық әсерлер, құрылғылар арасындағы интерференция) сигналдың сапасына елеулі әсер етпейді.

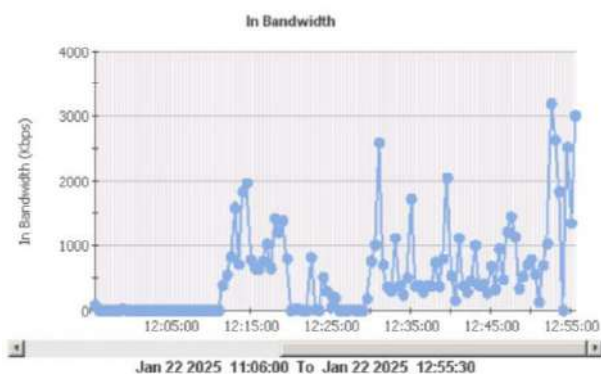
44.04 дБ мәні ПЖК-400 жүйесінің тиімді жұмыс істеп тұрғанын және байланыс тұрақтылығын қамтамасыз ететінін көрсетеді. Бұл көрсеткіш жүйенің деректерді жоғалтпай және кешігусіз жеткізе алатынын дәлелдейді.

Зерттеу нәтижелері

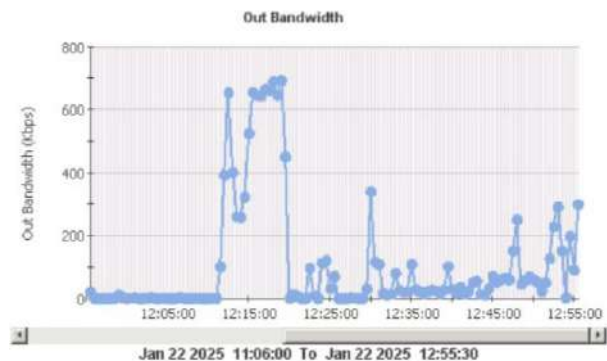
Сыртқы жағдайлардың өзгеруін бақылау және автоматты жауап беру үшін телеметрия жүйелерін жетілдіру. Бағдарламалық қамтамасыз етуді үнемі жаңартып, соңғы қауіпсіздік және өнімділік стандарттарына сәйкес келтіру үшін аудит жүргізілді.

Осы зерттеу ПЖК-400 сияқты портативті жерсеріктіктік кешендердің жұмыс ерекшеліктерін және олардың ұлттық цифрландырудағы рөлін түсінуге елеулі үлес қосады. Ұсынылған ұсынымдар мен технологияларды енгізу ең күрделі жағдайларда да сенімді байланысты қамтамасыз етіп, Қазақстанның ғаламдық жерсеріктіктік байланыс нарығындағы позициясын нығайтуға мүмкіндік береді. Сыртқы факторлардың әсері. Ауа райы жағдайларын талдау мынаны көрсетті: Жауын, қар және жоғары ылғалдылық сигнал сапасына айтарлықтай әсер етеді. Жауын әсерінен сигнал қуатының жоғалуы әрбір 5 км үшін шамамен 0.1 дБ құрайды, бұл антеннаның күшеюін немесе модуляцияны оңтайландыруды қажет етеді.

Жүйенің практикалық қолданылуы. ПЖК-400 жүйесінің нақты жағдайларда қолданылуы оның жоғары бейімделгіштігін көрсетті. Тіпті желінің жоғары жүктемесі немесе қолайсыз ауа райы жағдайларында деректерді тұрақты түрде беру мүмкіндігі жүйенің тиімділігін растайды. Осы зерттеу барысында сигналдардың кірісі мен шығысындағы өткізу қабілетімен айқындайды (2, 3 сурет).



Сурет 2. Кірісіндегі сигналдың өткізу қабілеттілігінің сипаттамасы

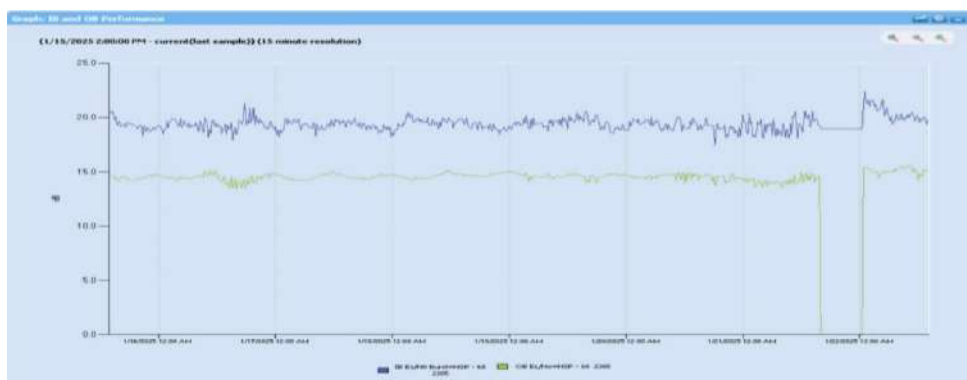


Сурет 3. Жабдықтың шығысындағы сигналдың өткізу қабілеттілігінің сипаттамасы

Графиктен кіріс өткізу қабілеттілігінің кейбір уақыт аралығында ең жоғары деңгейге жеткенін (шамамен 4000 kbps) көруге болады. Басқа кезеңдерде өткізу қабілеттілігі төмендеп, кейбір сәттерде мүлдем деректер түспегенін байқауға болады.

Кейбір уақыт аралықтарында өткізу қабілеттілігі максималды шамаға жеткен (шамамен 800 kbps). Басқа кезеңдерде өткізу қабілеттілігі төмендеген немесе деректер жіберілмеген (4 сурет).

Келесі 4-суреттегі график нәтижесіндегі параметр: IB Es/N0 және OB Es/N0 – бұл жүйенің әртүрлі нүктелеріндегі сигнал сапасын бағалау үшін жерсеріктік байланыста қолданылатын параметрлер.



Сурет 4. Әр түрлі нүктедегі сигналдың сапасын бағалау сипаттамасы

Бұл өлшем сигнал сапасының көрсеткіші болып табылады, Es/N0 мәні неғұрлым жоғары болса, деректердің дұрыс берілу ықтималдығы соғұрлым жоғары болады.

5 суреттегі графиктегі кіріс және шығыс толып кету (IB және OB қайта жіберу пайызы) пайызын көрсетіп тұр.



Сурет 5. SkyEdge жүйесінің кіріс және шығыс трафиінің өнімділік графигі

Жалпы бақылау: 12.08.2024 күні сағат 16:00 шамасында күрт көтерілуді қоспағанда, көрсеткіш негізінен тұрақты. Бұл шың пакеттердің қайта жіберілуін талап ететін маңызды пакеттердің жоғалуын көрсетеді.

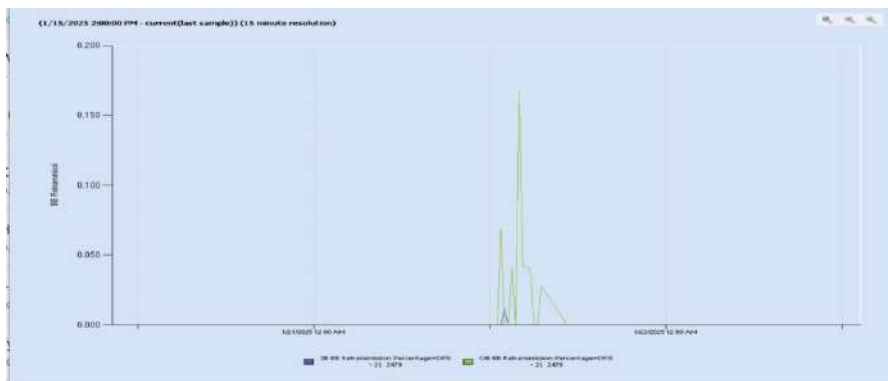
Жарылыс себептері: Ықтимал себептерге техникалық ақаулар, сигнал жағдайындағы кенет өзгерістер (мысалы, ауа райына байланысты) немесе сыртқы кедергілер кіруі мүмкін. Сондай-ақ, жоғары трафик белсенділігіне немесе желілік жабдықтың ақауларына байланысты жүйеде уақытша шамадан тыс жүктелуі мүмкін.

Келесі 6 суреттегі графикте кіріс буферінің асып кетуі (IB буферінің асып кетуі%) пайызы көрсетілген.

Сипаттама: кезеңнің басында 25%-ға дейін күрт өсу байқалады, бұл кіріс деректер буферінің толғанын және кейбір деректердің жоғалғанын көрсетеді.

Салдары: буфердің толып кетуі деректердің айтарлықтай жоғалуына, деректерді беру жылдамдығының төмендеуіне және пайдаланушы тәжірибесі мен жүйе сенімділігіне теріс әсер ететін кідірістің артуына әкелуі мүмкін.

Ықтимал шаралар: буфер өлшемін ұлғайту немесе деректерді өңдеуді оңтайландыру болашақта мұндай оқиғалардың алдын алуға көмектеседі. Ағымдағы трафик қажеттіліктеріңізге сәйкес келетінін анықтау үшін ағымдағы жүйе параметрлерін тексеру де маңызды. Желінің өнімділік көрсеткіштері. График жел тұрақтылығын және қысқа мерзімді құлдырауды көрсететін кіріс (IB) және шығыс (OB) өнімділігін көрсетеді.



Сурет 6. OB BB қайта жіберу пайызы кіріс және шығыс трафигінің өнімділік графигі

Дискуссия

Осы бөлімге келетін болсақ, өлшеу арқылы алынған графиктен көруге болады: OB BB қайта жіберу пайызы - кең жолақты қосылымның бастапқы бағытта (жерсеріктен немесе қайталағыштан жерге) қаншалықты тиімді жұмыс істейтінін түсінуге көмектесетін көрсеткіш. Оның мониторингі мен талдауы байланыс сапасы мен сенімділігін қамтамасыз ету, сондай-ақ байланыс жүйесінің жұмысын оңтайландыру және мүмкін болатын ақауларды жою үшін маңыздылығын көруге болады.

Атмосфералық жағдайлардың, әсіресе жаңбыр, қар және тұманның сигнал сапасына тигізетін әсері бағаланып, олардың жүйенің жұмысына әсер ететіні анықталды. Бұл факторларды ескере отырып, антенна жүйелерін оңтайландыру және адаптивті модуляция технологияларын қолдану ұсынылды.

ПЖК-400 жүйесінің мобильділігі, сенімділігі және әртүрлі жағдайларда қолдану мүмкіндіктері зерттелді. Жүйенің апаттық жағдайларда байланыс орнатуда, шалғай аудандарды байланыспен қамтамасыз етуде тиімді шешім екені дәлелденді. Сондай-ақ, Es/No сияқты негізгі параметрлерді оңтайландыру арқылы жүйе өнімділігін арттыру жолдары көрсетілді.

Нәтижелерді талқылау барысында өлшеу нәтижесінде алынған графиктер негізінде кең жолақты жерсеріктік байланыстың жұмыс тиімділігі бағаланды. Атап айтқанда, OB BB қайта жіберу пайызы бастапқы бағыттағы (жерсеріктен немесе ретранслятордан жерге дейін) деректерді беру сенімділігін сипаттайтын маңызды көрсеткіш ретінде қарастырылды. Бұл параметрдің мәні байланыс арнасының жүктемесін, қателер ықтималдығын және деректерді қайта жіберу қажеттілігін анықтауға мүмкіндік береді. Оның мониторингі байланыс сапасын үздіксіз бақылауға және жүйенің тұрақты жұмысын қамтамасыз етуге аса маңызды.

Зерттеу нәтижелері атмосфералық факторлардың, атап айтқанда жаңбыр, қар және тұманның, сигнал сапасына айтарлықтай әсер ететінін көрсетті. Бұл әсер сигналдың әлсіреуімен және қайта жіберулер санының артуымен сипатталады. Мұндай нәтижелер Ku-диапазонында жұмыс істейтін жерсеріктік жүйелер бойынша жүргізілген өзге де зерттеулермен үйлеседі, онда атмосфералық әлсіреу негізгі шектеуші фактор ретінде көрсетілген. Осыған байланысты антенналарды дәл бағыттау, қуатты басқару және адаптивті модуляция мен кодтау (ACM) технологияларын қолдану жүйе өнімділігін арттырудың тиімді тәсілі ретінде ұсынылады.

Сонымен қатар, ПЖК-400 жерсеріктік байланыс кешенінің мобильділігі мен сенімділігі әртүрлі пайдалану жағдайларында бағаланды. Зерттеу нәтижелері бұл жүйенің апаттық жағдайларда жедел байланыс орнату, сондай-ақ телекоммуникациялық инфрақұрылымы жоқ немесе әлсіз дамыған шалғай аудандарды байланыспен қамтамасыз ету үшін тиімді шешім екенін дәлелдеді. Бұл тұжырымдар заманауи жерсеріктік байланыс жүйелерінің төтенше жағдайлар мен ауылдық аймақтарда қолданылуын зерттеген басқа авторлардың нәтижелерімен сәйкес келеді.

Жүйенің техникалық параметрлерін талдау барысында Es/No сияқты негізгі көрсеткіштерді оңтайландыру арқылы байланыс сапасын жақсартуға болатыны анықталды. Бұл көрсеткішті басқару деректерді беру жылдамдығын арттыруға және қателер санын азайтуға мүмкіндік береді, нәтижесінде жалпы жүйе тиімділігі жоғарылайды.

Алынған нәтижелер ПЖК-400 кешенін Қазақстанның шалғай және қиын қолжетімді аймақтарында кеңінен қолдану мүмкіндігін негіздейді. Болашақ зерттеулер аясында әртүрлі климаттық аймақтарда ұзақ мерзімді өлшеулер жүргізу, нақты трафик жүктемелері кезінде жүйенің жұмысын модельдеу, сондай-ақ жерсеріктік байланыс кешендерін 5G/NTN желілерімен интеграциялау мәселелерін қарастыру перспективалы бағыттар болып табылады.

Қорытынды

Қорытындылай келе, ұялы байланыс және жерсеріктік байланыс әр түрлі қамту деңгейлері мен қол жетімділікті қамтамасыз етеді. Ұялы байланыс көптеген адамдар үшін, әсіресе қалалар мен елді мекендерде байланыстың негізгі және кең қол жетімді түрі болып табылады, ал жерсеріктік байланыс ұялы байланыс шектеулі немесе қол жетімді емес шалғай және қол жетімді емес жерлерде қамтуды қамтамасыз етеді.

Жерсеріктік байланыс және ПЖК-400 жүйелерін жетілдіру үшін энергия тиімділігі жоғары технологиялар, автоматтандыру жүйелері және адаптивті байланыс әдістерін енгізу ұсынылды. Бұл шешімдер жерсеріктік байланыс инфрақұрылымын жақсартуға және оның тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Жерсеріктік байланыс технологияларының дамуы, оның ішінде жаңа жерсеріктерді іске қосу, кең жолақты интернетті қамтамасыз ету және 5G желілерімен интеграциялау, саланың болашағының зор екенін көрсетеді. Мұндай жүйелер ұлттық және халықаралық деңгейде байланыс сапасын арттыруға мүмкіндік береді.

Жерсеріктік байланыс пен ПЖК-400 жүйесі қазіргі заманғы байланысты қамтамасыз етуде ерекше рөл атқарады. Бұл зерттеу жұмысы жерсеріктік байланыс жүйелерінің артықшылықтарын анықтап, олардың тиімділігін арттыру бойынша ғылыми және практикалық ұсыныстар берді. Зерттеу нәтижелері Қазақстанның байланыс инфрақұрылымын дамытуда, шалғай аудандарды байланыспен қамтамасыз етуде және апаттық жағдайларда жылдам байланыс орнатуда маңызды рөл атқарады. Зерттеу нәтижелері жерсеріктік байланыс технологияларын жетілдіру мен енгізуге негіз бола алатынын айқындап отыр.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

- [1] Кунегин С.В. Төмен орбиталы спутниктік байланыс жүйелері [Электронды ресурс]. – Қолжетімділік режимі: <https://kunegin.narod.ru/refl/sput/loworb.htm>
- [2] Panagopoulos A.D., Arapoglou P.D.M., Cottis P.G. Satellite communications at Ku-, Ka- and V-bands: propagation impairments and mitigation techniques // IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2004, Vol. 6, No. 3, pp. 2–14. <https://doi.org/10.1109/COMST.2004.5342290>
- [3] ETSI. EN 302 307-2. Digital Video Broadcasting (DVB); Second Generation Framing Structure, Channel Coding and Modulation Systems for Broadband Satellite Applications (DVB-S2X). – Available at: <https://www.etsi.org>
- [4] Бирюкова О.В. Жерсеріктік теледидар. Электронды оқулық. Қолжетімді: <http://www.xn--j1al4b.xn>

- [5] Jamalipour A. Design and implementation of satellite-based broadband networks // *IEEE Communications Magazine*, 2016, Vol. 54, No. 5, pp. 62–68. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2016.7470946>
- [6] Мұқашев С.К. Цифрлық байланыс және ақпарат беру жүйелері. Алматы, 2018. – 356 p.
- [7] Иманқұлова Г. Қазақ жерсеріктіктік жүйелерінің дамуы. Астана, 2020. . – 214 p.
- [8] Pritchard W.L., Suyderhoud J.A., Nelson R.A. *Satellite Communications Systems Engineering*. – Pearson, 2018. – 560 p.
- [9] Shiryayev K. Performance optimization in Ku-band satellite systems // *Journal of Communication Technologies*, 2019, No. 4, pp. 45–52.
- [10] Karimi M. Analysis of rain fade in satellite links // *International Journal of Satellite Communications*, 2018, Vol. 36, No. 2, pp. 123–131. <https://doi.org/10.1002/sat.1214>
- [11] Roddy D. *Satellite Communications*. – McGraw-Hill, 2016. – 432 p.
- [12] Richharia M. *Satellite Communication Systems: Design Principles*. – Wiley, 2016. – 512 p.
- [13] Sklar B. *Digital Communications: Fundamentals and Applications*. – Prentice Hall, 2014. – 1079 p.
- [14] ITU-R. Recommendation ITU-R P.618. Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems. – Available at: <https://www.itu.int>
- [15] ETSI. TR 102 376-2. Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation Guidelines for DVB-S2X. – Available at: <https://www.etsi.org>

Reference

- [1] Kunegin S.V. Tomen orbitaly sputniktik bajlanys zhyjeleri [Low-orbit satellite communication systems]. [Elektronnyy resurs]. Qolzhetimdiklik rezhimi: <https://kunegin.narod.ru/refl/sput/loworb.htm> (In Kazakh)
- [2] Panagopoulos A.D., Arapoglou P.D.M., Cottis P.G. (2004) *Satellite communications at Ku-, Ka- and V-bands: propagation impairments and mitigation techniques*. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 6, No. 3, 2–14. (In English)
- [3] ETSI. EN 302 307-2. Digital Video Broadcasting (DVB); Second Generation Framing Structure, Channel Coding and Modulation Systems for Broadband Satellite Applications (DVB-S2X). Available at: <https://www.etsi.org> (In English)
- [4] Biryukova O.V. Zherseriktik teledidar [Satellite television]. Electronic textbook. Available at: <http://www.xn--j1a14b.xn> (In Kazakh)
- [5] Jamalipour A. (2016) Design and implementation of satellite-based broadband networks. *IEEE Communications Magazine*, Vol. 54, No. 5, 62–68. (In English)
- [6] Mukashev S.K. (2018) Tsifrlyk bailanys zhane akparat beru zhuyeleri [Digital communication and data transmission systems]. *Almaty, Kazakhstan*, 356 p. (In Kazakh)
- [7] Imankulova G. (2020) Qazaq zherseriktiktik zhuyelerinin damuy [Development of Kazakh satellite systems]. *Astana, Kazakhstan*, 214 p. (In Kazakh)
- [8] Pritchard W.L., Suyderhoud J.A., Nelson R.A. (2018) *Satellite Communications Systems Engineering*. Pearson, 560 p. (In English)
- [9] Shiryayev K. (2019) Performance optimization in Ku-band satellite systems. *Journal of Communication Technologies*, No. 4, 45–52. (In English)
- [10] Karimi M. (2018) Analysis of rain fade in satellite links. *International Journal of Satellite Communications*, Vol. 36, No. 2, 123–131. (In English)
- [11] Roddy D. (2016) *Satellite Communications*. McGraw-Hill, 432 p. (In English)
- [12] Richharia M. (2016) *Satellite Communication Systems: Design Principles*. Wiley, 512 p. (In English)
- [13] Sklar B. (2014) *Digital Communications: Fundamentals and Applications*. Prentice Hall, 1079 p. (In English)
- [14] ITU-R. Recommendation ITU-R P.618. Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems. Available at: <https://www.itu.int> (In English)
- [15] ETSI. TR 102 376-2. Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation Guidelines for DVB-S2X. Available at: <https://www.etsi.org> (In English)

ИНФОРМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ. БІЛІМ БЕРУДІ АҚПАРАТТАНДЫРУ МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОРМАТИКИ. ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ METHODS OF TEACHING COMPUTER SCIENCE. INFORMATIZATION OF EDUCATION

МРНТИ 14.35.07

10.51889/2959-5894.2025.92.4.023

А.О. Алдабергенова¹ , У. Есейқызы^{1*} , И.Ж. Есенгабылов¹ , А. Есейқызы¹ 

¹Жетысуский университет имени И. Жансугурова, г.Талдыкорган, Казахстан

*e-mail: yesseikyzy@gmail.com

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГЕЙМИФИКАЦИИ В ПОДГОТОВКЕ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ ИНФОРМАТИКИ

Аннотация

Настоящее исследование посвящено систематическому обзору применения геймификации в высшем образовании в 2020-2025 годах. Методологической основой послужил протокол PRISMA, обеспечивший многоэтапный поиск, скрининг и структурированный отбор публикаций. В результате анализа баз Web of Science, Scopus, Google Scholar и ResearchGate было выявлено 3451 публикация, из которых после удаления дубликатов и применения критериев включения в итоговую выборку вошли 42 исследования, доступные в полном тексте. Для обработки и интерпретации данных использовались тематическая классификация, контент-анализ и визуализация с применением Microsoft Excel, VOSviewer и Datawrapper. Анализ показал, что наиболее распространёнными элементами геймификации в университетском обучении являются баллы, значки, уровни и рейтинговые таблицы, в большинстве исследований отмечается положительное влияние на мотивацию, вовлечённость и учебную активность студентов. Менее распространённые механики, связанные с прогрессом, наградами и элементами соревновательности, применяются точечно и характеризуются более вариативным эффектом. Особое внимание в исследовании уделено возможностям применения геймификации в процессе подготовки будущих учителей информатики. Выявленные элементы обладают различным педагогическим потенциалом, включая развитие мотивации, самостоятельности, активности и навыков решения задач, что делает их значимыми для методической подготовки будущих педагогов. Практическая значимость исследования заключается в том, что результаты могут использоваться при разработке геймифицированных учебных материалов и цифровых курсов по методике преподавания информатики.

Ключевые слова: геймификация, высшее образование, цифровая педагогика, системный анализ, PRISMA, вовлечённость студентов, результаты обучения.

А.О. Алдабергенова¹, У. Есейқызы¹, И.Ж. Есенгабылов¹, А. Есейқызы¹

¹ Ілияс Жансүгіров атындағы Жетісу ниверситеті, Талдықорған қ., Қазақстан

БОЛАШАҚ ИНФОРМАТИКА ПӘНІ МҰҒАЛІМДЕРІН ДАЯРЛАУДА ГЕЙМИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТТЕРІН ҚОЛДАНУ МҰМКІНДІКТЕРІНЕ ЖҮЙЕЛІ ТАЛДАУ

Аңдатпа

Бұл зерттеу 2020–2025 жылдар аралығында жоғары білім беруде геймификацияны қолдануға арналған ғылыми еңбектердің жүйелі шолуына бағытталған. Әдістемелік негіз ретінде PRISMA протоколы қолданылып, ол көпкөзденді іздеу, скрининг және жарияланымдарды құрылымдық іріктеуді қамтамасыз етті. Web of Science, Scopus, Google Scholar және ResearchGate дерекқорларын талдау нәтижесінде 3451 жарияланым анықталды, олардың қайталанатын материалдарын алып тастағаннан кейін және іріктеу критерийлерін қолданған соң толық мәтіні ашық 42 зерттеу таңдап алынды.

Деректерді өңдеу және түсіндіру үшін тақырыптық жіктеу, контент-талдау және Microsoft Excel, VOSviewer, Datawrapper құралдары арқылы визуализация әдістері қолданылды. Талдау нәтижелері жоғары білім беру жүйесінде кеңінен қолданылатын геймификация элементтеріне ұпайлар, төсбелгілер, деңгейлер және лидербордтар жататынын көрсетті. Бұл элементтер студенттердің мотивациясына, оқу белсенділігіне және қатысуына тұрақты оң әсер береді. Ал прогресс, марапаттау және жарыс элементтеріне негізделген механикалар сирек қолданылады және әсері контекстке байланысты өзгеріп отырады. Зерттеуде болашақ информатика пәні мұғалімдерін даярлау үдерісінде геймификацияны қолдану мүмкіндіктеріне ерекше көңіл бөлінді. Айқындалған элементтер мотивацияны, дербестікті, оқу белсенділігін және тапсырмаларды шешу дағдыларын дамытуға ықпал ететін педагогикалық әлеуетке ие, бұл оларды болашақ педагогтарды әдістемелік тұрғыдан даярлауда маңызды етеді. Зерттеудің практикалық маңыздылығы – алынған нәтижелер геймификацияланған оқу материалдарын және информатиканы оқыту әдістемесі бойынша цифрлық курстарды әзірлеуде қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: геймификация, жоғары білім, цифрлық педагогика, жүйелі талдау, PRISMA, студенттердің қызығушылығы, оқу нәтижелері.

A. Aldabergenova¹, U. Yesseikyzy¹, I. Yessengabylov¹, A. Yesseikyzy¹
¹Zhetysay University named after I. Zhansugurov, Taldykorgan, Kazakhstan

SYSTEMATIC ANALYSIS OF THE POTENTIAL USE OF GAMIFICATION ELEMENTS IN THE TRAINING OF FUTURE COMPUTER SCIENCE TEACHERS

Abstract

This study presents a systematic review of the application of gamification in higher education between 2020 and 2025. The methodological foundation is based on the PRISMA protocol, which ensured a multi-stage search, screening, and structured selection of publications. An analysis of Web of Science, Scopus, Google Scholar, and ResearchGate databases identified 3451 publications, of which 42 full-text studies were included in the final sample after removing duplicates and applying inclusion criteria. The data analysis employed thematic classification, content analysis, and visualization using Microsoft Excel, VOSviewer, and Datawrapper. The findings indicate that the most frequently used gamification elements in university teaching include points, badges, levels, and leaderboards, which demonstrate consistently positive effects on students' motivation, engagement, and academic activity. Less common mechanics related to progress, rewards, and competition are used selectively and show more variable outcomes. Special attention in this study is given to the potential use of gamification in the training of future computer science teachers. The identified elements possess various pedagogical benefits, including the development of motivation, autonomy, active learning behaviors, and problem-solving skills, making them particularly relevant for the methodological preparation of future educators. The practical significance of the study lies in the fact that its results can be used in the development of gamified instructional materials and digital courses in computer science teaching methodology.

Keywords: gamification, higher education, digital pedagogy, systematic analysis, PRISMA, student engagement, learning outcomes.

Введение

В условиях необходимости повышения вовлечённости студентов и развития их самостоятельной мотивации использование геймификации становится особенно актуальным для современного высшего образования. По мере того как учебный процесс всё активнее переходит в цифровую и студентоцентричную среду, элементы геймификации помогают укреплять взаимодействие, удерживать внимание и поддерживать осознанное, автономное обучение. Это совпадает с приоритетами государственной политики. Как подчеркнул Президент Касым-Жомарт Токаев, «стремительное развитие искусственного интеллекта уже влияет на мировоззрение и поведение людей, особенно молодёжи» [1]. Как отмечают Детердинг С. и другие авторы, внедрение элементов геймификации в образовательный процесс, особенно на уровне высшего образования, является актуальным научным направлением, обусловленным необходимостью формирования устойчивого интереса к обучению [2]. Также Хамари Ю. и другие авторы подчёркивают, что игровые элементы

способствуют повышению активности обучающихся и развитию их ответственности за собственные образовательные результаты [3]. Капп К. подчёркивает, что геймификация определяется как применение принципов игрового дизайна в неигровых контекстах с целью формирования устойчивой внутренней мотивации и развития профессионально значимых компетенций [4]. В научных публикациях последних лет Сиборн К. и Фелс Д. позиционируют геймификацию как перспективный инструмент активизации обучения. Преподаватели и разработчики учебных программ высшего образования активно исследуют потенциал геймификации как инструмента трансформации традиционной образовательной среды, способствующего повышению вовлечённости и развитию активных форм обучения [5]. Однако проблема системного анализа элементов геймификации и её внедрения в высшей школе остаётся недостаточно исследованной. Подготовка будущих учителей информатики имеет выраженную специфику и предполагает освоение цифровых инструментов, развитие алгоритмического мышления, а также умение интегрировать интерактивные методы в образовательный процесс. В этом контексте геймификация рассматривается как перспективный подход, способный усилить методическую подготовку студентов, поддержать мотивацию к освоению сложных концепций и повысить качество практико ориентированного обучения в условиях цифровизации системы образования. В этом контексте цель настоящего исследования заключается в систематизации современных подходов к использованию элементов геймификации в высшем образовании в 2020–2025 годах и в выявлении того, какие элементы геймификации обладают наибольшим потенциалом для включения в методические дисциплины, ориентированные на подготовку будущих учителей информатики.

Научная новизна работы заключается в расширении временного диапазона анализа (2020–2025 годы), а также в систематизации данных с использованием методологии PRISMA применительно к педагогическому контексту Республики Казахстан. Практическая значимость исследования определяется возможностью адаптации выявленных игровых стратегий при разработке цифровых учебных курсов в педагогических университетах. Помимо систематизации зарубежного опыта, исследование направлено на сопоставление выявленных закономерностей с актуальными тенденциями развития педагогического образования в Республике Казахстан. Полученные результаты могут быть использованы при совершенствовании содержания и методики подготовки будущих учителей информатики.

Обзор литературы

Зарубежные исследования

Геймификация как педагогический инструмент демонстрирует эффективность в развитии когнитивных и социальных навыков, включая принятие решений, командное взаимодействие и коммуникацию. По результатам анализа литературных источников, проведённого Салимом Т. и его коллегами, игровые элементы положительно влияют на командную работу, принятие решений и развитие коммуникативных компетенций в онлайн-обучении [6]. Дичев С. и Дичева Д. установили, что использование рейтинговых систем и визуальных наград способствует развитию познавательной активности студентов [7]. Ряд исследований авторов Ландерса Р. и Моршхойзера Б. подтверждает, что геймификация способствует усилению внутренней мотивации, формируя у студентов чувство автономии и компетентности, а также стимулируя активное обучение [8], [9]. Кроме того, Николсон С. утверждает, что игровые механики улучшают запоминание информации, способствуют развитию критического мышления и совместному решению проблем в учебных группах [10]. Обзор литературы по геймификации в высшей школе охватывает широкий спектр направлений и дисциплин – от гуманитарных до технических и экономических наук, включая исследования влияния элементов геймификации в таких областях, как математика, технические и экономические специальности. При этом Джайалат Н. и Эсичаикул В. отмечают, что недостаточная эмпирическая база по применению геймификации в высшей школе затрудняет обоснование её системной эффективности [11]. Бехл А. и его соавторы, проведя библиометрический анализ инноваций в онлайн-обучении, выделили четыре перспективных направления будущих исследований: персонализацию,

использование элементы геймификации, расширение возможностей выбора для студентов и повышение их вовлечённости [12]. Сопоставление зарубежных работ показывает, что исследователи по-разному трактуют педагогический потенциал геймификации: от повышения мотивации до развития навыков совместной работы и решения задач. Такой спектр подходов создаёт основу для анализа того, какие игровые элементы могут быть применимы в методике обучения информатике.

Казахстанские исследования

В контексте стратегической модернизации высшего образования в Республике Казахстан активно развивается научное направление, посвящённое практическому применению геймификации. Казахстанские исследователи, такие как Куанбаева Ж. и Байғұтова Д., доказали, что внедрение геймификации открывает новые возможности и инновационные решения в педагогической практике и способствует повышению мотивации [13]. Уайсова М. и Комаров Д. актуализируют использование геймификации в системе технического и профессионального образования для развития профессиональных компетенций, рассматривая включение компьютерных игр в содержание ИТ-модулей [14]. Помимо этого, Алдабергенова А. и Есейкызы У. в своём исследовании подчёркивают, что применение игровых технологий в педагогическом образовании Казахстана способствует формированию устойчивой учебной мотивации, развитию критического мышления и повышению вовлечённости студентов, особенно при внедрении цифровых образовательных платформ [15]. Более того, системный анализ, проведённый Жансугуровой Г. и её коллегами, выделяет геймификацию в профессиональном образовании как ключевое направление для дальнейших исследований, подтверждая необходимость изучения её применения в условиях Казахстана [16]. Таким образом, геймификация рассматривается в стране как стратегический инструмент для достижения целей национальных программ цифровизации. При этом вопросы применения геймификации в подготовке будущих учителей информатики представлены относительно ограниченно, что связано с формирующимся характером данного направления. Однако имеющиеся исследования показывают, что геймификация может способствовать развитию профессионально значимых компетенций, включая аналитическое мышление, самостоятельность и умение проектировать цифровые образовательные среды. Тем не менее, внедрение новых образовательных подходов нередко сопровождается трудностями – начиная с недостаточной технической инфраструктуры и заканчивая снижением мотивации как у студентов, так и у преподавателей. Следовательно, настоящее исследование, представляющее собой систематический анализ методов внедрения элементы геймификации в высшее образование, является своевременным и необходимым. Для достижения поставленной цели были сформулированы исследовательские вопросы, представленные в таблице 1, которые позволяют определить актуальные тенденции и перспективные направления дальнейших исследований.

Таблица 1. Исследовательские вопросы

№	Обозначение	Исследовательский вопрос
1	ИБ1	Сколько научных публикаций по геймификации в высшем образовании было опубликовано в 2020–2025 гг.?
2	ИБ2	В каких странах проводилось наибольшее количество исследований по геймификации в высшем образовании?
3	ИБ3	Какие ключевые слова наиболее часто использовали авторы в исследованиях геймификации в высшем образовании?
4	ИБ4	Какие исследовательские методологии чаще всего применялись при изучении геймификации в высшем образовании?
5	ИБ5	Какие элементы геймификации использовались в исследованиях наиболее часто?
6	ИБ6	На какие переменные влияет геймификация и какова сила этого влияния?

Примечание: составлено авторами

Таким образом, сформулированные исследовательские вопросы определяют структуру и логику настоящего систематического анализа. Далее представлено описание материалов и методов, использованных для получения эмпирических данных.

Методология исследования

В процессе анализа литературы и её результатов был применён комплексный методологический подход, сочетающий теоретические и эмпирические методы. Теоретические методы (анализ, синтез и обобщение) использовались для формирования целостного представления о проблеме и концептуального осмысления роли геймификации в современном высшем образовании. При отборе публикаций дополнительно учитывались работы, содержащие данные, потенциально релевантные для применения элементов геймификации в подготовке будущих учителей информатики.

Стратегия поиска и отбора публикаций. Библиографический поиск проводился в сентябре-октябре 2025 года, в Scopus и Web of Science, а также с использованием Google Scholar. Для уточнения полнотекстового доступа и выявления дополнительных материалов использовались открытые репозитории, включая ResearchGate. Такой широкий охват источников обеспечил всесторонний анализ психологической, педагогической и методической литературы, посвященной исследуемой теме.

Ограничения, определяющие процесс формулирования поисковых критериев. Поисковая строка включала термины, связанные с геймификацией (gamification, gamified learning и др.), высшим образованием (higher education), а также ключевые слова, относящиеся к подготовке будущих учителей информатики (informatics education, computer science teacher education). Это позволило учитывать исследования, имеющие методическую значимость для педагогической подготовки. Временной диапазон был строго ограничен публикациями, вышедшими после 2020 года (PUBYEAR >= 2020 AND PUBYEAR <= 2025), что обеспечило фокус на самых актуальных научных исследованиях.

Критерии включения и исключения. Для уточнения границ исследования и обеспечения релевантности выборки были разработаны строгие критерии включения и исключения, представленные в Таблице 2.

Таблица 2. Критерии включения и исключения

Критерий	Включение	Исключение
Тематика	Исследование направлено на применение геймификации в процессе обучения студентов вузов, включая работы, содержащие данные, релевантные подготовке будущих учителей информатики	Использование терминов, связанных с видеоиграми или «serious games» вместо «gamification»
Уровень образования	Высшее образование	Среднее, начальное, дополнительное образование; отсутствие уточнения уровня
Участники	Студенты бакалавриата или магистратуры	Преподаватели, управленческий персонал
Тип исследования	Эмпирическое, теоретическое, вторичное или обзорное	Не соответствует предмету исследования, дублируется или недоступно
Доступность	Полный текст в открытом доступе	Отсутствие полного текста или платный доступ

Примечание: составлено авторами

Для анализа отобранных публикаций были использованы качественные показатели, представленные в Таблице 3. Они позволили оценить методологическую строгость и обоснованность представленных результатов.

Таблица 3. Вопросы, определяющие критерии качества

1.	Является ли концепция геймификации чётко определённой?
2.	Сформулированы ли цели исследования ясно и конкретно?
3.	Описана ли выборка и достаточен ли её объём для проведения анализа?
4.	Достигнуты ли заявленные результаты в соответствии с целями?
5.	Подкреплены ли выводы эмпирическими данными?
6.	Обсуждают ли авторы ограничения и трудности исследования?
7.	Приведены ли практические рекомендации по применению геймификации в вузах?
8.	Учитывается ли возможность применения результатов в подготовке будущих учителей информатики?

Примечание: составлено авторами

Процесс отбора публикаций. Отбор статей осуществлялся в три последовательных этапа: 1. Предварительный поиск по ключевым словам; 2. Удаление дубликатов; 3. Скрининг аннотаций и полных текстов на соответствие критериям включения. Применение данного подхода позволило обеспечить последовательность этапов поиска, отбора и анализа литературы, что повысило достоверность и воспроизводимость результатов.

Процесс отбора наглядно представлен на схеме PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Методология PRISMA представляет собой стандартизированный набор требований, основанных на эмпирических данных и направленных на повышение прозрачности и полноты систематических обзоров (рисунок 1)

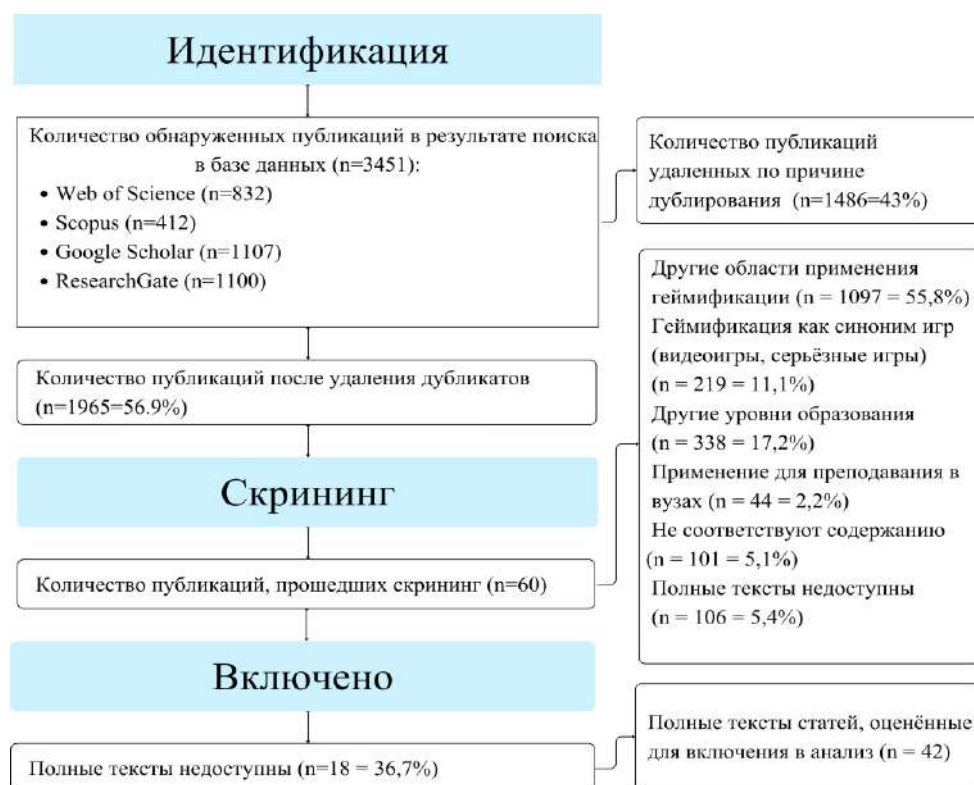


Рисунок 1. Схема PRISMA (составлено авторами)

Всего в результате поиска в четырёх базах данных было обнаружено 3451 публикация, включая Web of Science (832), Scopus (412), Google Scholar (1107) и ResearchGate (1100). После удаления дубликатов к дальнейшему анализу было допущено 1965 публикаций (56,9%).

На этапе скрининга из 1965 публикаций были исключены работы, не соответствующие установленным критериям, и к дальнейшему рассмотрению осталось 60 публикаций. Из них 42 имели доступный полный текст и были включены в итоговый анализ.

Методы анализа данных. Для дальнейшего анализа использовались качественные методы обработки литературы, включая тематическую классификацию, сравнительный анализ и систематизацию результатов. Программные инструменты Microsoft Excel, VOSviewer 1.6.19 и Datawarpper применялись для упорядочивания данных и визуализации тематических связей между ключевыми понятиями, авторами и исследовательскими направлениями. Кодирование осуществлялось вручную на основе категорий, связанных с элементами геймификации, типами применяемых методологий и зафиксированными эффектами.

Ограничения исследования. Настоящее исследование ограничено публикациями, доступными в открытых базах данных, что могло привести к исключению некоторых локальных исследований. Кроме того, анализ не включал работы без полного текста или опубликованные на языках, отличных от английского, русского и казахского.

Результаты исследования

Для интерпретации данных применялась сравнительно-аналитическая стратегия, включающая сопоставление частотных характеристик и выявление причинно-следственных взаимосвязей. Результаты анализа литературы были сгруппированы в соответствии с шестью исследовательскими вопросами (ИБ1–ИБ6). Каждый вопрос раскрывает отдельный аспект применения геймификации в высшем образовании и позволяет сопоставить количественные и качественные результаты публикаций, в том числе с точки зрения их потенциальной значимости для подготовки будущих учителей информатики.

ИБ1. Динамика публикаций по геймификации в высшем образовании (2020–2025)

Анализ данных показал выраженные колебания объёма публикаций за исследуемый период. В 2020 году было опубликовано 8 исследований, а в 2021 году их число снизилось до 6. В 2022 году наблюдался значительный рост – до 19 публикаций, что отражает усиление интереса научного сообщества к теме геймификации. В 2023 году количество работ уменьшилось до 7, однако уже в 2024 году вновь зафиксирован рост – до 9 исследований. В 2025 году, на момент проведения анализа, было идентифицировано 5 публикаций, что свидетельствует о продолжающемся интересе к данной тематике (таблица 4).

Таблица 4. Распределение публикаций по годам, 2020–2025 гг.

Год	Количество исследований	Примеры ключевых публикаций
2020	8	Jayalath & Esichaikul (2020); Pinter et al. (2020); Rui Silva et al. (2020); Zolkina et al. (2020); Miłosz & Milosz (2020); Altomar et al. (2020)
2021	6	Willert (2021); Khaleel et al. (2021); Fedorenko et al. (2021); Semerikov et al. (2021); Mask & Emotion (2021)
2022	19	Alieksieienko & Kryshchanovych (2022); Behl et al. (2022); Limantara et al. (2022); Lluch-Molins et al. (2022); Maryono et al. (2022); Byrne et al. (2022); Durrani et al. (2022); Sánchez-López et al. (2022)
2023	7	Bohne et al. (2023); Yechkalo & Tkachuk (2023); Morozov et al. (2023); Palamar et al. (2023); Pushkar et al. (2023); Tonbuloglu (2023)
2024	9	Semerikov et al. (2024); Oleksiuk et al. (2024); Velychko et al. (2024); Lytvynova & Rashevskaya (2024); Ovcharuk et al. (2024); Riabko & Ihnatenko (2024)
2025	5	Emiroglu et al. (2025); Sripan & Manyam (2025); Zappalá et al. (2025); Riabko & Ihnatenko (2025); Floodcraft (2025)

Примечание: составлено авторами

ИБ2. Географическое распределение исследований

Геймификация исследуется в широком спектре национальных контекстов, охватывающих европейские, азиатские и американские образовательные системы. Наибольшее количество исследований зафиксировано в Украине (N = 7; 17%), а также в Испании (N = 5; 12%), Индонезии (N = 3; 7%), Малайзии (N = 3; 7%) и России (N = 3; 7%), которые в совокупности формируют значительную часть выборки. Существенный вклад вносят также США и Канада (N = 4; 10%), в то время как европейские страны, включая Германию, Великобританию, Ирландию, Польшу, Францию и Португалию (в сумме N = 8; 19%), а также государства Латинской Америки – Чили и Бразилию (N = 2; 5%), – демонстрируют устойчивое, но менее объёмное представительство. Международные и мультинациональные обзоры составили 6 публикаций (15%). Все собранные данные были интегрированы в картографическую визуализацию (Рисунок 2), составленную авторами на основе агрегированных показателей по странам. Цветовое кодирование отражает интенсивность исследовательской активности (от 1 до 5 публикаций), что позволяет визуальнo сопоставить распределение научного интереса к геймификации между регионами.

Казахстан представлен двумя исследованиями (N = 2; 5%), однако публикации демонстрируют усиливающийся интерес к интеграции игровых подходов в подготовку педагогов и цифровизацию высшего образования. Вместе с тем сравнительный анализ показывает недостаточное представительство стран Центральной Азии (в сумме менее 5% выборки), что подчёркивает необходимость расширения региональных эмпирических исследований, адаптированных к культурным и институциональным особенностям образовательной среды Казахстана и сопредельных государств. В этой связи вопросы использования элементов геймификации именно в программах подготовки будущих учителей информатики пока освещаются точечно и существенно уступают по количеству исследованиям, посвящённым другим направлениям высшего образования. Тем не менее, выявленные работы позволяют определить направление развития исследований по геймификации в методике преподавания информатики, а также определить элементы, обладающие методическим потенциалом.

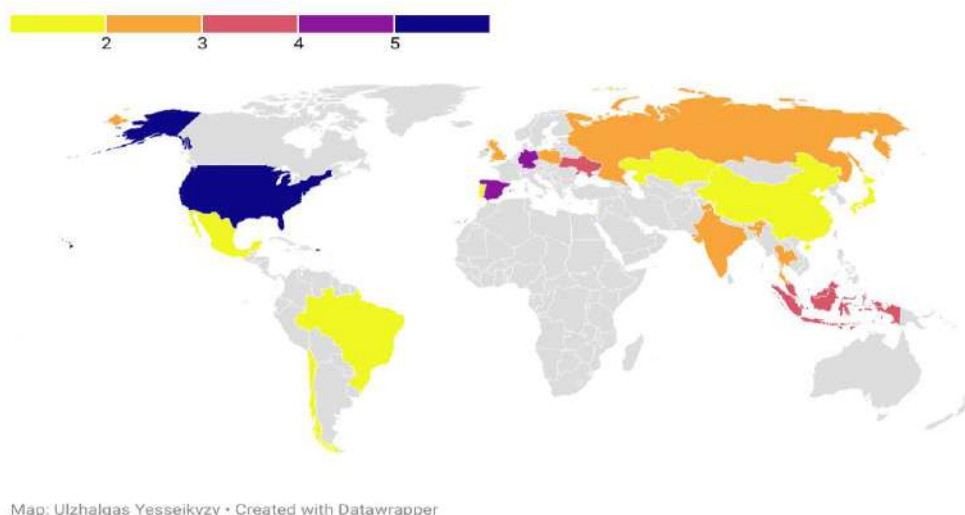


Рисунок 2. Географическое распределение публикаций по континентам и странам, 2020–2025 (составлено авторами)

ИБ3. Наиболее часто используемые ключевые слова

Анализ ключевых слов показывает, что исследования по геймификации в высшем образовании формируются вокруг устойчивого набора понятий, связанных прежде всего с образовательным процессом. Чаще всего в публикациях встречаются такие термины, как «геймификация», «образование», «обучение», «высшее образование» и «студенты». Их

высокая частотность отражает ориентацию научных работ на изучение влияния игровых подходов на обучение, взаимодействие студентов и организацию учебной среды.

Помимо образовательной лексики, авторы активно используют слова, связанные с методологией исследований. В текстах нередко упоминаются «смешанные методы», «систематический обзор», «библиометрический анализ», что свидетельствует о разнообразии применяемых исследовательских стратегий. Выделяются также понятия, описывающие конкретные механики геймификации, например «стимулы», «выбор», «социальное взаимодействие», которые фиксируют интерес исследователей к изучению мотивационных факторов и форм взаимодействия в учебном процессе. В совокупности такая структура ключевых слов показывает, что геймификация постепенно занимает устойчивое место в образовательных исследованиях и рассматривается не только как педагогический инструмент, но и как объект междисциплинарного анализа.

ИБ4. Применяемые исследовательские методологии

Анализ 42 отобранных публикаций показывает, что методы исследования геймификации в высшем образовании охватывают широкий спектр теоретических и эмпирических подходов. В выборке представлены концептуальные работы, аналитические обзоры, библиометрические исследования, эксперименты, квази-экспериментальные дизайны, опросы, кейс-стади и смешанные методы, что подчёркивает междисциплинарный характер исследовательского поля. Значительная часть работ относится к теоретико-аналитическому направлению, включая фундаментальные обзоры, в которых уточняются базовые понятия геймификации и формируются методологические ориентиры для эмпирических исследований (Deterding S.; Namari J.; Kapp K.; Seaborn K., Fels D.).

Наряду с этим замечен большой массив эмпирических исследований, включающий:

- экспериментальные и квази-экспериментальные дизайны (Landers R.; Bohne T.; Jitsupa J.; Khalil F.);
- опросы и исследование восприятия студентов (Pegalajar-Palomino M.; Acosta-Medina J.);
- библиометрические и систематические обзоры (Irwanto I.; Saleem T.; Pan Y.; Platz T.);
- качественные исследования и кейс-стади (Lluch-Molins L.; Othman N.).

Часть публикаций использует смешанные методы, объединяя количественные и качественные данные. Таким образом, современная методологическая база исследований геймификации в высшем образовании отличается выраженной многопрофильностью: от фундаментальных концептуальных работ до экспериментальных моделей и библиометрических обзоров. Это подтверждает зрелость направления и переход международного научного сообщества к более комплексному исследованию эффектов геймификации. В совокупности такие методологические подходы создают основу для более глубокого анализа не только эффективности отдельных игровых элементов, но и особенностей их педагогического применения. Это особенно важно при рассмотрении методических аспектов использования геймификации в подготовке будущих учителей информатики, где требуется адаптация игровых подходов к задачам профессионального обучения.

ИБ5. Наиболее распространённые элементы геймификации

На основе проведённого контент-анализа был сформирован перечень игровых механик, используемых в высшем образовании. Итоги визуализированы в sunburst-диаграмме (Рисунок 3), которая отражает частоту и структуру применения различных элементов. Диаграмма показывает, что наиболее широко используются баллы, значки, рейтинговые таблицы и уровни, формирующие крупнейшие сегменты. Эти элементы выступают базовыми инструментами мотивации и контроля прогресса в большинстве исследованных работ.

Менее объёмные категории – «Прогресс», «Награды», «Нарратив», «Соревнование» и «Прочее» – представлены реже и включают сюжетные задания, квесты, индикаторы продвижения и формы социального взаимодействия. Их ограниченная доля на диаграмме свидетельствует о точечном использовании таких механик, преимущественно в отдельных кейсах или экспериментальных исследованиях.



Рисунок 3. Наиболее распространённые элементы геймификации в высшем образовании (2020–2025) (составлено авторами)

В целом структура визуализации демонстрирует преобладание традиционных элементов (баллы, значки, рейтинги) и постепенное расширение интереса к более коллаборативным и поддерживающим игровым стратегиям, что отражает сдвиг исследовательского фокуса в последние годы.

Для подготовки будущих учителей информатики важны элементы, связанные с поэтапностью выполнения заданий, накоплением достижений, системой обратной связи и соревновательными форматами, поскольку они соответствуют структуре курсов по алгоритмизации, программированию и проектной деятельности.

Тот факт, что в исследованиях чаще всего используются баллы, значки, рейтинги и уровни, указывает на ориентацию практик геймификации на контроль прогресса и поддержание регулярной активности. Для подготовки будущих учителей информатики это означает целесообразность смещения акцента от соревнования как самоцели к поэтапному освоению и прозрачной обратной связи, поскольку именно эти механики напрямую поддерживают освоение алгоритмических и проектных задач.

ИБ6. Влияние геймификации на образовательные переменные

Проведённый анализ публикаций показывает, что геймификация оказывает как положительное, так и отрицательное влияние на различные параметры учебного процесса. Наиболее устойчиво выявляемым положительным эффектом является повышение мотивации и активности студентов, что подтверждается результатами исследований последних лет. Геймифицированные среды способствуют улучшению академической успеваемости, стимулируют интерес к учебному материалу, а также повышают удовлетворённость образовательным опытом. В ряде работ отмечается развитие критического мышления, навыков решения проблем и рост уверенности обучающихся в собственных возможностях, что особенно выражено при использовании продуманных механизмов обратной связи и поэтапного продвижения. Наряду с этим исследования фиксируют и ряд ограничений. Одной из наиболее частых проблем становится снижение вовлечённости при чрезмерной игровой нагрузке, что приводит к утомлению и потере интереса. Некоторые авторы подчёркивают

трудности, связанные с техническими сбоями и нарушением контроля над учебным процессом, особенно в условиях онлайн-обучения. Существенным барьером остаются дефицит цифровых компетенций у преподавателей и ограниченная способность адаптировать игровые элементы под различные стили обучения, что снижает общую эффективность внедрения. Кроме того, геймификация может быть применима не во всех образовательных контекстах: в ряде работ отмечается ограниченность её использования при высокой разнородности студенческих групп или недостаточной поддержке со стороны педагогической команды.

Проведённый анализ показывает, что геймификация обладает значительным методическим потенциалом, особенно в контексте подготовки будущих учителей информатики. Элементы, обеспечивающие обратную связь, поэтапное продвижение, развитие самостоятельности и решение задач повышенной сложности, могут эффективно применяться в преподавании методических и профессиональных дисциплин по информатике. Это делает геймификацию перспективным инструментом для повышения качества методической подготовки.

При интерпретации результатов важно учитывать, что отрицательные эффекты чаще описываются в условиях перегруженного игрового дизайна и недостаточной методической интеграции, а не как свойство геймификации в целом. Следовательно, обоснованность выводов статьи состоит в том, что выявленные эффекты следует трактовать через условия реализации, уровень готовности преподавателя и согласование игровых механик с целями подготовки будущих учителей информатики.

Дискуссия

Педагогические механизмы и условия применения геймификации в подготовке будущих учителей информатики. Проведённый анализ результатов позволяет перейти от описания частотности игровых элементов к их интерпретации с точки зрения педагогического применения в подготовке будущих учителей информатики. Преобладание таких элементов, как баллы, значки, рейтинги и уровни, указывает на стремление структурировать учебный процесс и поддерживать регулярную активность студентов. Вместе с тем анализ публикаций показывает, что сами по себе игровые элементы не обеспечивают устойчивого педагогического эффекта и требуют методически обоснованного внедрения.

Сопоставление результатов ИВ5 и ИВ6 позволяет выделить несколько педагогических механизмов, через которые геймификация может быть эффективна в профессиональной подготовке. В первую очередь это поддержание учебной мотивации и саморегуляции за счёт поэтапного выполнения заданий и системы обратной связи. Данный механизм особенно значим для дисциплин по программированию и алгоритмизации, где усвоение материала требует последовательного наращивания сложности. Кроме того, визуализация прогресса и достижений способствует формированию уверенности обучающихся в собственных возможностях и положительно влияет на их отношение к учебной деятельности.

Отдельное значение имеют элементы, ориентированные на взаимодействие и сотрудничество. В исследованиях отмечается, что использование соревновательных и кооперативных форм может способствовать развитию коммуникативных навыков и навыков совместного решения задач. Для будущих учителей информатики это имеет методическую ценность, поскольку отражает специфику их будущей профессиональной деятельности, связанную с организацией учебного взаимодействия и управлением учебным процессом.

В то же время анализ литературы выявил ряд ограничений применения геймификации. К ним относятся снижение вовлечённости при избыточной игровой нагрузке, технические трудности при использовании цифровых платформ, а также недостаточная готовность преподавателей к методически грамотному использованию игровых элементов. Это позволяет сделать вывод о том, что эффективность геймификации определяется не столько набором используемых элементов, сколько условиями их применения, уровнем педагогического сопровождения и соответствием целей обучения.

Таким образом, результаты систематического анализа позволяют рассматривать геймификацию как потенциально эффективный инструмент подготовки будущих учителей информатики при условии её интеграции в структуру учебных курсов, ориентированных на развитие профессиональных и методических компетенций. Наиболее перспективными являются игровые механики, обеспечивающие поэтапность обучения, обратную связь и осмысленное вовлечение студентов в учебный процесс.

Заключение

Проведённый систематический обзор публикаций 2020–2025 гг. позволил обобщить современные подходы к применению геймификации в высшем образовании и выявить основные тенденции и ограничения её использования. Анализ показал, что геймификация чаще всего реализуется через базовые игровые элементы, направленные на поддержание активности и визуализацию учебного прогресса, при этом педагогические эффекты зависят от условий и контекста внедрения.

Обоснованность выводов исследования заключается в сопоставлении выявленных эффектов с особенностями педагогического дизайна и образовательной среды. Положительное влияние геймификации проявляется преимущественно в тех случаях, когда игровые элементы интегрированы в поэтапную структуру обучения и сопровождаются системной обратной связью. Отрицательные эффекты, отмечаемые в ряде исследований, связаны главным образом с перегрузкой игровыми стимулами, техническими ограничениями и недостаточной методической проработкой.

Научная значимость работы состоит в том, что результаты обзора интерпретируются в контексте подготовки будущих учителей информатики, что позволяет уточнить педагогические механизмы и условия результативного применения геймификации. Полученные выводы могут быть использованы в дальнейшем при разработке и апробации геймифицированных учебных модулей в курсах программирования и методики преподавания информатики, а также служить основой для последующих эмпирических исследований.

Список использованной литературы

- [1] Токаев К.-Ж. К. Послание Президента Республики Казахстан Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана «Казахстан в эпоху искусственного интеллекта: актуальные задачи и их решения через цифровую трансформацию». Официальный сайт Президента Республики Казахстан, 2024. URL: <https://www.akorda.kz> (дата обращения: 12.11.2025).
- [2] Deterding S., Dixon D., Khaled R., Nacke L. From game design elements to gamefulness: Defining “gamification”. In: *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*. ACM, 2011. Pp. 9–15. DOI: <https://doi.org/10.1145/2181037.2181040>
- [3] Hamari J., Koivisto J., Sarsa H. Does gamification work? A literature review of empirical studies on gamification. In: *Proceedings of the 47th Hawaii International Conference on System Sciences*. IEEE, 2014. Pp. 3025–3034. DOI: <https://doi.org/10.1109/HICSS.2014.377>
- [4] Kapp K. M. *The Gamification of Learning and Instruction: Game-Based Methods and Strategies for Training and Education*. John Wiley & Sons, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1145/2207270.2211316>
- [5] Seaborn K., Fels D. I. Gamification in theory and action: A survey. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2015, vol. 74, pp. 14–31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2014.09.006>
- [6] Saleem T., Ahmed S., Abid M., Ahmed A., Khan H. A systematic literature review of gamification in e-learning. *Education and Information Technologies*, 2022, vol. 27, no. 1, pp. 155–186. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10578-7>
- [7] Dichev C., Dicheva D. Gamifying education: What is known, what is believed and what remains uncertain. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 2017, vol. 14, no. 9, pp. 1–35. DOI: <https://doi.org/10.1186/1239-017-0042-5>
- [8] Landers R. N., Landers A. K. An empirical test of the theory of gamified learning: The effect of leaderboards on time-on-task and academic performance. *Simulation & Gaming*, 2014, vol. 45, no. 6, pp. 769–785. DOI: <https://doi.org/10.1177/1046878114563662>

- [9] Morschheuser B., Hamari J., Koivisto J., Maedche A. Gamification in crowdsourcing: A review. *Electronic Markets*, 2017, vol. 27, no. 1, pp. 21–39. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12525-016-0246-5>
- [10] Nicholson S. A RECIPE for meaningful gamification. In: Reiners T., Wood L. (Eds.). *Gamification in Education and Business*. Springer, 2015. Pp. 1–20. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-10208-5_1
- [11] Jayalath N., Esichaikul V. The effectiveness of gamification in higher education: A systematic review. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 2020, vol. 15, no. 23, pp. 4–16. DOI: <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i23.12183>
- [12] Behl A., Jayawardena N., Pereira V., Islam N., Del Giudice M., Choudhury J. Gamification and e-learning for young learners: A systematic literature review and future research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 2022, vol. 176, pp. 28–50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121445>
- [13] Қуанбаева Ж., Байғұтова Д., Ибрагимова У. Геймификация как новый метод обучения в цифровом образовании. *Scientific Journal of Pedagogy and Economics*, 2024, vol. 30, no. 1(117), pp. 154–162.
- [14] Уаисова М. М., Комаров Д. Н. Геймификация как один из возможных методов обучения в системе технического и профессионального образования Республики Казахстан. *Наука и перспективы*, 2019, no. 4, pp. 334–341.
- [15] Алдабергенова А., Есейкызы Ұ., Кыдырбаева Г., Есейкызы А. Анализ современного состояния использования элементов геймификации в подготовке будущих учителей информатики. *Вестник КазНПУ имени Абая. Серия: Физико-математические науки*, 2024, №1(85), С. 189–197. DOI: <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.85.1.018>
- [16] Жансугурова Г. К., Сулейменова С. А., Кадырова Г. А. Геймификация профессионального образования: сравнительный анализ существующих фронтиров исследования. *Вестник Карагандинского университета. Серия Педагогика*, 2025, №1(30) С. 120–127.

References

- [1] Tokaev K.-Zh. K. (2024) Poslanie Prezidenta Respubliki Kazakhstan Kasym-Zhomarta Tokaeva narodu Kazakhstana “Kazakhstan v epohu iskusstvennogo intellekta: aktual’nye zadachi i ih resheniya cherez tsifrovuyu transformatsiyu” [Message of the President of the Republic of Kazakhstan Kassym-Jomart Tokayev to the Nation “Kazakhstan in the Era of Artificial Intelligence”]. *Oficial'nyj sajt Prezidenta Respubliki Kazakhstan*. Available at: <https://www.akorda.kz> (accessed: 12.11.2025). (In Russian)
- [2] Deterding S., Dixon D., Khaled R., Nacke L. From game design elements to gamefulness: Defining “gamification”. In: *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*. ACM, 2011. Pp. 9–15. DOI: <https://doi.org/10.1145/2181037.2181040>
- [3] Hamari J., Koivisto J., Sarsa H. Does gamification work? A literature review of empirical studies on gamification. In: *Proceedings of the 47th Hawaii International Conference on System Sciences*. IEEE, 2014. Pp. 3025–3034. DOI: <https://doi.org/10.1109/HICSS.2014.377>
- [4] Kapp K. M. *The Gamification of Learning and Instruction: Game-Based Methods and Strategies for Training and Education*. John Wiley & Sons, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1145/2207270.2211316>
- [5] Seaborn K., Fels D. I. Gamification in theory and action: A survey. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2015, vol. 74, pp. 14–31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2014.09.006>
- [6] Saleem T., Ahmed S., Abid M., Ahmed A., Khan H. A systematic literature review of gamification in e-learning. *Education and Information Technologies*, 2022, vol. 27, no. 1, pp. 155–186. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10578-7>
- [7] Dichev C., Dicheva D. Gamifying education: What is known, what is believed and what remains uncertain. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 2017, vol. 14, no. 9, pp. 1–35. DOI: <https://doi.org/10.1186/1239-017-0042-5>
- [8] Landers R. N., Landers A. K. An empirical test of the theory of gamified learning: The effect of leaderboards on time-on-task and academic performance. *Simulation & Gaming*, 2014, vol. 45, no. 6, pp. 769–785. DOI: <https://doi.org/10.1177/1046878114563662>
- [9] Morschheuser B., Hamari J., Koivisto J., Maedche A. Gamification in crowdsourcing: A review. *Electronic Markets*, 2017, vol. 27, no. 1, pp. 21–39. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12525-016-0246-5>
- [10] Nicholson S. A RECIPE for meaningful gamification. In: Reiners T., Wood L. (Eds.). *Gamification in Education and Business*. Springer, 2015. Pp. 1–20. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-10208-5_1

[11]Jayalath N., Esichaikul V. *The effectiveness of gamification in higher education: A systematic review. International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 2020, vol. 15, no. 23, pp. 4–16. DOI: <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i23.12183>

[12]Behl A., Jayawardena N., Pereira V., Islam N., Del Giudice M., Choudhury J. *Gamification and e-learning for young learners: A systematic literature review and future research agenda. Technological Forecasting and Social Change*, 2022, vol. 176, pp. 28–50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121445>

[13]Kuanbaeva Zh., Baigutova D., Ibragimova U. (2024) *Gejmifikaciya kak novyy metod obucheniya v tsifrovom obrazovanii [Gamification as a New Teaching Method in Digital Education]*. *Scientific Journal of Pedagogy and Economics*, vol. 30, no. 1(117), pp. 154–162. (In Russian)

[14]Uaisova M. M., Komarov D. N. (2019) *Gejmifikaciya kak odin iz vozmozhnykh metodov obucheniya v sisteme tekhnicheskogo i professional'nogo obrazovaniya Respubliki Kazakhstan [Gamification as a Possible Method of Teaching in the System of Technical and Vocational Education of Kazakhstan]*. *Nauka i perspektivy*, no. 4, pp. 334–341. (In Russian)

[15]Aldabergenova A., Yesseikyzy U., Kydyrbaeva G., Yesseikyzy A. (2024) *Analiz sovremennogo sostoyaniya ispol'zovaniya elementov gejmifikatsii v podgotovke budushchih uchitelej informatiki [Analysis of the Current Use of Gamification Elements in Training Future Informatics Teachers]*. *Vestnik KazNPU imeni Abaya. Seriya: Fiziko-matematicheskie nauki*, vol. 85, no. 1, pp. 189–197. <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.85.1.018> (In Russian)

[16]Zhansugurova G. K., Suleimenova S. A., Kadyrova G. A. (2025) *Gejmifikaciya professional'nogo obrazovaniya: sravnitel'nyy analiz sushchestvuyushchih frontirov issledovaniya [Gamification of Professional Education: Comparative Analysis of Existing Research Frontiers]*. *Vestnik Karagandinskogo universiteta. Seriya: Pedagogika*, vol. 30, no. 1, pp. 120–127. (In Russian)

Ye.H. Zhabayev^{1*}, M.I. Revshenova¹, A.A. Amangeldin¹

¹Abai Kazakh national pedagogical university, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: ermahan_zh.h@mail.ru

THE POSSIBILITIES OF USING AUGMENTED REALITY TECHNOLOGY IN TEACHING ROBOTICS TO SCHOOLCHILDREN

Abstract

The article is devoted to exploring the potential of using game elements in teaching robotics within the context of modern STEM education. The use of gamification in the educational process enhances students' motivation, engagement, and the effectiveness of learning outcomes. An analysis of scientific research has shown that the integration of game mechanics—such as point systems, levels, virtual rewards, and narrative scenarios—has a positive impact on knowledge acquisition, the development of engineering thinking, and the formation of teamwork skills. Special attention is given to the Kazakhstani experience of integrating gamification, particularly through the implementation of the mobile application RoboBil, designed for teaching robotics to middle school students. The application combines theoretical materials, practical tasks, quizzes, and AR-based reward models, enabling personalized learning paths and strengthening the gamification effect. The research results demonstrate that the use of the RoboBil mobile application increases students' interest in robotics, improves their academic performance, and develops their problem-solving skills. Thus, gamification combined with mobile technologies opens new perspectives for the development of educational robotics and can serve as a model for introducing innovative practices in schools.

Keywords: informatization of education, augmented reality, robotics, immersive technologies, STEM.

Е.Х. Жабаев¹, М.И. Ревшенова¹, А. Амангелдин¹

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

РОБОТОТЕХНИКАНЫ ОҚЫТУДА ОЙЫН ЭЛЕМЕНТТЕРІН ПАЙДАЛАНУ МҮМКІНДІКТЕРІ

Аңдатпа

Мақала заманауи STEM білім беру жағдайында робототехниканы оқытуда ойын элементтерін пайдалану мүмкіндіктерін зерттеуге арналған. Оқу процесінде ойын элементтерін пайдалану оқушылардың ынтасын, олардың сабаққа қатысуын және оқу материалын меңгеру тиімділігін арттыруға көмектеседі. Ғылыми зерттеулерді талдау ұпайлар жүйесі, деңгейлер, виртуалды марапаттар мен сюжеттік сценарийлер сияқты ойын механикасын енгізу білімді меңгеруге, инженерлік ойлауды дамытуға және топпен жұмыс істеу дағдыларын қалыптастыруға оң әсерін тигізетінін көрсетті. Геймификацияны интеграциялаудың қазақстандық тәжірибесіне, атап айтқанда орта мектеп оқушыларына робототехниканы оқытуға арналған RoboBil мобильді қосымшасын енгізуге ерекше назар аударылады. Қолданба теориялық материалдарды, практикалық тапсырмаларды, сынақтарды және марапаттардың AR үлгілерін біріктіреді, бұл сізге жеке оқыту жолдарын жасауға мүмкіндік береді және геймификация әсерін күшейтеді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, RoboBil мобильді қосымшасын қолдану мектеп оқушыларының робототехникаға деген қызығушылығын арттыруға, олардың оқу үлгерімін арттыруға және практикалық есептерді шешу дағдыларын дамытуға ықпал етеді. Осылайша, мобильді технологиялармен біріктірілген геймификация білім беру робототехникасын дамытудың жаңа перспективаларын ашады және мектептерде инновациялық тәжірибелерді енгізуге үлгі бола алады.

Түйін сөздер: білім беруді ақпараттандыру, толықтырылған шындық, робототехника, иммерсивті технологиялар, STEM.

Е.Х. Жабаяев¹, М.И. Ревшеноев¹, А. Амангелдин¹

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г.Алматы, Казахстан

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИГРОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОБУЧЕНИИ РОБОТОТЕХНИКЕ

Аннотация

Статья посвящена исследованию возможностей применения игровых элементов в обучении робототехнике в условиях современного STEM-образования. Использование игровых элементов в образовательном процессе способствует повышению мотивации учащихся, их вовлеченности и эффективности усвоения учебного материала. Анализ научных исследований показал, что внедрение игровых механик, таких как система баллов, уровней, виртуальных наград и сюжетных сценариев, положительно влияет на усвоение знаний, развитие инженерного мышления и формирование навыков командной работы. Особое внимание уделено казахстанскому опыту интеграции геймификации, в частности внедрению мобильного приложения RoboBil, созданного для обучения робототехнике учащихся средней школы. Приложение сочетает теоретический материал, практические задания, тесты и AR-модели наград, что позволяет создавать персонализированные траектории обучения и усиливает эффект геймификации. Результаты исследования демонстрируют, что использование мобильного приложения RoboBil способствует повышению интереса школьников к робототехнике, улучшает их академическую успеваемость и развивает навыки решения практических задач. Таким образом, геймификация в сочетании с мобильными технологиями открывает новые перспективы для развития образовательной робототехники и может служить моделью для внедрения инновационных практик в школах.

Ключевые слова: информатизация образования, дополненная реальность, робототехника, иммерсивные технологии, STEM.

Introduction

This study investigates how incorporating game elements can enhance robotics education within modern STEM programs. In the context of rapid technological advancement and the increasing importance of digital literacy, educators face the challenge of engaging students in complex technical subjects such as robotics. Effective STEM education today requires innovative teaching approaches that make learning not only informative but also interactive, engaging, and enjoyable.

Robotics as a discipline integrates engineering, programming, mathematics, and problem-solving. While this interdisciplinary nature provides rich learning opportunities, it can also pose challenges for students who may find these topics abstract or difficult to relate to real-life applications. As a result, maintaining consistent motivation and interest becomes a key task for educators.

Gamification—defined as the application of game design elements in non-game contexts—offers a promising pedagogical approach to addressing these challenges. By introducing features such as points, levels, leaderboards, virtual rewards, and storytelling, gamification transforms the learning process into an experience that stimulates curiosity, engagement, and a sense of achievement [1,2]. When thoughtfully integrated into the curriculum, these elements not only sustain students' attention but also make the assimilation of complex engineering and programming concepts more accessible. Moreover, they help to cultivate essential 21st-century skills, including logical reasoning, creative problem-solving, collaboration, and perseverance [3-5].

Recent research and data from academic databases such as Scopus and Google Scholar reveal a growing interest in applying gamification to technical and engineering education [6]. Numerous studies report that combining traditional instruction with digital tools and gamified learning environments significantly improves student performance, enhances retention of knowledge, and promotes self-directed learning.

Within this context, the main objective of the present study is to examine the impact of game-based elements on the effectiveness of robotics learning. Specifically, it aims to identify which gamification strategies—such as point systems, AR-based rewards, or progress tracking—most effectively contribute to improving students' motivation, comprehension, and practical skills in robotics. The study also seeks to propose a model for integrating gamification into STEM curricula,

highlighting its potential to personalize learning trajectories and increase accessibility to technical education for students of different ability levels.

Research Methodology

The study began with an evaluation of how game elements can be applied in robotics education under modern STEM frameworks. We focused on identifying methods that maximize learning outcomes. We conducted a comparative review of scientific publications from Scopus and Google Scholar (2023-2025) covering gamification in STEM. Practical examples were also examined, including our mobile app RoboBil, which combines theoretical content, hands-on exercises, quizzes, and AR robot models used as rewards. The study was conducted on the basis of an analysis of existing educational programs incorporating game mechanics, as well as through practical experiments with middle and high school students. Within the framework of the experiment, the following game-based elements were employed:

- Competitions and tournaments (robot programming contests, robotics challenges).
- Achievement systems (levels, rewards, and rankings for successful task completion).
- Storylines and missions (thematic assignments related to robotics).
- Simulation environments (virtual laboratories where students can test programming solutions prior to applying them on physical robots).

Results of the study

The incorporation of game-based elements into robotics education within the framework of contemporary STEM learning significantly enhances instructional effectiveness by increasing the clarity and interactivity of educational materials. The analysis of the outcomes of implementing game-based elements revealed the following key trends, which are illustrated in Figure 1:

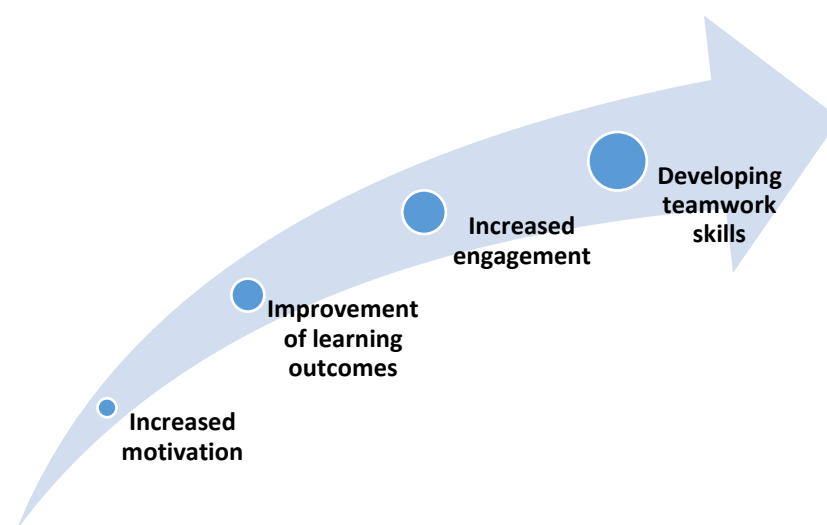


Figure 1. Key Trends in the Implementation of Game-Based Elements

During the experiment, 87% of students reported that the game-based format increased their interest in learning robotics. Learners engaged in the gamified environment acquired basic concepts of programming and robot mechanics more rapidly. Classes incorporating game elements attracted a broader range of students, including those who had previously shown little or no interest in robotics. Team competitions contributed to the development of communication and leadership skills. Nevertheless, several limitations were also identified:

- Excessive focus on the game – in some cases, students concentrated more on the gaming aspects than on the actual learning process;
- Need for additional teacher preparation – the successful implementation of game-based elements requires thorough methodological development and adequate technical resources.

The use of game-based elements in teaching robotics within the context of modern STEM education provides a number of advantages. First and foremost, a game-based approach enhances students' motivation and engagement in the educational process, as learning is perceived not as a routine activity but as an engaging and dynamic game. Game mechanics such as point systems, rankings, virtual rewards, and storyline-based tasks stimulate cognitive activity and foster a sustained interest in technical disciplines (see Fig. 2).

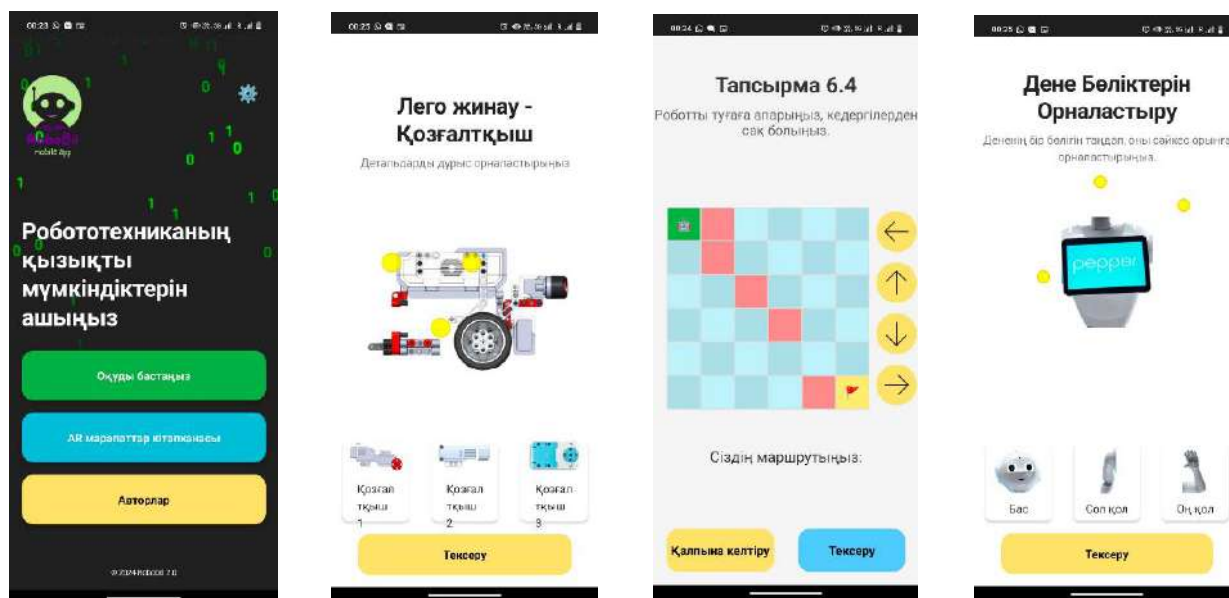


Figure 2. Game-Based Elements in the RoboBil Mobile Application

Moreover, the application of gamification contributes to the development of critical thinking, problem-solving abilities, and teamwork skills, which are among the key competencies of STEM education. In the context of project-based work, students learn to analyze, experiment, and generate creative solutions, while the game-based format reduces stress and alleviates the fear of making mistakes.

An important advantage also lies in the potential for personalized learning: game elements make it possible to adapt tasks to the learner's level of preparedness, ensuring a gradual increase in complexity and supporting an individualized trajectory of development.

Thus, the integration of game-based elements into robotics education not only enhances the effectiveness of learning outcomes but also fosters a sustained motivation among school and university students to engage with engineering and digital technologies, thereby preparing them for the challenges of the contemporary educational and professional environment.

A considerable body of research confirms that the integration of game-based elements into the educational process – particularly in the teaching of robotics and other STEM disciplines – has a positive impact on students' academic performance.

Based on the results of the conducted experiments, it was established that the use of game-based elements in the educational process has a positive impact on students' academic performance. In particular, learners engaged in gamified methodologies demonstrate higher levels of motivation, engagement, and cognitive activity compared to those taught within the framework of traditional pedagogical approaches. These findings are consistent with a number of international studies, which emphasize that gamification contributes to the development of critical thinking, the improvement of problem-solving skills, and the cultivation of a sustained interest in the disciplines under study. In a meta-analysis by Zeng et al. [7], which encompassed 22 experiments conducted between 2008 and 2023, a moderately strong positive effect of gamification on academic performance was observed, with a significant effect size of Hedges's $g = 0.782$ ($p < 0.05$) [8]. Similarly, the systematic review

by Jaramillo-Mediavilla et al. [9] confirms that the integration of game-based elements enhances both motivation and learning outcomes, further substantiating the influence of gamification on academic achievement.

Moreover, game mechanics create favorable conditions for the individualization of the learning process, allowing for the consideration of each student's level of preparedness and pace of knowledge acquisition. Therefore, the integration of game-based elements into robotics education within the framework of modern STEM learning can be regarded as an effective tool for improving the quality of education and fostering the key competencies of the 21st century.

Discussion

The application of game-based elements and mobile technologies, such as RoboBil, reflects global trends in the digitalization of education. Unlike traditional teaching methods, the application integrates learning, practice, and play within a single environment, which aligns with the principles of contemporary pedagogy and the digital transformation of education [10].

Moreover, RoboBil addresses the challenge of localizing educational technologies, as it is specifically designed for Kazakhstani school students and takes into account the national context. This serves as an example of how international approaches to gamification can be effectively adapted to the conditions of a local educational system.

The integration of gamification opens new perspectives for the advancement of personalized learning, which is particularly relevant for technical disciplines such as robotics. By combining game-based elements with intelligent algorithms, it becomes possible not only to enhance learners' motivation and engagement but also to ensure a flexible adjustment of the educational process to individual student needs. The Kazakhstani experience in this field demonstrates that the implementation of such approaches contributes to an increased interest in STEM disciplines, the development of sustainable learning habits, and the cultivation of independent learning skills.

At the same time, it is necessary to take into account the potential risks associated with the excessive or improper application of gamified practices. Among these are phenomena such as motivational fatigue (when constant exposure to external stimuli leads learners to lose intrinsic interest in the subject), a decline in academic focus (when attention is directed primarily toward the gaming component rather than the content), and the emergence of social pressure resulting from competition or comparison of achievements with peers. These factors may negatively affect both the quality of knowledge acquisition and the level of psychological well-being of school and university students.

Therefore, the integration of gamification into the educational process requires an ethically sound, scientifically grounded, and adaptive approach. Such an approach should include:

- the use of diverse game elements and mechanics (e.g., points, levels, scenarios, exploratory tasks, and cooperative missions),
- regular monitoring of the impact of game-based technologies on learners' motivation, academic performance, and emotional well-being,
- a flexible system of rotating game tools, which helps to prevent the "habituation effect" and sustain interest throughout the entire course,
- a balance between game mechanics and the substantive content of learning, ensuring that gamified practices serve not as a distraction but as a means of consolidating knowledge and fostering competencies.

Thus, a well-designed combination of gamification and artificial intelligence can not only enhance the effectiveness of teaching robotics and related disciplines but also foster learners' skills in self-organization, critical thinking, and teamwork. However, the key condition for successful implementation remains sustained attention to the psychological, pedagogical, and ethical dimensions of applying these technologies.

The results of the study confirm that the use of game-based elements in robotics education has a significant impact on students' motivation, academic performance, and the development of key skills.

The use of gamification makes the learning process more engaging and dynamic. A comparative analysis demonstrated that the level of motivation under traditional instruction was 62%, whereas with the integration of game-based elements it increased to 85%. This growth can be explained by the implementation of game mechanics (points, levels, virtual rewards), which provide students with an additional sense of engagement.

Table 1. The level of motivation of students

Teaching methods	Average motivation level (%)
Traditional education	62
With gamification	85

Gamification also has a positive effect on the effectiveness of knowledge acquisition. Student's academic performance increased from 68% under traditional instruction to 88% when gamification was applied. Importantly, the use of the RoboBil mobile application—which includes theoretical materials, tests, practical tasks, and AR-based rewards—not only reinforces learning outcomes but also helps to form individualized learning trajectories.

Table 2. Student performance

Teaching methods	Students' academic performance (%)
Traditional education	68
With gamification	88

Particular attention should be given to the development of teamwork, engineering thinking, and problem-solving skills. Without the use of gamification, the level of these competencies remained at 55–60%, whereas the application of game-based methods increased them to 80–85%.

Table 3. Developing key skills

Skills	Without gamification (%)	With gamification (%)
Teamwork	55	80
Problem solving	60	82

Thus, it can be argued that gamification in robotics education not only enhances students' motivation but also contributes to the improvement of their academic performance. In addition, it strengthens the development of teamwork and engineering skills, while simultaneously opening new perspectives for the integration of mobile technologies into the educational process.

The Kazakhstan experience of implementing the RoboBil mobile application demonstrates that the combination of game mechanics and digital technologies serves as an effective tool for improving the quality of STEM education and can be scaled to other academic disciplines.

Conclusion

In conclusion, game-based elements represent an effective means of teaching robotics within the context of modern STEM education. For the Republic of Kazakhstan, the introduction of gamification offers the opportunity to increase students' motivation, foster a sustained interest in engineering and technical disciplines, and create a learning environment that is both interactive and engaging. The use of game mechanics not only facilitates better knowledge acquisition but also promotes the development of critical thinking, teamwork skills, and creativity.

Scientific research and practical case studies—ranging from Kazakhstani schools to international projects—demonstrate that gamification improves learning outcomes, fosters the development of digital literacy, and makes the acquisition of complex technical concepts more accessible. In contexts where robotics laboratories cannot always be fully equipped, game mechanics serve as an alternative tool for engaging and sustaining students' attention.

A special role is played by the RoboBil mobile application, developed for Kazakhstani schools. It integrates theoretical materials, practical tasks, and game-based elements (points, levels, rewards, AR models), enabling the incorporation of robotics into the educational process even under limited resource conditions. The use of such applications extends the possibilities of gamification, ensuring access to digital tools for all students regardless of their region or the material resources of their schools.

Mobile applications for robotics with augmented reality (AR) support on students' personal devices provide the most effective means of scaling such tools across all schools in the Republic of Kazakhstan. Depending on the learning objective and technical capabilities, AR can be applied either through the addition of a virtual object (in cases where physical models and prototypes are unavailable) or through the addition of an informational layer (when objects are available but have a complex structure or limited functionality).

At the same time, it is necessary to take into account the emerging challenges: the need to prepare teachers for the use of game-based technologies, the development of high-quality instructional materials, and the provision of technical support for schools. When applied appropriately, game elements become not a form of entertainment but a full-fledged didactic tool that complements textbooks, practical activities, and digital platforms.

For Kazakhstan's innovation-oriented education system, the further development of gamification and educational mobile applications such as RoboBil may represent an important step toward modernization. The creation of teacher networks, the exchange of methodological solutions, the implementation of pilot projects, and government support for educational initiatives will contribute to the consolidation of game-based practices in school education. It can be anticipated that in the coming years, game elements will take a firm place in the teaching of robotics, while the Kazakhstani experience will serve as an example of the effective integration of digital technologies into the educational process.

Acknowledgements

This article was prepared with the financial support of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan within the framework of the grant-funded research project №AP19579496 «Development of a Mobile Application for Teaching Robotics to Students of Kazakh Secondary Schools».

References

- [1]Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2023). *From game design elements to gamefulness: Defining gamification. Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference*, 9–15. ACM. <https://doi.org/10.1145/2181037.2181040>
- [2]Kim, H., Park, J., & Lee, S. (2024). *Gamification in STEM education: A systematic review and meta-analysis. Computers & Education*, 210, 104768. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104768>
- [3]Kuklev, V. A. (2015). *Mobile technologies in education: Didactic possibilities and risks. Pedagogical Sciences Journal*, 5(2), 77–84.
- [4]Suzuki, R., Karim, A., Xia, T., Hedayati, H., & Marquardt, N. (2022). *Augmented reality and robotics: A survey and taxonomy for AR-enhanced human–robot interaction and robotic interfaces. ArXiv Preprint. https://arxiv.org/abs/2203.03254*
- [5]Gaskell, P., Pavlasek, J., Gao, T., Narula, A., Lewis, S., & Jenkins, O. C. (2023). *MBot: A modular ecosystem for scalable robotics education. ArXiv Preprint. https://arxiv.org/abs/2312.00962*

- [6]Titova, O. V. (2017). *Classification of mobile applications in education. Informatics and Education*, 1(6), 45–53.
- [7]Zeng, Y., Li, K., & Wang, X. (2024). *The effectiveness of gamification on learning outcomes: A meta-analysis of 22 studies. Educational Technology Research & Development*, 72(3), 451–470. <https://doi.org/10.1007/s11423-024-10532-7>
- [8]Jaramillo-Mediavilla, C., Gómez, C., & López, E. (2024). *Gamification in higher and secondary education: A systematic review. Journal of Educational Computing Research*, 62(2), 217–240. <https://doi.org/10.1177/07356331231234567>
- [9]Zhang, Y., Chen, L., & Wu, H. (2023). *Digital transformation and gamified learning in robotics education. International Journal of STEM Education*, 10(15), 1–18. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00452-8>
- [10]Makhataeva, Z., & Varol, H. A. (2021). *Augmented reality for robotics: A review. Robotics and Autonomous Systems*, 136, 103710. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2021.103710>
- [11]Ministry of Digital Development of the Republic of Kazakhstan. (2018). *Digital Kazakhstan State Program 2018–2022. Astana: Government of Kazakhstan.*
- [12]Astana Times. (2023, June). *Kazakh education set makes robotics easy, fun and accessible for children. The Astana Times.* <https://astanatimes.com/2023/06/kazakh-education-set-makes-robotics-easy-fun-and-accessible-for-children/>
- [13]Auyelbek, M., Ybyraimzhanov, K., Andasbayev, E., Abdykerimova, E., & Turkmenbayev, A. (2022). *Analysis of studies in the literature on educational robotics. Journal of Turkish Science Education*, 19(4), 1267–1290. <https://doi.org/10.36681/tused.2022.126>
- [14]Abdigapbarova, U., Sadirbekova, D., Nishanbayeva, S., & Zhiyenbayeva, N. (2025). *The impact of digital hybrid education model on teachers' engagement and academic performance in the context of Kazakhstan. Scientific Reports*, 15, Article 17865. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-02875-2>
- [15]Abdigapbarova, U., Sadirbekova, D., Nishanbayeva, S., & Zhiyenbayeva, N. (2025). *The impact of digital hybrid education model on teachers' engagement and academic performance in the context of Kazakhstan. Scientific Reports*, 15, 17865. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-02875-2>

С.А. Жамалова ^{1*}, А.М. Тағай ¹

¹Астана Халықаралық университеті, Астана қ., Қазақстан

* e-mail: samal_72_ark@mail.ru

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЕКТ РЕСУРСТАРЫН ЖӘНЕ BLENDER БАҒДАРЛАМАСЫН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП МЕКТЕПТЕ 3D МОДЕЛЬДЕУДІ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІН ДАМУ

Аңдатпа

Мақалада орта білім беру жүйесінде үшөлшемді модельдеу дағдыларын қалыптастыруда жасанды интеллект технологиялары мен Blender бағдарламасының мүмкіндіктерін біріктіре отырып оқыту әдістемесін әзірлеу мәселесі қарастырылады. Зерттеудің мақсаты – 3D модельдеу сабақтарын оқушылардың кеңістіктік ойлау, шығармашылық және инженерлік қабілеттерін дамытуға бағытталған инновациялық тәсілдер негізінде ұйымдастыру. 3D модельдеудің теориялық негіздерін, оның білім беру саласындағы маңызын, сондай-ақ жасанды интеллект құралдарын қолдану арқылы оқу үдерісін жекелеңдіру мен бейімдеудің мүмкіндіктерін жан-жақты талдайды. Зерттеу барысында педагогикалық эксперимент жүргізіліп, оның нәтижелері ұсынылған әдістеменің тиімділігін тәжірибе жүзінде дәлелдейді. Мақалада алынған нәтижелер мектеп оқушыларына арналған цифрлық білім беру мазмұнын жетілдіру және қазіргі заманғы технологияларды оқу процесіне интеграциялау мәселелерін шешуге бағытталған.

Түйін сөздер: үшөлшемді модельдеу, жасанды интеллект, Blender, білім беру әдістемесі, педагогикалық эксперимент, цифрлық құзыреттілік.

С.А. Жамалова ¹, А.М. Тағай ¹

¹ Международный университет Астана, г. Астана, Казахстан

РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ ПРЕПОДАВАНИЯ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ В ШКОЛАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ПРОГРАММЫ BLENDER

Аннотация

В статье рассматривается вопрос разработки методики обучения с интеграцией технологий искусственного интеллекта и возможностей программы Blender для формирования навыков трёхмерного моделирования в системе среднего образования. Цель исследования – организация уроков 3D-моделирования на основе инновационных подходов, направленных на развитие пространственного мышления, креативности и инженерных способностей учащихся. Анализируются теоретические основы 3D-моделирования, его значение в образовательной сфере, а также возможности персонализации и адаптации учебного процесса с использованием инструментов искусственного интеллекта. В ходе исследования был проведён педагогический эксперимент, результаты которого на практике подтвердили эффективность предложенной методики. Полученные выводы направлены на совершенствование цифрового образовательного контента для школьников и интеграцию современных технологий в учебный процесс.

Ключевые слова: трёхмерное моделирование, искусственный интеллект, Blender, образовательная методика, педагогический эксперимент, цифровая компетентность.

S.A. Zhamalova ¹, A.M. Tagay ¹

¹ Astana International University, Astana, Kazakhstan

DEVELOPING A METHODOLOGY FOR TEACHING 3D MODELING IN SCHOOLS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE RESOURCES AND THE BLENDER PROGRAM

Abstract

The article explores the development of a teaching methodology that integrates artificial intelligence technologies and the capabilities of the Blender program to foster three-dimensional modeling skills within the

secondary education system. The aim of the study is to organize 3D modeling lessons based on innovative approaches that promote students' spatial thinking, creativity, and engineering abilities. The article analyzes the theoretical foundations of 3D modeling, its significance in education, and the potential for personalizing and adapting the learning process through the use of artificial intelligence tools. A pedagogical experiment was conducted as part of the research, and its results practically confirmed the effectiveness of the proposed methodology. The findings are aimed at improving digital educational content for school students and integrating modern technologies into the learning process.

Keywords: three-dimensional modeling, artificial intelligence, Blender, educational methodology, pedagogical experiment, digital competence.

Кіріспе

Бүгінде білім беру ұйымдарына оқушылардың цифрлық сауаттылығын арттыру, ғылыми-техникалық шығармашылығын дамыту және жаңа технологияларды тиімді пайдалану міндеттері жүктелген. Мектептерде жасанды интеллект пен 3D модельдеу құралдарын біріктіру осы міндеттерді жүзеге асырудың перспективалы бағыттарының бірі болып отыр [1]. Бұл технологиялар оқушылардың кеңістіктік және сыни ойлау қабілеттерін дамытуға, жобалық іс-әрекет дағдыларын жетілдіруге мүмкіндік береді.

Blender бағдарламасы мектеп оқушыларының жобалық жұмыстарында маңызды құрал ретінде қолданылады. Бұл бағдарламаның көмегімен оқушылар 3D модельдеу, анимация және визуализация дағдыларын меңгере отырып, өз идеяларын нақты әрі көрнекі түрде ұсынуға мүмкіндік алады. Инженерлік, архитектуралық және дизайн бағытындағы жобаларда Blender кеңінен қолданылады, өйткені ол объектілерді дәлдікпен құруға, текстураларды өңдеуге және интерактивті визуализация жасауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл бағдарлама оқушылардың шығармашылық қабілеттерін дамытып, логикалық және кеңістіктік ойлау дағдыларын жетілдіреді [2].

Ал жасанды интеллект (ЖИ) мектеп оқушыларының жобалық жұмыстарында деректерді өңдеу, модельдеу және автоматтандырылған шешімдер ұсыну құралы ретінде қолданылады. ЖИ көмегімен оқушылар 3D модельдеу, бейнеөңдеу, кодтау және деректерді талдау салаларында өз дағдыларын дамыта алады [3]. Нейрондық желілер мен генеративті алгоритмдер оқушыларға күрделі модельдерді оңтайландыруға, дизайн жасауға және интерактивті жобалар құруға көмектеседі. Сонымен қатар, ЖИ оқушылардың креативті ойлауын дамытып, STEM бағытындағы зерттеулерді тереңдетуге мүмкіндік береді [4]. Бүгінде білім беру ұйымдарына оқушылардың цифрлық сауаттылығын арттыру, олардың ғылыми-техникалық шығармашылығын дамыту және ақпараттық-коммуникациялық технологияларды тиімді пайдалану мәселелері бойынша үлкен жауапкершілік жүктеліп отыр. Алайда, мектептерде 3D модельдеу мен жасанды интеллектті біріктіруде бірқатар шешімін таппаған мәселелер бар. Біріншіден, 3D модельдеу құралдарын пайдалануда мұғалімдердің біліктілік деңгейі әрқелкі, бұл олардың жаңа технологияларды тиімді қолдануына кедергі келтіреді [5]. Екіншіден, оқушылардың инженерлік және дизайндық ойлау қабілеттерін дамытуға бағытталған әдістемелер жеткіліксіз. Үшіншіден, мектеп бағдарламасында бұл технологияларды жүйелі түрде оқытуға арналған нақты стандарттардың болмауы қиындық туғызады [6]. ҚР орта білім беру стандарты бойынша "Информатика" пәнінде оқушыларды алгоритмдік ойлауға және бағдарламалау негіздерін үйрету қарастырылған. Алайда, бұл пәннің мазмұнында 3D модельдеу және жасанды интеллект технологияларын қолдану толыққанды қарастырылмаған. Осы олқылықты толтыру мақсатында кейбір мектептер Blender бағдарламасын элективті курс ретінде енгізуде. Дегенмен, осы бағытты кеңейту үшін әдістемелік негіздемелер қажет. Бұл аталған қарама-қайшылықтарды шешу үшін жасанды интеллект ресурстарын және Blender бағдарламасын қолдану арқылы мектепте 3D модельдеуді оқытудың әдістемесін жасау маңызды болып табылады. Бұл зерттеу цифрлық дағдыларды дамытудың заманауи талаптарына сай келетін жаңа әдістемелік тәсілдерді ұсынуға мүмкіндік береді.

Соңғы жылдары шетелдік зерттеушілер жасанды интеллект пен 3D модельдеу технологияларының білім беру жүйесіне ықпалын жан-жақты зерттеуде. Мәселен, Holmes, Bialik және Fadel [1] өз еңбектерінде жасанды интеллекттің оқу процесін дербестендіру және оқушылардың шығармашылық қабілеттерін дамытудағы рөлін сипаттаған. Blender бағдарламасын қолданудың білім беру іс-әрекетінде 3D модельдеу дағдыларын дамытуға әсерін талдаған. Сонымен қатар, ЖИ мен 3D технологияларын біріктіре отырып, STEM білім беру саласында инновациялық оқыту әдістерін дамытудың маңыздылығын атап өткен. UNESCO-ның 2021 жылғы баяндамасында [4] білім беру саласындағы жасанды интеллектті жауапты қолдану және оның оқу сапасына ықпалы туралы практикалық ұсыныстар берілген. Бұл зерттеулер білім беру жүйесінде ЖИ мен 3D модельдеу технологияларын тиімді интеграциялаудың теориялық және практикалық негіздерін айқындауға маңызды үлес қосты.

Отандық ғалымдар арасында Ж.К. Нурбекова мен Н. Әденбек [7] еңбектерінде білім беру жүйесіне АКТ-ны енгізу мәселелері қарастырылған. Еңбектерінде мектеп бағдарламасына цифрлық технологияларды, соның ішінде 3D модельдеу құралдарын енгізудің әдістемелік негіздерін қарастырған. Мектеп бағдарламасында бағдарламалау және STEM пәндерін интеграциялау жолдары қолданылғанымен, Қазақстанда 3D модельдеу және ЖИ қолдану әдістемесі бойынша кешенді зерттеулер жеткіліксіз, бұл тақырыптың өзектілігін одан әрі арттыра түседі.

Бұл зерттеудің мақсаты – жасанды интеллект ресурстарын және Blender бағдарламасын қолдана отырып, мектепте 3D модельдеуді оқыту әдістемесін әзірлеу және оның тиімділігін тәжірибелік тұрғыдан дәлелдеу.

Аталған зерттеу 3D модельдеу мен жасанды интеллект құралдарын біріктіре отырып, мектепте оқыту әдістерін жетілдірудің жаңа мүмкіндіктерін қарастырады. Blender бағдарламасы негізінде 3D модельдеуді оқытудың әдістемелік тәсілдері ұсынылып, олардың тиімділігі тәжірибелік тұрғыда дәлелденеді. Сонымен бірге, зерттеу нәтижелері болашақ педагогикалық зерттеулерге теориялық және практикалық негіз бола алады.

Қазіргі таңда білім беру жүйесінде жасанды интеллект (ЖИ) және 3D модельдеу технологияларын пайдалану – заманауи цифрлық трансформацияның маңызды құрамдас бөлігі болып отыр. Алайда, бұл бағыттағы әдістемелік негіздер мен тәжірибелік зерттеулер әлі де болса толық жетілдіруді талап етеді. Зерттеудің ғылыми маңызы – жасанды интеллект пен Blender бағдарламасының үйлесімділігін зерттей отырып, оқушылардың кеңістіктік ойлау қабілетін дамытуға бағытталған инновациялық оқыту әдістемесін ұсынуында. Бұл зерттеу 3D модельдеуді оқытуда жасанды интеллектті қолданудың педагогикалық аспектілерін айқындауға және оны мектеп бағдарламасына тиімді енгізу жолдарын табуға мүмкіндік береді.

Зерттеу әдіснамасы

Зерттеулер мен педагогикалық тәжірибелер негізінде біз жалпы орта білім беру жүйесіндегі 10 - сынып оқушыларына арналған. Ұсынылған бағдарлама 13 академиялық сағаттан тұрады және оқушылардың үшөлшемді модельдеу дағдыларын қалыптастыруға, сондай-ақ заманауи технологияларды шығармашылықпен қолдануға бағытталған. Оқушыларға тек 3D модельдеудің теориялық негіздерін үйретіп қана қоймай, оны практикалық түрде Blender бағдарламасы арқылы жүзеге асыруды меңгертеді. Сонымен қатар жасанды интеллект ресурстарын пайдалана отырып, оқу процесін жекелендіру мен бейімдеудің жаңа әдістері енгізілген.

Бағдарлама 3 негізгі бөлімнен тұрады, олардың әрқайсысы 3D модельдеудің маңызды кезеңдерін қамтиды:

- Негізгі дағдыларды меңгеру (интерфейс, объектілерді құру, өндеу);
- Жобалық жұмыс және шығармашылық анимация;
- Жасанды интеллект құралдарын қолдану және қорытынды жоба дайындау.

Теориялық материалдар әр сабақта практикалық тапсырмалармен толықтырылып, оқушылардың кеңістіктік ойлауын, цифрлық сауаттылығын және инженерлік дағдыларын дамытуға ықпал етеді.

Жас ерекшеліктерге негізделген мұндай әдістеме оқушылардың 3D модельдеу технологиясын меңгеруін жеңілдетіп қана қоймай, олардың шығармашылық қабілеттерін дамытады, жобалық ойлауын қалыптастырады және өздігінен шешім қабылдай алуына ықпал етеді. Біз үшін бұл бағыттың ең басты артықшылығы – оқушыны болашақ кәсібіне бағыттап, оны цифрлық әлемге бейімдеу екені сөзсіз. Blender бағдарламасында 3D модельдеуді оқыту жоспары 1- кестеде көрсетілген.

Кесте 1. Blender бағдарламасында 3D модельдеуді оқыту

№	Сабақтың тақырыбы	Сағат саны	Оқыту нәтижесі
1	Blender интерфейсімен танысу	1 сағат	Blender бағдарламасының негізгі терезелері мен құралдарын біледі
2	Негізгі 3D объектілерді құру (Cube, Sphere, Cylinder)	1 сағат	Қарапайым примитивтерді құрып, оларды түрлендіреді (жылжыту, бұру, масштабтау)
3	Объектілерді топтау және өңдеу	1 сағат	Бірнеше объектіні біріктіру, көшіру және жою тәсілдерін меңгереді
4	Материал мен текстура қолдану	1 сағат	Объектілерге түс, материал және қарапайым текстура қолдана алады
5	Жарық пен камераны орнату	1 сағат	Жарық көзін, камера бұрышын орнатып, сахна көрінісін реттейді
6	Қарапайым сахна жасау және рендер	1 сағат	Шағын сахнаны жинақтап, рендерлеуді (суретке шығару) орындай алады
7	Жобалық жұмыс: Үй интерьерін 3D модельдеу	2 сағат	Өз бөлмесінің немесе үйдің моделін жасай отырып, жобалық дағдыларын қолданады
8	Жасанды интеллект көмегімен жұмыс	1 сағат	ЖИ арқылы Blender-ге сұрақ қою, скрипт жазу, шаблондар қолдануды тәжірибеде қолданады
9	Жобалық тапсырма 2: Анимацияланған сахна құру	2 сағат	Қарапайым анимация элементтерін қосып, сахна құру арқылы шығармашылық қабілеттерін дамытады.
10	Қорытынды жобалық жұмыс: Еркін тақырыптағы 3D жоба	2 сағат	Таңдаған тақырып бойынша толыққанды 3D жобаны жасап, оны таныстырады және бағалайды.
	Барлық сағат саны	13	

Мазмұн құрылымы оқушылардың бастапқы түсініктен күрделі жобалау әрекетіне дейінгі дағдыларын жүйелі түрде қалыптастыруға негізделген. Сонымен қатар, практикалық тапсырмалардың артуы арқылы оқушылар өз бетінше шешім қабылдауға және технологиялық процесті толық игеруге машықтанады.

Зерттеу нәтижелері

Педагогикалық эксперимент мектептің 10-сынып оқушылары арасында жүзеге асырылды. Эксперименттік топ ретінде 10 «Г» сыныбы, ал бақылау тобы ретінде 10 «А» сыныбы таңдалды. Әдістеме тиімділігін объективті бағалау мақсатында екі сынып та бірдей мазмұндағы оқу бағдарламасы бойынша жұмыс істеді, тек эксперименттік топта жаңашыл әдістеме – 3D модельдеуді оқытуда Blender бағдарламасы мен жасанды интеллект ресурстарын кіріктіре отырып оқыту қолданылды. Ал бақылау тобында дәстүрлі әдістер

сақталды. Оқушылар саны екі топта да тең болғандықтан, эксперимент нәтижелерінің салыстырмалылығы мен әдістемелік дұрыстығы қамтамасыз етілді.

Әр сыныпта 19 оқушыдан болды. Бұл – салыстырмалы талдау жасау үшін жеткілікті және статистикалық негізде қорытынды шығару мүмкіндігін қамтамасыз ететін теңдей таратылған зерттеу тобы. 2 - кестеде зерттеу және бақылау топтарының сипаттамасын көруге болады.

Кесте 2. Зерттеу және бақылау топтарының сипаттамасы

Топ атауы	Сынып	Оқушы саны	Оқыту әдістемесі	Мақсаты
Эксперименттік топ	10 «Г»	19	Жаңашыл әдіс: Blender және ЖИ ресурстарын қолдану	3D модельдеу және ЖИ құралдарын кіріктіру арқылы білім сапасын арттыру
Бақылау тобы	10 «А»	19	Дәстүрлі оқыту әдісі	Дәстүрлі әдіспен алынған нәтижемен салыстыру

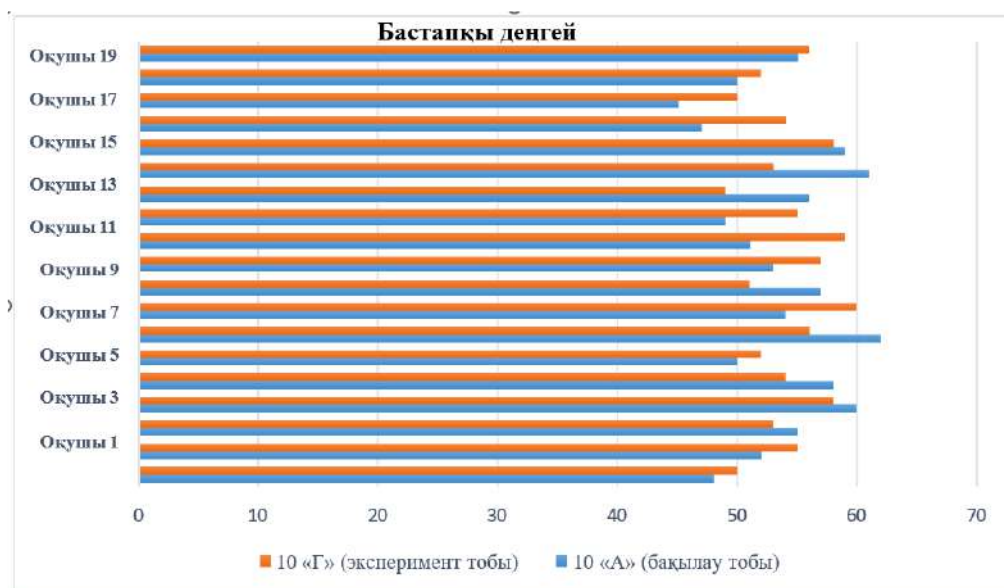
Эксперимент жұмысы үш жүйелі кезеңнен тұрды: дайындық, негізгі (оқыту) және қорытынды кезең. Әр кезеңнің өзіндік мақсаттары, мазмұндық ерекшеліктері және әдістемелік міндеттері анықталды.

Дайындық кезеңінде зерттеу жұмысының теориялық және ұйымдастырушылық негіздері қаланды. Алдымен, Астана қаласы әкімдігінің "Төлеген Айбергенов атындағы №16 орта мектеп" шаруашылық жүргізу құқындағы мемлекеттік коммуналдық кәсіпорны зерттеу базасы ретінде таңдалды. Экспериментке 10 «Г» сыныбы (эксперименттік топ) және 10 «А» сыныбы (бақылау тобы) тартылды. Әр сыныпта 19 оқушыдан қамтылды, бұл деректерді салыстыру және объективті нәтиже алу үшін жеткілікті. Осы кезеңде оқу бағдарламасына сәйкес арнайы модульдік оқу-әдістемелік кешен құрылып, 3D модельдеуді оқытуда қолданылатын заманауи құралдар (Blender бағдарламасы мен жасанды интеллект платформалары) таңдалды. Сонымен қатар, оқушылардың бастапқы деңгейін анықтау мақсатында диагностикалық тапсырмалар мен бастапқы тестілеу жүргізілді.

Негізгі кезеңде эксперименттік оқыту үдерісі жүзеге асырылды. 10 «Г» сыныбына жаңа әдістеме негізінде 3D модельдеу курсы жүргізілді, онда оқушылар Blender бағдарламасымен, сондай-ақ ChatGPT, Mixamo, Meshy және Copilot сияқты ЖИ құралдарымен жұмыс істеуді меңгерді. Сабақтар құрылымдық түрде ұйымдастырылып, теориялық білім мен практикалық дағдыны ұштастыруға бағытталды. Оқушылар визуалды модель құру, сахна жасау, материалдар қолдану және анимация енгізу бойынша тапсырмаларды орындады. Бақылау тобы – 10 «А» сыныбы дәстүрлі оқыту әдісімен жұмыс жасады, мұнда теориялық мазмұн мен практикалық іс-әрекет заманауи технологиясыз орындалды. Барлық сабақ барысында оқушылардың белсенділігі, шығармашылығы, өз бетімен жұмыс жасау қабілеті критериялды бағалау мен бақылау парақтары арқылы жүйелі тіркеліп отырды.

Қорытынды кезеңде жүргізілген оқыту жұмыстарының нәтижелері талданды. Бұл кезеңде әр оқушының бастапқы және қорытынды білім деңгейі салыстырылды, практикалық тапсырмалар мен қорытынды тест нәтижелері есепке алынды. Алынған мәліметтер сандық және сапалық тұрғыда өңделіп, кестелер мен диаграммалар арқылы визуализацияланды. Эксперименттік топта оқушылардың 3D модельдеу саласындағы дағдысы мен қызығушылығы айтарлықтай артқаны байқалды. Бақылау тобымен салыстырғанда эксперименттік топ жоғары нәтижелер көрсетіп, жаңашыл әдістеменің тиімділігі дәлелденді. Осы кезеңде ғылыми қорытындылар мен әдістемелік ұсыныстар жасалып, зерттеу жұмысының нәтижелері жүйелендірілді.

Эксперимент басталар алдында оқушылардың 3D модельдеу және оған қатысты негізгі ұғымдар бойынша бастапқы білім деңгейін анықтау мақсатында диагностикалық тест жүргізілді. Оның нәтижелері төмендегі 1 - суретте көрсетілген.



Сурет 1. Бастапқы деңгей

Тест барлығы 15 жабық типтегі сұрақтан тұрады. Әр сұрақта төрт жауап нұсқасы ұсынылады, олардың ішінде тек біреуі ғана дұрыс. Сұрақтар оқушылардың терминдерді тану, құрылымдық элементтерді ажырату, кеңістікті елестету, модельдеу үдерісінің сатыларын түсіну, және техникалық форматтарды білу деңгейлерін анықтайды.

Бұл тесттің ерекшелігі – Blender немесе басқа нақты бағдарламаға тәуелсіз, тек 3D модельдеу ұғымына негізделген жалпы білімді анықтауға бағытталуында. Осылайша, ол оқушылардың қандай да бір бағдарламамен тәжірибесі болмаса да, олардың теориялық базасын бағалауға мүмкіндік береді.

Тестті бағалау 15 балдық жүйемен жүргізіледі:

- 13–15 балл – жоғары деңгей (3D ұғымдарын терең түсінеді, қолдануға дайын);
- 10–12 балл – жеткілікті (негізгі түсініктері бар, бағытталған оқытуға бейім);
- 7–9 балл – орташа (үстірт түсінік бар, қолдауды қажет етеді);
- 0–6 балл – төмен деңгей (бастапқы түсінік жеткіліксіз, базалық курсты қайталауға ұсыныс беріледі).

Жинақталған мәліметтер әрі қарай эксперименттік және бақылау топтарының білім деңгейін салыстыру, оқыту әдістемесінің тиімділігін бағалау және оқушы ілгерілеуінің динамикасын бақылау үшін пайдаланылды.

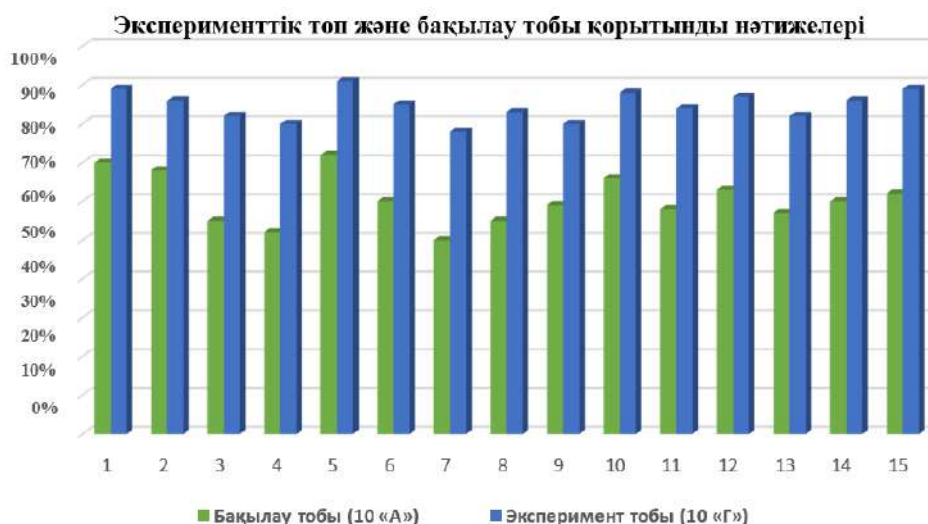
Екі сыныптың да орташа балы шамалас: 10 «А» сыныбы – 53.8, ал 10 «Г» сыныбы – 54.3. Бұл көрсеткіштер олардың 3D модельдеу бойынша теориялық дайындық деңгейі ұқсас екенін білдіреді.

Медиана мәні екі топта да бірдей – 54.0. Бұл нәтижелердің теңдей таралғанын көрсетеді. Алайда, минималды балл бақылау тобында төмен (45.0) болған, ал эксперимент тобында 49.0. Бұл эксперимент тобының әлсіз оқушыларының деңгейі біршама жоғары екенін аңғартады.

Максималды балл көрсеткішінде бақылау тобы (62.0) сәл жоғары нәтиже көрсеткен. Дегенмен, стандартты ауытқу бақылау тобында 4.82 болса, эксперимент тобында 3.13, бұл эксперимент тобындағы нәтижелердің біркелкі және тұрақты екенін көрсетеді.

Жалпылай алғанда, бұл статистикалық мәліметтер екі топтың бастапқы деңгейінің салыстырмалы түрде тең екенін, ал эксперимент тобының ішкі үйлесімділігі жоғары екенін дәлелдейді. Бұл дерек экспериментті әділ жағдайда жүргізуге мүмкіндік береді.

Эксперименттік оқыту үдерісі аяқталған соң, зерттеу жұмысының нәтижелілігін бағалау мақсатында қорытынды диагностикалық сауалнама ұйымдастырылды. Бұл сауалнама 10 «Г» (эксперимент тобы) және 10 «А» (бақылау тобы) сыныптарының оқушылары арасында жүргізілді. Сауалнаманың басты мақсаты – Blender бағдарламасын және жасанды интеллект (ЖИ) ресурстарын кіріктіре отырып оқытудың 3D модельдеу мен 3D баспа салалары бойынша білім деңгейіне әсерін анықтау болды. Нәтижесі 2 – суретте көрсетілген.



Сурет 3. Эксперименттік топ және бақылау тобы қорытынды нәтижелері

Зерттеу барысында 10 «Г» (эксперимент тобы) және 10 «А» (бақылау тобы) сыныптарының оқушыларына арналған қорытынды тест нәтижелері салыстырмалы түрде талданды. Тест мазмұны 3D модельдеудің негізгі ұғымдарын, Blender бағдарламасының мүмкіндіктерін және жасанды интеллект құралдарын (ChatGPT, Copilot, Mixamo, Meshy) тиімді қолдану деңгейін бағалауға бағытталды. Әр сұраққа екі топ оқушыларының дұрыс жауап беру пайызы тіркеліп, нәтижелер сандық және сапалық тұрғыда сарапталды.

Дискуссия

Нәтижелер эксперименттік әдістеменің тиімділігін айқын көрсетті: барлық 15 сұрақ бойынша эксперимент тобы бақылау тобынан 15–30% аралығында жоғары нәтиже көрсетті. Мысалы, «3D модельдеу дегеніміз не?» деген сұраққа бақылау тобының 70%-ы дұрыс жауап берген болса, эксперимент тобында бұл көрсеткіш 89%-ға жетті. Сонымен қатар, «Blender бағдарламасының қызметі», «Slicing», «UV Mapping», «ЖИ құралдарының көмегі» сияқты күрделі сұрақтарда да эксперимент тобы едәуір артық жауап берген.

Орташа көрсеткішті есептеу формуласы:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1)$$

Мұндағы:

- $\bar{X}$ - орташа нәтиже (пайызбен),
- X_i - i -нші сұрақ бойынша дұрыс жауап берген оқушылардың пайызы,
- $n = 15$ - жалпы сұрақтар саны.

Бақылау тобы (10 «А»):

$$\bar{X}_A = \frac{921}{15} \approx 61.4\% \quad (2)$$

Эксперимент тобы (10 «Г»):

$$\bar{X}_Г = \frac{1270}{15} \approx 84.7\% \quad (3)$$

Эксперимент тобының орташа нәтижесі $\bar{X}_Г \approx 84.7\%$, ал бақылау тобының нәтижесі $\bar{X}_A \approx 61.4\%$. Бұл айырмашылық жаңашыл әдістеменің тиімділігін дәлелдейді, себебі:

$$\Delta\bar{X} = \bar{X}_Г - \bar{X}_A \approx 84.7\% - 61.4\% = 23.3\% \quad (4)$$

Яғни, эксперименттік әдіс 23.3% тиімдірек нәтиже берді.

Жалпы алғанда, бақылау тобының орташа көрсеткіші – 61% шамасында болса, эксперимент тобының орташа нәтижесі – 84% деңгейінде тіркелді. Бұл айырмашылық оқытудың жаңашыл әдістемесі оқушылардың теориялық және практикалық білімін сапалы арттыратынын дәлелдейді. Жасанды интеллект ресурстары оқушылардың рефлексиялық қабілеттерін, ізденімпаздығын және дербес жұмыс жасау дағдыларын нығайтып, оларды сандық технологияларды мақсатты түрде қолдануға бейімдеді.

Қорытынды

Әдістеме мазмұны теориялық дайындық пен практикалық жобалауды қамтитын модульдік құрылымға негізделіп, оқушылардың кеңістіктік ойлау, сыни және жобалық дағдыларын дамытуға бағытталды. Blender бағдарламасының визуалды мүмкіндіктері мен ChatGPT, Copilot, Mixamo, Meshy сияқты ЖИ құралдары тапсырмаларды орындау тиімділігін арттырып, оқушылардың пәнге деген қызығушылығын көтерді.

10-сынып оқушылары арасында жүргізілген педагогикалық эксперимент нәтижесінде эксперименттік топтың білім көрсеткіштері мен практикалық дағдылары бақылау тобымен салыстырғанда едәуір жоғары болды. Сонымен қатар, оқушылардың шығармашылық белсенділігі мен өздігінен жұмыс істеу қабілеттері айтарлықтай дамыды.

Ұсынылған әдістеме тек теориялық тұрғыда емес, нақты мектеп жағдайында сәтті қолданылып, өзінің тиімділігін дәлелдеді. Ол оқыту мазмұнын жаңғыртуға, пәнаралық байланыстарды нығайтуға және оқушылардың заманауи технологиялық ортаға бейімделуіне оң ықпал ететін перспективалы бағыт ретінде қарастырылады.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

[1] Holmes W., Bialik M., Fadel C. (2019) *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. — Boston: Center for Curriculum Redesign, — 90 . <https://curriculumredesign.org/wp-content/uploads/AI-in-Education.pdf>

[2] Прахов А.А. (2016) *Самауचितель Blender 2.7.*— СПб.: БХВ-Петербург, 2016. -400 с.: ил. https://books.google.com.ua/books/about/%D0%A1%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D1%83%D1%87%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C_Blender_2_7.html?id=CEYpDQAAQBAJ&printsec=frontcover&source=kp_read_button&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

[3] Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). *Intelligence unleashed: An argument for AI in education*. London: Pearson. — 48 . URL: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1475756/>

[4] UNESCO (2021) *AI and Education: Guidance for Policy-makers*. - Paris: UNESCO Publishing, - 148p. https://unesdoc.unesco.org/in/rest/annotationSVC/DownloadWatermarkedAttachment/attach_import_761bcdad-d1e3-40c9-819d-03c4ac725f26?_id=376709eng.pdf

[5] Woolf B. (2018) *Building Intelligent Interactive Tutors: Student-Centered Strategies for Revolutionizing E-learning*. — Morgan Kaufmann, — 400. https://www.researchgate.net/publication/232322117_Building_Intelligent_Interactive_Tutors_Student-Centered_Strategies_for_Revolutionizing_E-Learning

[6] Жалпы білім беру ұйымдарына арналған жалпы білім беретін пәндердің, бастауыш, негізгі орта және жалпы орта білім деңгейлерінің таңдау курстарының үлгілік оқу бағдарламаларын бекіту туралы Астана, Ұлттық білім академиясы 2022. [Online]. <https://uba.edu.kz/qaz/metodology/4>

[7] Holmes W., Bialik M., Fadel C. (2019) *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. — Boston: Center for Curriculum Redesign, <https://curriculumredesign.org/wp-content/uploads/AI-in-Education.pdf> — 90.

[8] UNESCO (2021) *AI and Education: Guidance for Policy-makers*. — Paris: UNESCO Publishing, https://unesdoc.unesco.org/in/rest/annotationSVC/DownloadWatermarkedAttachment/attach_import_761bcdad-d1e3-40c9-819d-03c4ac725f26?_id=376709eng.pdf — 148 p.

[9] Нурбекова, Ж., Баймендинова, А. 2022. Оқыту барысында виртуалды объектілерді қолдануға жүйелі шолу. Абай атындағы ҚазҰПУ Хабаршысы. Физика-математика ғылымдары сериясы. №2(78), 220–227. DOI: <https://doi.org/10.51889/2022-2.1728-7901.27>

Reference

[1] Holmes W., Bialik M., Fadel C. (2019) *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. — Boston: Center for Curriculum Redesign, — 90. <https://curriculumredesign.org/wp-content/uploads/AI-in-Education.pdf>

[2] Prahov A.A. (2016) *Samauchitel' Blender 2.7*. SPb.: BHV-Peterburg, 400.: il. https://books.google.com.ua/books/about/%D0%A1%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D1%83%D1%87%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C_Blender_2_7.html?id=CEYpDQAAQBAJ&printsec=frontcover&source=kp_read_button&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false (In Russian)

[3] Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). *Intelligence unleashed: An argument for AI in education*. London: Pearson. 48 .URL: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1475756/>

[4] UNESCO (2021) *AI and Education: Guidance for Policy-makers*. — Paris: UNESCO Publishing, — 148. https://unesdoc.unesco.org/in/rest/annotationSVC/DownloadWatermarkedAttachment/attach_import_761bcdad-d1e3-40c9-819d-03c4ac725f26?_id=376709eng.pdf

[5] Woolf B. (2008) *Building Intelligent Interactive Tutors: Student-Centered Strategies for Revolutionizing E-learning*. — Morgan Kaufmann, -400. https://www.researchgate.net/publication/232322117_Building_Intelligent_Interactive_Tutors_Student-Centered_Strategies_for_Revolutionizing_E-Learning

[6] Zhalpy bilim беру uymdaryna arnalgan zhalpy bilim beretin panderdin, bastauysh, negizgi orta zhane zhalpy orta bilim deñgejlerinin tandau kurstarynyn ylgilik oku bagdarlamalaryn bekitu turaly. [On approval of model curricula for general education subjects, elective courses at the primary, basic secondary and general secondary education levels for general education organizations] Astana, Ulttyk bilim akademijasy 2022. <https://uba.edu.kz/qaz/metodology/4> (In Kazakh)

[7] Holmes W., Bialik M., Fadel C. (2019) *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. — Boston: Center for Curriculum Redesign, — 90 <https://curriculumredesign.org/wp-content/uploads/AI-in-Education.pdf>.

[8] UNESCO (2021) *AI and Education: Guidance for Policy-makers*. — Paris: UNESCO Publishing, https://unesdoc.unesco.org/in/rest/annotationSVC/DownloadWatermarkedAttachment/attach_import_761bcdad-d1e3-40c9-819d-03c4ac725f26?_id=376709eng.pdf — 148 p.

[9] Nurbekova, Zh., Bajmendinova, A. 2022. Оқыту барысында virtualdy ob#ektilderdi qoldanuға zhyjeli sholu [A systematic review of the use of virtual objects in teaching]. Abaj atyndazy QazYPU Habarshysy. Fizika-matematika ыlymdary serijasy. №2(78), 220–227. DOI: <https://doi.org/10.51889/2022-2.1728-7901.27> (In Kazakh)

Г.Д. Кошанова^{1*}, М.Д. Кошанова¹, Д.Р. Талипов¹

¹Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,
Түркістан қ., Қазақстан

*e-mail: gulnazira.koshanova@ayu.edu.kz

ВИРТУАЛДЫ МАШИНАЛАР НЕГІЗІНДЕ БОЛАШАҚ ИНФОРМАТИКА МУҒАЛІМДЕРІН ОПЕРАЦИЯЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРГЕ ОҚЫТУДЫҢ ӘДІСТЕМЕСІ

Аңдатпа

Бүгінгі таңда жоғары білім беру жүйесінде бәсекеге қабілетті, кәсіби тұрғыда дайындалған информатика пәні мұғалімдерін даярлау өзекті мәселелердің бірі болып отыр. Бұл мақалада болашақ информатик педагогтарға операциялық жүйелерді үйретуде виртуалды машиналарды қолданудың маңыздылығы теориялық және тәжірибелік тұрғыдан негізделеді. Зерттеудің мақсаты – виртуалды машиналарды пайдалана отырып, операциялық жүйелерді оқытудың тиімді әдістемесін ұсыну. Мақалада Windows Virtual PC, VMware Workstation 7.1, Oracle VM VirtualBox 4.1 виртуализация құралдарының мүмкіндіктері қарастырылып, оларды оқу процесінде тиімді қолдану жолдары сипатталады. Виртуалды ортада жүргізілетін тәжірибелік тапсырмалар студенттердің операциялық жүйелерді басқару дағдыларын қауіпсіз және икемді түрде қалыптастыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, ұсынылған әдістеме аппараттық ресурстарды оңтайлы пайдалануға және күрделі бағдарламалармен жұмыс істеу тиімділігін арттыруға ықпал етеді. Зерттеу нәтижесінде болашақ информатик педагогтарға арналған тәжірибелік тапсырмалар құрылып, оқыту процесіне енгізілді. Қорытындыда виртуализация технологияларын қолдану білім алушылардың практикалық құзыреттерін қалыптастыруда тиімді құрал ретінде ұсынылады.

Түйін сөздер: операциялық жүйелер, виртуалды машина, оқыту әдістемесі, виртуализация, практикалық дағдылар.

Г.Д. Кошанова¹, М.Д. Кошанова¹, Д.Р. Талипов¹

¹Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави,
г.Туркестан, Казахстан

МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ ИНФОРМАТИКИ ОПЕРАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН

Аннотация

В условиях современного высшего образования подготовка конкурентоспособных и профессионально ориентированных педагогов-информатиков приобретает особую значимость. В статье обосновывается необходимость использования виртуальных машин при обучении операционным системам будущих педагогов-информатиков и предлагается соответствующая методика. Цель исследования – разработать эффективную методику обучения операционным системам с применением виртуальных машин. В статье рассматриваются возможности инструментов виртуализации, таких как Windows Virtual PC, VMware Workstation 7.1, Oracle VM VirtualBox 4.1, и описываются пути их интеграции в учебный процесс. Практические задания, проводимые в виртуальной среде, способствуют формированию устойчивых навыков управления операционными системами без риска для физического оборудования. Также подчеркивается эффективность использования ресурсов и повышение качества подготовки студентов. Результаты исследования включают разработку практических заданий и успешное внедрение их в образовательный процесс. В заключении подчеркивается, что использование виртуализации представляет собой действенный способ формирования профессиональных компетенций у будущих педагогов.

Ключевые слова: операционные системы, виртуальная машина, методика обучения, виртуализация, практические навыки.

G.D. Koshanova¹, M.D. Koshanova¹, D.R. Talipov¹

¹International Kazakh-Turkish University named after Khoja Ahmed Yasawi, Turkestan, Kazakhstan

METHODOLOGY FOR TEACHING FUTURE COMPUTER TEACHERS OPERATING SYSTEMS USING A VIRTUAL ENVIRONMENT

Abstract

In the context of modern higher education, the training of competitive and professionally competent computer science teachers is of critical importance. This article substantiates the use of virtual machines in teaching operating systems to future educators and presents an effective methodology for their implementation. The purpose of the study is to develop a methodology for teaching operating systems using virtual machines as a safe and resource-efficient learning environment. The paper analyzes the functionality of virtualization tools such as Windows Virtual PC, VMware Workstation 7.1, Oracle VM VirtualBox 4.1 and outlines how they can be integrated into the teaching process. The use of virtual environments enables students to acquire hands-on experience in managing operating systems without risking physical hardware. Furthermore, the approach supports efficient resource utilization and improves the quality of practical training. As a result of the study, a set of practical exercises was developed and successfully introduced into the curriculum. The conclusion emphasizes that virtualization technologies are an effective means of enhancing professional skills in computer science education.

Keywords: operating systems, virtual machine, teaching methodology, virtualization, practical skills.

Кіріспе

Болашақ информатик педагогтар операциялық жүйелердің (ОЖ) мүмкіндіктерін үйренудегі практикалық дағдыларды бекіту үшін арнайы зертхана қажет, оны ұйымдастыру өте қиын, өйткені мұндай эксперименттер компьютердің бағдарламалық өнімдерінің өнімділігіне зиян келтіруі мүмкін. ОЖ-нің функционалдық ерекшеліктерін үйренумен байланысты пәндерге: «Операциялық жүйелер», «Операциялық жүйелердің архитектурасы» жатады. Осындай пәндерді оқу нәтижесіндегі білім мен дағдылар болашақ информатика мұғалімдерінің қазіргі еңбек нарығындағы талаптарды қанағаттандыруда маңызды. Операциялық жүйелерді виртуализациялау – бір физикалық серверде бірнеше виртуалды немесе керісінше, бірнеше физикалық серверлерден бір виртуалды сервер құру үшін қажет. Сонымен қатар, виртуализация қымбат есептеу қуатын ұтымды пайдалануға мүмкіндік береді.

Қазіргі жаһандық цифрлық трансформация жағдайында виртуализация технологиялары экономиканың, қоғамның және әсіресе білім беру жүйесінің дамуына ықпал ететін стратегиялық факторға айналып отыр. Мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаев «Жасанды интеллект дәуіріндегі Қазақстан: өзекті мәселелер және оны түбегейлі цифрлық өзгерістер арқылы шешу» атты Жолдауында ЖИ-ды ұлттық даму стратегиясының басты бағыты ретінде атап, білім беруді жаңа технологиялық ортаға бейімдеу қажеттігін ерекше көрсетті [1]. Осыған байланысты виртуалды зертхана технологияларын меңгеру, оларды оқу-тәрбие үдерісіне тиімді енгізу, педагогтардың цифрлық құзыреттілігін арттыру барынша жүзеге асырылуда.

Білім беру жүйесінің тиімді дамуы білікті және кәсіби құзыретті педагог кадрларды даярлаумен тікелей байланысты [2]. Осы тұрғыдан алғанда, педагогикалық жоғары оқу орындарына болашақ мамандардың кәсіби шеберлігін жетілдіру, нақты жағдайда жұмыс істей алатын қабілеттерін дамыту міндеті жүктеледі. Болашақ информатика пәні мұғалімдерінің кәсіби міндеттерді түрлі жағдайда шеше білуі, ақпараттық жүйелермен және бағдарламалық құралдармен еркін жұмыс істей алуы – олардың кәсіби дайындығының маңызды көрсеткіші болып табылады. Орта мектеп мұғалімі оқытушылық қызметінде оқу ақпаратын тарататындығы, өз бетімен оқуды үйретеді. Оқытушының қызметінде орындалатын тапсырмалар білім алушыға бағытталғандығының нәтижесі жоғары болады [3].

Алайда, бүгінгі таңда білім алушылардың операциялық жүйелермен жұмыс істеу қабілеті көбіне теориямен шектеліп, практикалық дағдылары төмен деңгейде қалып отыр. Мұндай жағдайлар оқу үдерісінде заманауи зертханалық базаның жеткіліксіздігімен, сондай-ақ қауіпсіз тәжірибе алаңының болмауымен байланысты. Сонымен қатар, жұмыс берушілер

қазіргі түлектердің кәсіби практикалық дағдыларын жеткіліксіз деп бағалайды, бұл олардың еңбек нарығындағы бәсекеге қабілеттілігіне тікелей әсер етеді.

Осы мәселені шешудің тиімді жолдарының бірі – оқу үдерісінде виртуалды машиналарды пайдалану арқылы операциялық жүйелерді оқыту әдістемесін енгізу. Виртуализация технологиясы студенттерге түрлі операциялық жүйелердің құрылымы мен жұмыс істеу қағидаларын нақты практикалық түрде меңгеруге мүмкіндік береді. Бұл тәсіл аппараттық құралдарға зиян келтірмей тәжірибе жасауға жағдай туғызып, білім алушылардың қызығушылығы мен белсенділігін арттырады. Демек, болашақ информатика мұғалімдерін заманауи ақпараттық ортада тиімді жұмыс істеуге бейімдеу үшін операциялық жүйелерді оқытуда виртуалды машиналарды қолдану – өзекті ғылыми-әдістемелік міндет болып табылады. Бұл әдістеме студенттердің кәсіби құзыреттерін дамытуға, білім сапасын арттыруға және оқу үрдісін тиімді ұйымдастыруға септігін тигізеді.

Еліміздегі жоғары білім берудің көп деңгейлі құрылымы және жоғары мектептің халықаралық білім беру жүйесіне сай жоспарлы интеграциялануы қазіргі заманның талаптарына сай жаңаша тәсілдерді талап етеді. Жоғары оқу орындарында болашақ мамандардың шығармашылық мүмкіндіктерінің дамуына, оқу үдерісін ұйымдастыруда сапалы өзгерістердің қажеттілігін көрсетеді. Солардың бірі операциялық жүйелердің мүмкіндіктерін виртуалдандыру арқылы игерту.

Зерттеу әдіснамасы

Зерттеу базасы ретінде алынған Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінде Информатика білім беру бағдарламасының оқу жоспарында білім алушылардың операциялық жүйелермен жұмыс істеу құзыреттілігін қалыптастыруға бағытталған пәндер қарастырылған. Атап айтқанда: «Ақпараттық-коммуникациялық технологиялар», «Операциялық жүйелер», «Білім берудегі офистік бағдарламалар», «Білім беру мекемелеріндегі желілік технологиялар», «Операциялық жүйені администрациялау», «Білім берудегі қолданбалы бағдарламалар» пәндері студенттерге теориялық білім мен практикалық машықтарды үйлестіре отырып, кәсіби міндеттерді тиімді орындауға жағдай жасайды.

Зерттеудің мақсаты – операциялық жүйелерді болашақ информатик педагогтарға үйретуде виртуалды машиналарды қолданудың қажеттілігін негіздеп, ғылыми-әдістемелік жолдарын ұсыну. Осы мақсатқа жету үшін зерттеу барысында бірнеше міндеттер алға қойылды:

- операциялық жүйелерді басқаруда практикалық дағдыларды жетілдіру мақсатында әртүрлі виртуалды машиналар арасынан оқытуға тиімділерін таңдау;
- виртуалды ортада операциялық жүйелермен жұмыс істеудің әдістері мен ұйымдастыру жолдарын анықтау;
- зертханалық және тәжірибелік жұмыстарды компьютердің бағдарламалық өнімділігіне зиян келтірмей жүргізу тәсілдерін ұсыну.

Зерттеу әдістерін таңдау ғылыми негізделген тәсілдерге сүйенді. Контент-талдау әдісі арқылы оқу бағдарламалары мен білім беру үдерісіне қойылатын заманауи талаптар сарапталды. Сауалнама арқылы білім алушылардың дайындық деңгейі мен тәжірибелік машықтары анықталды. Алынған сапалық деректер әдістемелік ұсынымдарды әзірлеуге негіз болды. Эксперименттік оқыту әдісі арқылы ұсынылған әдістеменің тиімділігі бақылау және тәжірибелік топтарда тексерілді. Студенттердің оқу жетістіктері, практикалық тапсырмаларды орындау сапасы мен өздік жұмысты ұйымдастыру қабілеті салыстырмалы талдау арқылы бағаланды. Бұл зерттеу нәтижелерінің сенімділігін арттырып, виртуализацияның оқыту процесіне оң ықпалын дәлелдеуге мүмкіндік берді.

Зерттеу барысында қолданылған барлық әдістер зерттеу мақсаттарына қол жеткізуге, болашақ информатика педагогтарының кәсіби құзыреттілігін арттыруға және виртуалды машиналар негізінде оқытудың мазмұндық әрі технологиялық тиімділігін айқындауға бағытталды.

Зерттеу нәтижелері

Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің информатика білім беру бағдарламасының білім алушыларының практикалық дағдыларының жеткіліктілік деңгейін анықтау мақсатында сауалнама алынды. Сауалнамада білім алушылардан шынайы және нақты жауап алу мақсатында білім алушылардың құпиялығы сақталатыны ескертіліп, «Google Форма» арқылы жүргізілді. Сауалнама Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің Информатика білім беру бағдарламасының 3 курс білім алушыларынан алынды. Сауалнама сұрақтары және сауалнама нәтижесі 1-кестеде көрсетілген. Сауалнамаға қатысқан студенттер саны: 40. Респонденттердің жыныстық құрамы: ерлер саны – 23, әйел саны – 17 болды. Респонденттердің жастары 20-23 жас аралығында болды.

Кесте 1. Сауалнама сұрақтары және сауалнама нәтижесі

№	Сауалнама сұрақтары	Иә	Жоқ	Жауап беруге қиналамын
1	Әр түрлі операциялық жүйелерде жұмыс істей аласыз ба? (Linux, MacOS)	7/ 17,5%	26/65%	7/ 17,5%
2	Виртуалды машиналардың типтері мен түрлерін білесіз бе? (Windows Virtual PC, VMware Workstation 7.1, Oracle VM VirtualBox 4.1)	6/ 15%	25/62,5%	9/ 22,5%
3	Операциялық жүйелерді виртуализациялау мүмкіндіктерімен таныссыз ба?	5/12,5%	27/ 67,5%	8/20%
4	Операциялық жүйелерді виртуалды машиналар көмегімен көптеген мүмкіндіктерін меңгергіңіз келе ма?	30/ 75%	5/ 12,5%	5/ 12,5%

Бірінші сұрақ: «Әр түрлі операциялық жүйелерінде жұмыс істей аласыз ба? (Linux, MacOS)» деген сұрақ арқылы студенттердің қазіргі уақыттағы операциялық жүйелердің көптігіне байланысты мүмкіндіктерін пайдаланып, кәсіптік тапсырмаларды орындай алуының деңгейін зерттеп, 1-суретте көрсетілгендей нәтиже алдық. Нәтижесінде 40 студенттің 42,5%-ы Windows, Linux, MacOS операциялық жүйелерінде жұмыс істей алатындары. Қалған қатысушылардың 65%-ы бұл операциялық жүйелерде жұмыс істей алмайтындықтарын көреміз, ал 17,5%-ы әр түрлі себептерге байланысты жауап беруге қиналатындықтарын айтқан.



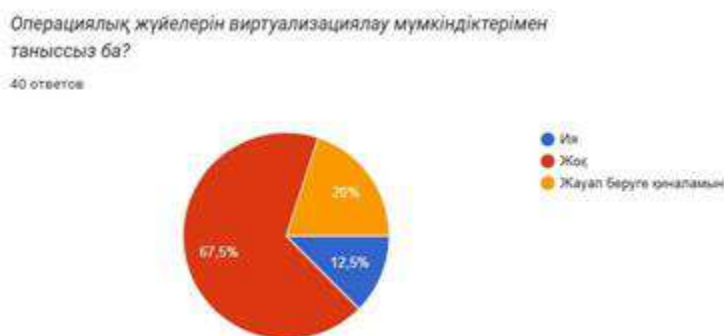
Сурет 1. Операциялық жүйе туралы сауалнама нәтижесі

Екінші сұрақ: «Виртуалды машиналардың типтері мен түрлерін білесіз бе? (Windows Virtual PC, VMware Workstation 7.1, Oracle VM VirtualBox 4.1)» деген сұраққа виртуалды машиналардың типтері мен түрлері 15%- ы ғана білетін болып шықты. 62,5 % -ы білмейтін болып шықты. Ал, 22,5 %- ы жауап беруге қиналатындықтарын айтқан. Сауалнама нәтижесінің графиктік көрінісі 2-суретте көрсетілген.



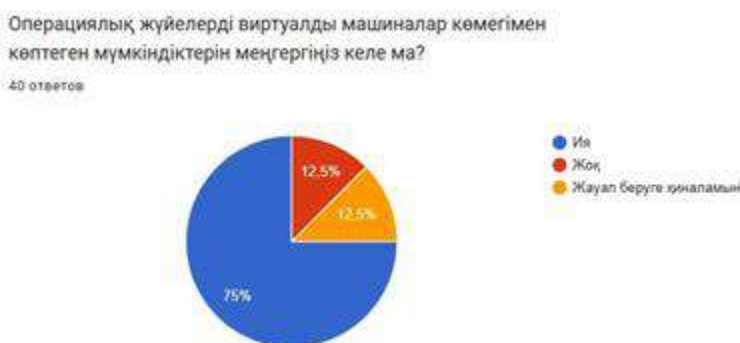
Сурет 2. Виртуалды машиналар жайлы сауалнама нәтижесі

Үшінші сұрақ: «Операциялық жүйелерді виртуализациялау мүмкіндіктерімен таныссыз ба?» деген сұраққа 12,5 % -ы ғана білетін болып шықты. 67,5 % -ы білмейтін болып шықты. 20% -ы жауап беруге қиналатындықтарын айтқан. Сауалнама нәтижесінің графиктік көрінісі 3-суретте көрсетілген.



Сурет 3. Операциялық жүйелерді виртуализациялау мүмкіндіктері бойынша сауалнама нәтижесі

Төртінші сұрақ: «Операциялық жүйелерді виртуалды машиналар көмегімен көптеген мүмкіндіктерін меңгергіңіз келе ма?» деген сұраққа 75 % -ы «Иә» деп жауап берген. 12,5 % -ы жоқ деп жауап берген. 12,5 % -ы жауап беруге қиналатындықтарын айтқан. Сауалнама нәтижесінің графиктік көрінісі 4-суретте көрсетілген.



Сурет 4. Виртуалды машиналар мүмкіндіктері туралы сауалнама нәтижесі

Зерттеу жұмысы аясында ұйымдастырылған сауалнама нәтижесінде болашақ информатика педагогтарының теория жүзінде алған білімдерін практика жүзінде қолдану үшін операциялық жүйелер пәні мазмұнына виртуалдандыру технологияларын қосып, сол арқылы әр түрлі ОЖ-лерде жаттығулар орындауға қызығушылықтары бар екендігі анықталды. Операциялық

жүйелерді басқару саласындағы практикалық дағдыларды бекіту үшін арнайы зертхана қажет. Бұл қажеттілікті орындау білім беру мекемелері үшін ұйымдастыру өте қиын, өйткені мұндай эксперименттер компьютердің бағдарламалық өнімдерінің өнімділіктеріне зиян келтіруі мүмкін. Бұл зерттеу жұмысымыздың мақсатына қарай операциялық жүйелерді виртуалды машинаның мүмкіндіктерін қолдана отырып оқытудың әдістемесін ұсынатын боламыз.

Ақпараттық технология сала мамандықтары бір-бірінен мақсатымен, сипаттамаларымен және мүмкіндіктерімен ерекшеленеді. Болашақ информатика педагогтары операциялық жүйелер бойынша алған білім және біліктерін тиімді қолдану үшін виртуалды машинаны таңдаудың негізгі критерийлерін анықтау қажет [4].

Бағдарламалық жасақтама нарығында «виртуалдандыру құралдары» деп аталатын өнімдер пайда болған кезде пәндік зертханаларды орындаудағы бірнеше қиындықтарды түзету мүмкін болды [5]. Бір жағынан, мұндай бағдарламалық өнімдерді пайдалану мен көп функционалдылығына байланысты әлдеқайда ыңғайлы болды, ал екінші жағынан, оларды тиімді пайдаланудың көптеген мүмкіндіктері ашылды. Қазіргі уақытта әр түрлі қызмет салаларында виртуализация өнімдерін қолданудың келесі нұсқалары көрсетілген:

1. Серверді виртуалдандыру. Параллель жұмыс істейтін виртуалды көшірмелерін пайдаланып бірнеше физикалық серверлерді біреуіне көшіру.

2. Қосымшаларды әзірлеу және жөндеу. Бір уақытта бірнеше ОЖ-ны іске қосу мүмкіндігі, бұл бағдарламалық жасақтама жасаушыларға әртүрлі платформалар мен конфигурацияларда қосымшаларын тексеруге мүмкіндік береді.

3. Аппараттық құралдарды виртуалдандыру. Мысалы: виртуалды принтерлер, ақпарат жинақтағыштар, желілік жабдық.

4. Портативті қосымшаларды ұйымдастыру. Сәйкес келмейтін бағдарламалық қамсыздандыру жұмысын қамтамасыз ету.

5. Оқытуда қолдану. Виртуалды машина білім беру мекемелерінде виртуалды зертхана кәсіптік пәндер бойынша зертханалық сабақтарды ұйымдастыру үшін пайдаланылуы.

Бүгінгі таңда дербес жұмысын эмуляциялайтын бағдарламалардың саны жеткілікті. Олар бір-бірінен мақсатымен, сипаттамаларымен және мүмкіндіктерімен ерекшеленеді, әртүрлі дайындық деңгейлері бар пайдаланушыларға бағытталған, сондықтан білім беру саласында тиімді қолдану үшін ВМ таңдаудың негізгі критерийлерін анықтау қажет болды. Жалпы, ВМ таңдаудың 6 критерийін негізгі деп санауға болатындығын көрсетті [6]:

1. Эмуляция түрі;
2. Жүйелік талаптар және баға;
3. Эмуляцияланатын аппараттық құрал;
4. Интерфейс;
5. Функционалды толтыру;
6. Өнімділік.

Осы критерийлерге сәйкес келетін виртуалды машиналардың ең танымал үшеуінің сипаттамаларына салыстырмалы талдау жасадық. Виртуалды машиналарды әртүрлі салаларда қолдану үшін қойылатын талаптарға сәйкес келетінін анықтау үшін бүгінгі таңда танымал үш квазиэмулятордың сипаттамаларына салыстырмалы талдау жүргізілді. Тестілеу объектісі ретінде біз бағдарламалық өнімдердің келесі нұсқаларын алдық: Windows Virtual PC, VMware Workstation 12.x, Oracle VM VirtualBox 5.x. Бастапқыда бағдарлама деректерін виртуалды машина орнатылатын компьютерге қойылатын баға мен жүйелік талаптар тұрғысынан салыстыру қажет деп санаймыз, өйткені бұл өлшем виртуалды машина жұмыс істейтін хост машиналарының конфигурациясын таңдауда негіз болып табылады. Егер осы сыныптағы бағдарламаларға қойылатын ұсынылған жүйелік талаптарды талдайтын болсақ, онда олар өте ұқсас: минималды жиілігі 1-1,3 GHz болатын 32 немесе 64 биттік архитектуралық процессор; сонымен қатар компьютерде кемінде 1 Гб жедел жады орнатылуы керек. Диск жетектеріне қойылатын талаптар маңызды емес, бірақ ең аз талап етілетін - бұл Microsoft өнімі; VMware, керісінше, өте көлемді дистрибутивке ие және орнатылған кезде дискілік кеңістіктің өте үлкен

көлемін қажет етеді. Виртуалды машина жұмыс істеуі үшін хост компьютеріне орнатылады. Лицензияланған бағдарламалық жасақтаманы пайдалану үшін Microsoft және Oracle бағдарламалық жасақтамаларын пайдалану ыңғайлы екені анық. Соңғысы сонымен қатар ашық және оның негізінде орналастыруға болатын ең көп ОЖ-ны қолдайды. Виртуалды машиналарды таңдаудың екінші критерийі - қонақтарға арналған компьютерлердің эмуляцияланған аппараттық құралдарының көлемі. Бұл сипаттама пайдаланушы жасайтын виртуалды машина (ВМ) аппараттық мүмкіндіктерін бағалауға мүмкіндік береді. Бұл параметр өндіруші компаниялардың ең маңызды және дамығандарының бірі болып табылады. Windows Virtual PC негізгі сипаттамалары бойынша бәсекелестерден өте артта қалды: ол ең аз аппараттық компоненттерді еліктейді және тек өз компаниясының бағдарламалық жасақтамасын қолдайды. Oracle VM VirtualBox, керісінше, қажет конфигурацияның бәрі бар барлық орташа дербес компьютердің аппараттық құралдарының толық эмуляциясын көрсетеді. VMware Workstation ең таңдаулы пайдаланушыларды эмуляцияланған аппараттық компоненттерді таңдаумен қанағаттандырады, бұл жоғары бағаны ақтайды.

Демек, компьютердің жұмысын эмуляциялау үшін Oracle VM VirtualBox бағдарламасын пайдалану ұсынылады, бірақ әр түрлі эмуляцияланған аппараттық құралдардың әртүрлілігіне сәйкес, кез-келген күрделіліктің виртуалды серверін ұйымдастыра алатын жетілдірілген VMware Workstation болып табылады. Үшінші және төртінші таңдау критерийлерін негізгі деп санауға болмайды, бірақ олар ВМ-ды ыңғайлы пайдалану үшін маңызды, яғни функционалды толықтық және интерфейс. VMware Workstation бағдарламасы ВМ тәжірибесін жақсартатын әртүрлі параметрлер, қосымша мүмкіндіктер және утилиттер бойынша сөзсіз көшбасшы болып табылады. Олар барлық пайдаланушыларға қажет болмауы мүмкін, бірақ ақпараттық технологиялар мамандары өндіруші компанияның оларға енгізетін жаңалықтарын ризашылықпен қабылдайды. Мұндай толыққанды өнімнің ақылы екендігі заңды. Windows Virtual PC, соңғы уақытқа дейін VMware өнімімен сәтті бәсекелесті, бірақ бүгінгі таңда бұл бағдарлама қосымша мүмкіндіктердің ішінен жұмыс істеуге жеткілікті негізгі минимумды ғана білдіреді. Oracle VM VirtualBox өнімі белсенді дамып келеді, сондықтан әр жаңа нұсқада даму көрінеді: бағдарламаның жаңа функцияларының саны артып келеді. Біздің ойымызша, ВМ таңдаудың соңғы және маңызды критерийі-виртуалды машиналардың өнімділігі. Осы критерий бойынша ВМ салыстыру үшін келесі конфигурациясы бар компьютерде жүргізілген бірқатар сынақтарды әзірледік: Intel Core 2 Duo 2,13 Ghz/3,5 GB/nVidia geforce7800gtx/250Gb, нәтижесінде бірдей конфигурациямен 3 ВМ құрдық (RAM – 1Gb, HDD – 10 Gb). Эксперименттің мақсаты қандай бағдарламалық өнім әртүрлі тапсырмаларды тезірек орындайтынын анықтау болды. Тестілеу нәтижелері VMware компаниясының бағдарламалық өнімі өнімділік бойынша ең жақсы көрсеткіштерге ие екенін көрсетті: ол әртүрлі бағдарламалық жасақтамадағы көптеген сынақтарда ең жоғары жылдамдықты көрсетеді. Virtual PC тек Microsoft ОЖ-мен жұмыс істегенде ғана өнімділік бойынша көшбасшы болып табылады, ал қалған ОЖ-ны қолдамайды, бұл, ең алдымен, Open Source өндірушілерімен бәсекелестікке және компания өз өнімдерін танымал ету үшін жүргізетін маркетингтік саясатқа байланысты. Oracle VM VirtualBox орташа өнімділікті көрсетеді. Төмендегі 2-кестеде салыстырмалы талдау нәтижелерінен, ВМ сипаттамалары алты критерий бойынша ұсынылған, бұл олардың мүмкіндіктерін жан-жақты бағалауға мүмкіндік беретіндігін көре аламыз.

Кесте 2. ВМ мүмкіндіктерінің салыстырмалы сипаттамасы

Өлшем нөмірі / ВМ атауы	1	2	3	4	5	6	Қорытынды
Windows Virtual PC	+	+	–	±	±	±	±
VMware Workstation 7.1	+	±	+	±	+	+	+
Oracle VM VirtualBox 4.1	+	+	+	+	±	±	+
"++"- ең жақсы көрсеткіш; "±"- орташа көрсеткіш; "- "- ең нашар көрсеткіш.							

VirtualBox-тың негізгі ерекшеліктері:

1. Кросс-платформалық қолдау: Windows, Linux және macOS сияқты әртүрлі хост операциялық жүйелерінде жұмыс істей отырып, пайдаланушыларға әртүрлі платформаларда ВМ жасау мен басқаруға мүмкіндік береді;

2. Көптеген қонақ ОЖ қолдауы: пайдаланушылар VirtualBox ішінде Windows-тың әртүрлі нұсқаларын, әртүрлі Linux дистрибутивтерін және macOS-ты (кейбір қосымша конфигурациялармен) орната алады.

3. Снапшот функциясы: VirtualBox пайдаланушыларға ВМ-дің қазіргі күйін сақтау үшін түсірілген суреттерді алуға мүмкіндік береді, бұл қажет болса кейін оралуға мүмкіндік береді. Бұл функция тестілеу және әзірлеу мақсаттары үшін пайдалы.

4. Бөлісілген қалта: пайдаланушылар хост пен қонақ ОЖ арасында қалталарды бөлісіп, файлдарды жеңіл тасымалдау үшін және ынтымақтастықты жеңілдетеді.

5. Желілік опциялар: VirtualBox әртүрлі желілік конфигурацияларды ұсынады, бұл ВМ-нің бір-бірімен, хостпен және сыртқы әлеммен байланысуына мүмкіндік береді.

6. Қонақ қосымшалары: Қонақ қосымшаларын орнату қонақ ОЖ-нің өнімділігі мен пайдаланушылық мүмкіндіктерін арттырады, мысалы, ортақ буфер, жетілдірілген графика және тышқанның интеграциясы.

VirtualBox-ты Windows, Linux және macOS-пен пайдалану:

1. Windows: пайдаланушылар VirtualBox-та Windows-тың әртүрлі нұсқаларын қонақ ОЖ ретінде орната алады. Бұл әсіресе Windows-only бағдарламаларын тестілеу, әзірлеу немесе басқа хост ОЖ-да іске қосу үшін пайдалы.

2. Linux: VirtualBox көптеген Linux дистрибутивтерін қолдайды. Пайдаланушылар әртүрлі Linux орталарымен тәжірибе жасап, серверлік бағдарламаларды іске қосып немесе хост жүйесіне әсер етпей, бақыланатын ортада бағдарламаларды тестілеуге болады.

3. macOS: macOS-ты VirtualBox-та қонақ ОЖ ретінде орнату лицензиялау шектеулері бойынша күрделірек болуы мүмкін, бірақ бұл кейбір қосымша қадамдармен мүмкін. Бұл әзірлеушілерге Mac қажет етпей, macOS қосымшаларын жасау және тестілеу үшін пайдалы.

Сонымен, VMware Workstation-бұл ірі ұйымдар шеңберіндегі маңызды міндеттерді шешуге бағытталған кәсіби кешен. Бұл бағдарламалық жасақтама ең өнімді болып табылады және онымен жұмыс істеу ыңғайлылығын арттыратын көптеген қосымша утилиталарды қамтиды. VMware Workstation-кәсіпқойларға бағытталған ақылы бағдарламалық өнім. Өкінішке орай, Windows Virtual PC моральдық тұрғыдан ескірген болып саналады, өйткені қазіргі заманғы интерфейстерге қолдау көрсетілмейді. Тағы бір кемшілігі-оның тек Microsoft өнімдеріне бағдарлануы. Дегенмен, Windows ОЖ-мен жұмыс істеу үшін ол ең жақсы жұмыс істейді, өйткені ол ең жоғары өнімділікті көрсетеді. Microsoft қазірдің өзінде Microsoft Windows 8, 10 операциялық жүйесінің құрамдас бөлігі ретінде қол жетімді жаңа Microsoft Hyper-V бағдарламалық өнімін әзірледі. Талдау көрсеткендей, ВМ пайдалану үшін ең кең таралған және қол жетімді-бұл Oracle VM VirtualBox, ол өзінің арсеналында барлық заманауи интерфейстерге ие және хосттар мен қонақтардың ОЖ-нің үлкен тізімін қолдайды, орыс тілінде интерфейсi бар және толығымен тегін. Осылайша, қазіргі заманғы ВМ-ды салыстыру негізінде біз ұсынған алты критерийді қолдана отырып, олардың көптеген нұсқаларының ішінен әртүрлі салалардағы әртүрлі тапсырмаларды сәтті орындай алатындарды таңдауға болады. VirtualBox – бұл Oracle компаниясы әзірлеген қуатты ашық кодты виртуализация бағдарламасы. Ол пайдаланушыларға бір физикалық машинада бірнеше операциялық жүйені іске қосуға мүмкіндік береді, өйткені виртуалды машиналар құрады. Бұл әсіресе әзірлеушілер, тестерлер және әртүрлі ОЖ орталарын бөлек физикалық жабдықсыз зерттеуге қызығатын кез келген адам үшін пайдалы. Операциялық жүйелерді қолдану мен басқаруды үйретуде білім алушыларға Windows, Linux, macOS сияқты әртүрлі операциялық жүйелермен танысуға мүмкіндік беру керек, осылайша білім алушылар әртүрлі жүйенің мүмкіндіктері мен ерекшеліктерін салыстыра алады. Windows, Linux, macOS операциялық жүйелерінде тапсырмаларды Virtual Box -та орындау үшін мүмкіндіктеріне талдау жасадық (3-кесте).

Мұндағы мақсатымыз болашақ информатик педагогтарының виртуалды машиналардың көмегімен операциялық жүйелерді пайдалану дағдыларын игерту.

Кесте 3. Windows, Linux, macOS операциялық жүйелерінде Virtual Box –пен жұмыс істеу үшін мүмкіндіктеріне талдау

<i>Операциялық жүйелер</i>	<i>Windows</i>	<i>Linux</i>	<i>macOS</i>
ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ	<i>Кең таралған</i>	<i>Тегін және ашық кодты</i>	<i>Оңтайландырылған өнімділік</i>
	<i>Бағдарламалық жасақтама қолжетімділігі</i>	<i>Қауіпсіздік</i>	<i>Қауіпсіздік</i>
	<i>Ойындар</i>	<i>Баптау мүмкіндігі</i>	<i>Дизайн және өнімділік</i>
	<i>Аппараттық үйлесімділік</i>	<i>Жеңіл жүйе</i>	<i>Apple экожүйесімен интеграция</i>
	<i>Пайдалануға ыңғайлылық</i>	<i>Бағдарламашылар мен серверлер үшін</i>	<i>Тұрақтылық</i>

Осы 3-кестеден Windows, Linux, macOS операциялық жүйелерінде Virtual Box -пен жұмыс істеу үшін мүмкіндіктеріне талдау нәтижесінен ерекшеліктерін көреміз. Яғни, операциялық жүйелердің мүмкіндіктері әр түрлі болғандықтан, олармен студенттер танысуы маңызды.

Информатика ББ бағдарламасын оқу жоспарына сәйкес, 3-курс 6 семестрде білім алушыларға «Операциялық жүйелер» пәнінде операциялық жүйелерді меңгерту мақсатында виртуализация мүмкіндіктері қолданылды. Білімді игерту мақсатында файлды басқару, қауіпсіздік, жадыны басқару және желілік байланыс тақырыптарында тапсырмаларды VirtualBox виртуалды машинасы арқылы орындатып, студенттердің теориялық білімдерін практикада қолдануын және әр түрлі аппараттық проблемаларды болдырмауын қамтамасыз етілді. Ең бастысы Білім алушылар бір мезетте екі немесе одан да көп операциялық жүйеде параллель жұмыс жасай отырып операциялық жүйелерді салыстыра меңгере алды.

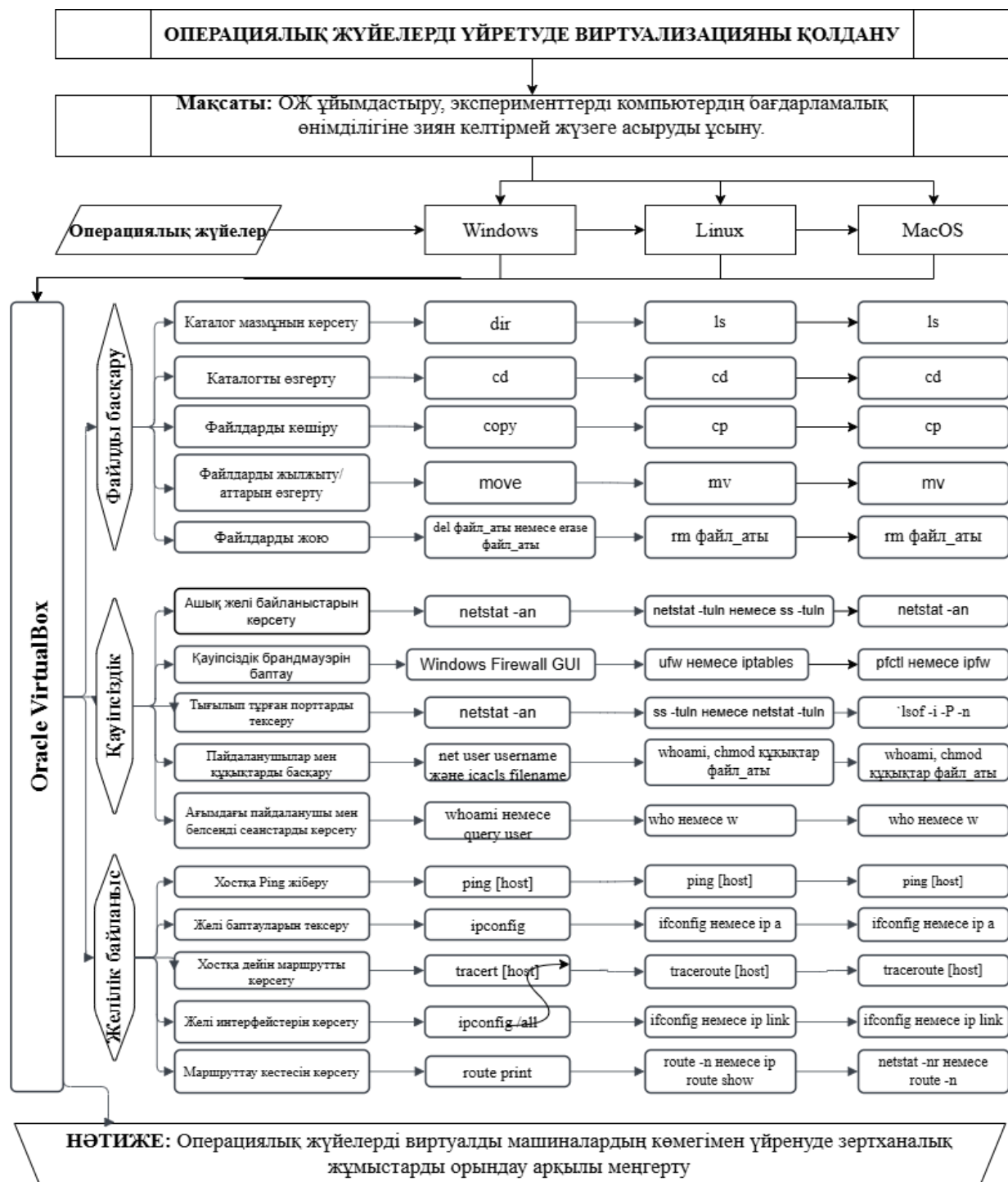
Операциялық жүйелерде файлдармен жұмыс істеу үшін студенттерге арналған бірнеше жұмыстар ұсынылды. Бұл жұмыстар командалық жол интерфейсін қолдана отырып, оқушылардың файлдық жүйелерді, рұқсаттарды, файл атрибуттарын, және файлдармен жұмыс істеу дағдыларын дамытуға көмектеседі.

Қауіпсіздік негіздерін тереңдетіп үйрену үшін студенттерге арналған жұмыстар файл рұқсаттарын басқару, пайдаланушылар мен топтар құру, шифрлау әдістері, желілік қауіпсіздік және зиянды бағдарламалардан қорғау тақырыптарын қамтиды. Бұл тапсырмалар студенттердің операциялық жүйелердегі қауіпсіздік дағдыларын дамытуға, оларды қорғау әдістерімен танысуға және нақты инциденттерді шешу тәжірибесін алуға бағытталған [7].

Операциялық жүйелердегі жадыны басқару әдістерін тереңдетіп үйрену үшін зертханалық жұмыстардың мақсаты –білім алушыларға жадыны басқару, виртуалды жады, парақтау, сегменттеу және жадтың тиімділігін арттыру сияқты негізгі ұғымдарды түсініп, оларды тәжірибеде қолдануды үйрету.

Ал, операциялық жүйелерде желілік өзара әрекеттесуді оқыту үшін арналған жұмыстар топтамасы берілген. Бұл тапсырмалар желілік байланыс орнату, TCP/IP стегін түсіну, желілік құралдармен жұмыс, сокеттер арқылы бағдарламалау және желілік қызметтерді орнату мен басқару сияқты маңызды тақырыптарды қамтиды.

Төмендегі 5-суретте «Файлды басқару», «Қауіпсіздік», «Желілік байланыс» тақырыбындағы зертханалық жұмыстарды орындау арқылы тақырыпты меңгеру жолдары сипатталған.



Сурет 5. Операциялық жүйелер пәнінен зертханалық жұмыстарды орындау моделі

Білім алушылар операциялық жүйелерді виртуалды машиналардың көмегімен үйренуде «Файлды басқару», «Қауіпсіздік», «Желілік байланыс» зертханалық жұмыстарды орындау арқылы командаларды меңгереді. Осы 5-суретте операциялық жүйелер пәнінен «Файлды басқару», «Қауіпсіздік», «Желілік байланыс» зертханалық жұмыстарды орындау моделін көріп тұрмыз, яғни әр операциялық жүйелердің командаларын қызметімен меңгереді. Осылайша, операциялық жүйелер пәнінде зертханалық жұмыстарды орындауда ВМ мүмкіндіктерін пайдалану арқылы болашақ информатик педагогтарын практикалық дайындаудың ең перспективалы және тиімді құралы деп санаймыз. Зертханалық жұмыстарды

орындау нәтижесінде ВМ қолдана отырып, білім алушылар болашақ кәсіби қызметте ұқсас операцияларды өз бетінше орындауға көмектесетін дағдыларға ие болады.

Бұл зертханалық жұмыстарды орындау нәтижесінде білім алушылар:

- Білім алушылар файлдарды архивтеуді, қысуды және қалпына келтіруді, файлдық жүйенің күйін бақылау және жүйені басқару әдістерін, файл рұқсаттарын және құқықтарын басқаруды үйренеді;

- Білім алушылар пайдаланушылар мен топтарды басқару және олардың қауіпсіздік параметрлерін орнатуды, брандмауэрлерді конфигурациялауды және желілік қауіпсіздікті қамтамасыз ету тәсілдерін, зиянды бағдарламалардан қорғау әдістерін үйреніп, антивирус бағдарламаларымен жұмыс істеуді меңгереді;

- Білім алушылар жүйелік журналдарды қарау және инциденттерді анықтау бойынша практикалық дағдыларды, жадтың құрылымы мен бөліну механизмдерін, виртуалды жады мен парақтау механизмдерін түсініп, парақтау файлын конфигурациялауды, жадыны тиімді басқару механизмдерін, жадыны басқару принциптерін үйренеді;

- Білім алушылар жадыны динамикалық бөлу және босату арқылы жады тиімділігін арттыруды, жад өнімділігін арттыру әдістерін және жүйенің жады тұтынуын тиімді басқаруды, TCP/IP стегінің құрылымын және желі деңгейіндегі байланыс принциптерін, желі диагностикасының негізгі құралдарын және трафикті бақылау әдістерін, DHCP және DNS қызметтерін конфигурациялау және олардың желіде қалай жұмыс істейтінін, SSH, VPN және брандмауэр арқылы желі қауіпсіздігін қамтамасыз ету әдістерін меңгереді.

- Білім алушылар HTTP протоколын және веб-сервердің жұмыс принциптерін, сондай-ақ веб-серверде қауіпсіздікті қамтамасыз етуді, FTP арқылы файлдарды басқаруды және FTP серверінің қауіпсіздігін қамтамасыз етуді, файлдарға рұқсаттарды тағайындау және өзгерту арқылы операциялық жүйелерде файлдық қауіпсіздік негіздерін меңгереді.

Операциялық жүйелерді үйретуде виртуализацияны енгізу көптеген мүмкіндігі жоғары бағдарламалармен тиімді жұмыс жасауда студенттердің практикалық дайындығын жақсартудың бір жолы ретінде ұсынылды.

Бұл әдіс білім алушыларға операциялық жүйелердің әртүрлі аспектілерін тиімдірек зерттеуге және сынауға мүмкіндік береді. Педагогика саласына маманданған студенттерге арналған зертханалық жұмыс-бұл болашақ мамандыққа тікелей бағытталған оқу-танымдық іс-әрекеттің бір түрі. Мұнда студенттерге проблемалық тапсырмалар қойылады, олардың шешімін табу үшін теориялық және практикалық дайындықтар қажет етіледі. Сондықтан зертханалық жұмыс практикалық сабақтарды өткізудің басым нысанына айналады, онда арнайы пәндер бойынша білім беру міндеттерінің кең ауқымын шешу үшін оқытудың тиімді құралдары қолданылады [8, 9, 10].

Дискуссия

Бұл зерттеу нәтижелері болашақ информатика мамандары үшін операциялық жүйелерді виртуализациялау технологияларын тиімді қолданудың маңыздылығын айқындайды. Білім алушылар өздерінің практикалық дағдыларын виртуалды машиналар арқылы дамытуға мүдделі екендерін көрсетті, бірақ көпшілігі виртуализация құралдары мен операциялық жүйелердің ерекшеліктері туралы толық түсінікке ие емес.

Зерттеу нәтижелеріне сәйкес алынған тұжырымдамалар:

- Операциялық жүйелермен жұмыс істеу деңгейі: Студенттердің тек 42,5%-ы Windows, Linux, MacOS операциялық жүйелерінде жұмыс істей алады, ал қалғандары олардың мүмкіндіктерін толықтай пайдалана алмайды.

- Виртуалды машиналарға қатысты білімдер: Виртуалды машиналардың түрлері мен мүмкіндіктері туралы білім тек 15%-да ғана бар, бұл студенттердің көпшілігі үшін маңызды техникалық дағдыға айнала алмай отыр.

- Виртуализациялау мүмкіндіктерін түсіну: Операциялық жүйелерді виртуализациялау туралы 67,5% студент білмейді, бұл студенттердің пән бойынша теориялық білімдерін толық практикада қолдануға қиындықтар тудыруы мүмкін.

- Практикалық дағдыларды дамытуға қызығушылық: Операциялық жүйелердің мүмкіндіктерін виртуалды машиналар арқылы меңгеруге 75% студенттің ынтасы бар.

Зерттеу нәтижелері бойынша, болашақ информатика педагогтарының осы бағыттағы білімдерін арттыру үшін оқу процесінде виртуализация құралдарын пайдалану және оларды түрлі операциялық жүйелерде тапсырмалар орындау үшін қолдану өте маңызды. Бұл студенттердің теориялық білімдерін практикада тиімді қолдануға көмектеседі.

Қорытынды

Операциялық жүйелерді оқытуда Oracle VirtualBox VM қолдану және сол ортада зертханалық жұмыстарды орындаудың берер мүмкіндігі жоғары, сондықтан ХХІ ғасырдың бәсекеге қабілетті болашақ информатика педагог мамандарына операциялық жүйелердің мүмкіндіктерін үйретудің ең перспективалы және тиімді құралы деп саналды. Зертханалық жұмыста виртуалды машиналарды қолдана отырып, студенттер болашақ кәсіби қызметте тапсырмаларды өз бетінше орындауға көмектесетін дағдыларға ие болады.

Зерттеу нәтижесі бойынша төмендегідей тұжырымдар ұсынылады:

- Оқу бағдарламасындағы пәндер мазмұнына виртуализация технологияларын қосу: Студенттерге әр түрлі операциялық жүйелермен жұмыс істеу мүмкіндігін беру үшін, оқу курстарында виртуалды машиналар мен олардың қолданылуын оқыту қажет.

- Қолданбалы зертханалық сабақтар ұйымдастыру: Виртуалды машиналар негізінде зертханалық жұмыстар ұйымдастырып, студенттердің практикалық дағдыларын қалыптастыру.

- Виртуализация құралдарының кеңінен қолданысқа енгізілуі: VMware Workstation, Oracle VM VirtualBox сияқты құралдар оқу процесінде қолданылып, студенттердің мүмкіндіктерін кеңейтеді.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

[1] Мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаевтың «Жасанды интеллект дәуіріндегі Қазақстан: өзекті мәселелер және оны түбегейлі цифрлық өзгерістер арқылы шешу» атты Қазақстан халқына Жолдауы. - 2025. <https://www.akorda.kz>

[2] ҚР мектепке дейінгі, орта, техникалық және кәсіптік білім беруді дамытудың 2023 - 2029 жылдарға арналған тұжырымдамасы.-2023. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2300000249>

[3] Basu S. J., Barton A. C. A researcher-student-teacher model for democratic science pedagogy: connections to community, shared authority, and critical science agency. //Equity & Excellence in Education, -2010. -43(1), p.p. 72–87. <https://doi.org/10.1080/10665680903489379>.

[4] Шабалин А. М., Захаров А. А., Калиберда Е. А., Кенжалинова Н. В. Организация виртуальной облачной лаборатории для развития профессиональных компетенций в области сетевого и системного администрирования при подготовке будущих IT-специалистов. //Динамика систем, механизмов и машин. 2023. № 4(11). С.87-93 <https://doi.org/DOI:10.25206/2310-9793-2023-11-4-87-93>

[5] Жабаев Е.Х., Ревшенова М.И. Виртуальные среды и симуляторы в обучении робототехнике. // Вестник КазНПУ им. Абая, серия «Физико-математические науки». 2023. №2(82). 220-229 б. <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2023.82.2.024>.

[6] Zakharov A.A., Shabalin A.M., Kruchkovsky S. K. Features of Creating a Virtual Laboratory for Developing and Applying Correlation Rules in Modern SIEM-Systems when Training Security Operation Center Analysts (by the Example of Microsoft Windows) //International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). 2024. <https://doi.org/10.1109/SmartIndustryCon61328.2024.10515421>

[7] Berdi D., Niyazova G., Bayterekova N., Koshanova G., Usembayeva I. Digital hygiene skills and cyberbullying reduction: a study among teenagers in Kazakhstan. //International Journal of Evaluation and Research in Education. 2024. №13(6), p.p. 4170–4188. <https://doi.org/10.11591/ijere.v13i6.28418>

[8] Заурова С.Б., Сагимбаева А.Е., Мукатаева Ж.С. Виртуалды зертхананы білім беру жүйесінде пайдаланудың маңыздылығы. //ҚР Ұлттық ғылым академиясы Хабаршысы. 2023. №405 (5), 114-131 б.б. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1467.580>

[9] Кошанова Г., Кошанова М., Абдулатипов А. Робототехниканы оқытуда виртуалды зертханаларды қолдану мүмкіндіктері. //Абай атындағы ҚазҰПУ Хабаршысы. 2024. №3 (87). 249-262 б.б. <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.87.3.021>

[10] Niyazova G., Abdrakhmanov R., Adylbekova G., Koshanova G. Applying augmented and virtual reality in online and offline education. //Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2022. №100 (8), p.p. 2528-2541.

References

[1] Memleket basshysy Kasym-Zhomart Tokaevtyн «Zhasandy intellekt dauryryndegы Kazakhstan: ozekty maseleler zhane ony tubegejly cifrlyk ozgeryster arkyly sheshu» ["Kazakhstan in the era of artificial intelligence: current problems and their solutions through radical digital transformation"] atty Kazakhstan halkyna Zholdauy. 2025. <https://www.akorda.kz> (In Kazakh)

[2] KR mektepke deıyngy, orta, tekhnikalыk zhane kasyptyk bylym berudy damytudyn 2023 - 2029 zhyldarga arналган tuzhyrymdamasy [Concept for the development of preschool, secondary, technical and vocational education of the Republic of Kazakhstan for 2023-2029]. 2023. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2300000249> (In Kazakh)

[3] Basu S. J., Barton A. C. (2010) A researcher-student-teacher model for democratic science pedagogy: connections to community, shared authority, and critical science agency. //Equity & Excellence in Education, 43(1), 72–87. <https://doi.org/10.1080/10665680903489379>

[4] SHabalin A. M., Zaharov A. A., Kaliberda E. A., Kenzhalinova N. V. (2023) Organizaciya virtual'noj oblachnoy laboratorii dlya razvitiya professional'nyh kompetenciy v oblasti setevogo i sistemnogo administrirovaniya pri podgotovke budushchih IT-specialistov [Organization of a virtual cloud laboratory for the development of professional competencies in the field of network and system administration in the training of future IT specialists.]. Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin. № 4(11). 87-93 DOI: <https://doi.org/10.25206/2310-9793-2023-11-4-87-93> (In Russian)

[5] ZHabaev E.H., Revshenova M.I. (2023) Virtual'nye sredy i simulyatory v obuchenii robototekhnike [Virtual environments and simulations in robotics education]. Vestnik KazNPU im. Abaya, seriya «Fiziko-matematicheskie nauki». №2(82). 220-229. <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2023.82.2.024> (In Russian)

[6] Zakharov A.A., Shabalin A.M., Kruchkovsky S. K. (2024) Features of Creating a Virtual Laboratory for Developing and Applying Correlation Rules in Modern SIEM-Systems when Training Security Operation Center Analysts (by the Example of Microsoft Windows) International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). 2024. <https://doi.org/10.1109/SmartIndustryCon61328.2024.10515421>

[7] Berdi D., Niyazova G., Bayterekova N., Koshanova G., Usembayeva I. (2024) Digital hygiene skills and cyberbullying reduction: a study among teenagers in Kazakhstan. //International Journal of Evaluation and Research in Education. 2024. №13(6), p.p. 4170–4188. <https://doi.org/10.11591/ijere.v13i6.28418>

[8] Zaurova S.B., Sagimbaeva A.E., Mukataeva ZH.S. (2023) Virtualdy zerthanany bylym беру zhujesynde pajdalanudyn manyzdylygy [The importance of using the virtual laboratory in the education system]. KR Ulıtyk gylım akademiyaıy Habarshysy. №405 (5), 114-131. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1467.580> (In Kazakh)

[9] Koshanova G., Koshanova M., Abdulatipov A. (2024) Robototekhnikany okytuda virtualdy zerthanalary koldanu mumkyndyktery [Possibilities of using virtual laboratories in teaching robotics]. Abay atyndagы KazUPU Habarshysy. №3 (87). 249-262. <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.87.3.021> (In Kazakh)

[10] Niyazova G., Abdrakhmanov R., Adylbekova G., Koshanova G. (2022) Applying augmented and virtual reality in online and offline education. //Journal of Theoretical and Applied Information Technology. №100 (8), 2528-2541.

Г.А. Мадьярова¹ , А.С. Орынбаева^{1*} , А.Е. Жалгасова¹ ,
Я. Култан ² , Р.У.Сегизбаева³ 

¹ Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

² Экономикалық университет, Бартислава қ., Словакия

³ Азаматтық Авиация академиясы, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: aizhan.sansyzbaevna@mail.ru

ИНФОРМАТИКА МҰҒАЛІМДЕРІН ДАРЫНДЫ ОҚУШЫЛАРМЕН ЖҰМЫСҚА ДАЙЫНДАУ: ЗАМАНАУИ ӘДІСТЕР МЕН ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Аңдатпа

Бүгінгі білім беру жүйесінде цифрлық трансформация аясында дарындылықты анықтау мен қолдау ерекше маңызға ие болып отыр. Зерттеу барысында әлемдік және отандық тәжірибелерге талдау жүргізіліп, шығармашылық және интеллектуалдық әлеуетті ерте жастан айқындаудың білім сапасын арттыруға және жеке тұлғаның ақпараттық ортаға тез бейімделуіне ықпал ететіні анықталды. Ғылыми еңбектерге контент-талдау және модельдеу әдістерін қолдану нәтижесінде дарындылықты анықтау үдерісінің үш негізгі бағыты айқындалды: диагностика, қолдау стратегиялары және цифрлық құзыреттілікті дамыту. Зерттеу нәтижесінде цифрлық ортада дарындылықты анықтау мен қолдауды интеграциялауға бағытталған Smart-Talent Core («Зияткерлік дарын өзегі») моделі әзірленді. Бұл модель білім беру ұйымдарының барлық деңгейінде оқушылардың әлеуетін бағалау, дамыту және педагогтардың кәсіби құзыреттілігін жетілдіруге мүмкіндік береді. Ұсынылған ғылыми нәтижелер дарынды балалармен жұмыс жүргізудің инновациялық тәсілдерін енгізу және білім беру процестерінің цифрлық трансформациясын тереңдетуге бағытталған.

Түйін сөздер: дарынды оқушылар, информатика мұғалімі, кәсіби трансформация, цифрлық құзыреттілік, педагогикалық инновациялар.

Г.А. Мадьярова¹, А.С. Орынбаева¹, А.Е. Жалгасова¹, Я.Култан², Р.У. Сегизбаева³

¹ Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

² Экономический университет, г. Братислава, Словакия

³ Гражданская Академия Авиации, г. Алматы, Казахстан

ПОДГОТОВКА УЧИТЕЛЕЙ ИНФОРМАТИКИ К РАБОТЕ С ОДАРЕННЫМИ УЧАЩИМИСЯ: СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Аннотация

В современном образовательном пространстве, на фоне цифровой трансформации, выявление и поддержка одарённости приобретает особую значимость. В ходе исследования был проведён анализ мирового и отечественного опыта, который показал, что раннее выявление творческого и интеллектуального потенциала способствует повышению качества образования и ускоренной адаптации личности к информационной среде. Применение контент-анализа и методов моделирования позволило выделить три ключевых направления процесса выявления одарённости: диагностику, стратегии поддержки и развитие цифровой компетентности. По результатам исследования была разработана модель Smart-Talent Core («Интеллектуальное ядро одарённости»), направленная на интеграцию процессов выявления и поддержки одарённых учащихся в цифровой среде. Модель может быть использована на всех уровнях образования для оценки и развития потенциала обучающихся, а также для повышения профессиональной компетентности педагогов. Представленные научные результаты способствуют внедрению инновационных подходов в работе с одарёнными детьми и углублению цифровой трансформации образовательных процессов.

Ключевые слова: одарённые ученики, учитель информатики, профессиональная трансформация, цифровая компетентность, педагогические инновации.

G.A. Madyarova¹, A.S. Orynbayeva¹, A.Y. Zhalgassova¹, Y. Kultan², R.U. Segizbayeva³

¹ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

² University of Economics, Bratislava, Slovakia

³ Civil Aviation Academy, Almaty, Kazakhstan

TRAINING COMPUTER SCIENCE TEACHERS TO WORK WITH GIFTED STUDENTS: MODERN METHODS AND TECHNOLOGIES

Abstract

In the context of ongoing digital transformation in education, the identification and support of giftedness have become increasingly significant. The study involved an analysis of global and national practices, revealing that early identification of creative and intellectual potential contributes to improving the quality of education and accelerating students' adaptation to the information-rich environment. Through the use of content analysis and modeling methods, three key areas of the giftedness identification process were identified: diagnostics, support strategies, and the development of digital competence. As a result of the research, the Smart-Talent Core model was developed, aimed at integrating the processes of identifying and supporting gifted learners within a digital environment. This model can be applied across all levels of education to assess and develop learners' potential and to enhance teachers' professional competence. The findings contribute to the implementation of innovative approaches to working with gifted students and to advancing the digital transformation of educational processes.

Keywords: gifted students, computer science teacher, professional transformation, digital competence, pedagogical innovations.

Кіріспе

Негізгі ережелер

Оқу үдерісінде мұғалімнің цифрлық трансформациясы дарынды оқушылардың әлеуетін толық ашу, олардың дара қабілеттерін ерте анықтап, мақсатты түрде дамытуға бағытталуы тиіс. Білім беру жүйесінде информатика мұғалімінен тек білім беруші емес, оқушының зерттеушілік қабілетін, жобалық және креативтік ойлауын дамытатын фасилитатор болуы талап етіледі. Мұғалімдер цифрлық трансформацияға бейімделіп, заманауи технологияларды меңгеріп, жеке білім беру траекторияларын құруға қабілетті болуы тиіс. Мұғалім мен оқушының тең дәрежелі шығармашылық серіктестікте болуы маңызды.

Бүгінгі күні жаңа технологиялардың қарқынды дамуы білім беру жүйесіне түбегейлі өзгерістер енгізіп, педагогикалық процестердің цифрлық трансформациясын жеделдетіп отыр. Осындай динамикалық кезеңде елдің интеллектуалдық әлеуетін қалыптастыру шығармашыл, қабілетті және ақпараттық ортада бәсекеге қабілетті тұлғаларды тәрбиелеумен тікелей байланысты. Бұл міндетті жүзеге асыруда әрбір оқушының қабілетін дер кезінде анықтау және оны дамытуға қолайлы жағдай жасау – педагогтердің кәсіби жауапкершілігінің маңызды құрамдас бөлігі.

Дарындылықты диагностикалау бойынша жүргізілген зерттеулер (Корнехо-Арайя К.А., 2021; Ерийлмаз Р., 2024; Рензулли Дж.С., 2021; Крисел С., 2023; Хорн К.В., 2015) кешенді бағалау құралдарының тиімділігін көрсетеді. Дарынды балаларды дамыту мен қолдау стратегиялары жөніндегі еңбектерде (Ренати Р. және Бонфильо Н.С., 2022; Пийрто Дж., 2022; Суботник Р.Ф., 2023; Стернберг Р., 2021; Делайл Дж., 2021; Мэй Р.Дж., 2022) мотивация, шығармашылық және әлеуметтік бейімделу аспектілері жан-жақты қарастырылған. Сонымен қатар, педагогтардың цифрлық құзыреттілігін арттыруға бағытталған зерттеулер (Масуми Д. және Норузи О., 2025; Шекербекова Ш.Т. және Бақытбекова Ж.Б., 2023; Салгожа И.Т., Касекеева А.Б., 2022) функционалдық сауаттылық пен цифрлық педагогиканың маңызын айқындайды.

Қазақстандық нормативтік құжаттар да дарынды балаларды қолдаудың маңызын атап өтеді. “Білім туралы” (1999) және “Арнайы білім беру туралы” (2002) заңдары аясында “Дарын” орталығы дарынды оқушыларға арналған арнайы бағдарламаларды іске асырып келеді [1].

Дарынды оқушылар – елдің интеллектуалдық және инновациялық әлеуетін қалыптастыратын негізгі стратегиялық ресурс. Алайда дарынды тұлғаны ерте анықтау, жүйелі қолдау және оның әлеуетін ашудың әдістемелік негіздері әлі де жетілдіруді талап етеді. Библиометриялық талдаулар дарындылықтың көрінбеуі, үлгермеушілікпен байланысы, әлеуметтік-психологиялық факторлардың әсері сияқты күрделі мәселелердің бар екенін көрсетеді [2]. Дарынды балалардың ғылым, мәдениет, экономика және әлеуметтік саладағы орны ерекше. Информатика пәні мұғалімдерінің кәсіби трансформациясы – инновациялық әдістерді меңгеру, цифрлық платформаларды тиімді қолдану және оқушылардың шығармашылық әлеуетін ашатын дербестендірілген оқыту ортасын құруға ықпал етеді. Дарынды оқушылар үшін өмір бойы білім алу мәдениетін қалыптастыру, олардың әлеуметтік және мәдени капиталын тиімді пайдалану маңызды [3]. Білім беру жүйесінде дарындылықты ерте диагностикалау бойынша ғылыми әдістер жеткілікті болғанымен, цифрлық трансформация жағдайында оқушылардың когнитивтік және шығармашылық әлеуетін кешенді бағалайтын, педагогтың цифрлық құзыреттілігімен сабақтасқан интеграцияланған модельдің жоқтығы негізгі ғылыми проблема ретінде айқындалады.

Сонымен бірге, қазіргі қолданылатын әдістемелер көбіне когнитивтік көрсеткіштерге сүйенеді. Бұл өз кезегінде оқушының оқу стилін, цифрлық ортадағы шығармашылық әрекетін және нақты уақыттағы оқу динамикасын талдайтын интеллектуалды диагностикалық экожүйелердің жеткіліксіздігі мәселесін туындатады.

Осы мәселелерді ескере отырып, зерттеудің мақсаты – цифрлық ортада дарындылықты анықтау, дамыту және қолдауды интеграциялайтын ғылыми-әдістемелік негіз жасау және Smart-Talent Core моделін әзірлеу болып табылады.

Зеріттеу әдіснамасы

Зерттеу жұмысының әдіснамалық негізі дарындылықты анықтау, диагностикалау және цифрлық ортада қолдау процестерін кешенді қарастыруға бағытталған аралас тәсілдерге сүйенеді. Зерттеу білім беру саласындағы көпдеңгейлі құбылыстарды талдауды талап ететіндіктен, әдіснамалық модель сапалық және сандық әдістерді интеграциялай отырып құрылды. Әдіснама төрт негізгі компоненттен тұрады: зерттеу дизайны, деректерді жинау құралдары, талдау процедуралары және этикалық қамтамасыз ету тетіктері.

Зерттеу дизайнының әдіснамалық негіздері. Зерттеу кешенді аралас зерттеу (complex mixed-method research) парадигмасына сәйкес ұйымдастырылды. Бұл тәсіл дарындылық феноменін көпаспектілі (когнитивтік, шығармашылық, әлеуметтік, цифрлық) сипаттарымен бірге түсіндіруге мүмкіндік береді.

Зерттеу үш әдіснамалық кезеңнен тұрды:

1) Теориялық-құрылымдық кезең

Бұл кезеңде дарындылық теориялары (Рензулли, Пийрто, Стернберг, Суботник), оқушылар қабілеттерін бағалау модельдері және педагогтардың цифрлық құзыреттілігіне қатысты ғылыми еңбектерге жүйелі шолу жүргізілді. Нормативтік-құқықтық құжаттар, Қазақстандағы «Дарын» орталығының материалдары талданды. Осы талдау зерттеу мәселесін құрылымдауға және негізгі айнымалыларды эпистемологиялық тұрғыда айқындауға мүмкіндік берді.

2) Эмпирикалық-диагностикалық кезең

Дарындылықты диагностикалау үшін әртүрлі эмпирикалық құралдар қолданылды:

- SRBCSS-R мінез-құлықтық көрсеткіштер шкаласы;
- шығармашылық дивергенттік ойлау тапсырмалары;
- бақылау карталары (Kriesel) арқылы табиғи ортада қабілеттің көрінуін бағалау;
- мұғалімдер мен ата-аналарға сауалнама.

Бұл кезеңде алынған деректер дарындылықтың когнитивтік, шығармашылық және мотивациялық индикаторларын анықтауға бағытталды.

3) Модельдеу және цифрлық синтез кезеңі

Алынған деректерді жүйелеу нәтижесінде Smart-Talent Core («Зияткерлік дарын өзегі») моделі әзірленді. Модель сандық визуализация әдістеріне (профильдік диаграммалар, интегративтік қабілет картасы) негізделді. Бұл кезеңде дарындылық индикаторларының арақатынасы мен олардың цифрлық ортада қолдану мүмкіндіктері концептуалданды.

Деректерді жинау құралдары мен әдістері

Зерттеуде қолданылған әдістер педагогикалық диагностика, психометрия және цифрлық білім беру әдіснамасының талаптарына сәйкес таңдалды.

- Теориялық деректер
- Жүйелі контент-талдау (systematic content analysis)
- Салыстырмалы педагогикалық талдау (comparative educational analysis)
- Нормативтік құжаттарды әдіснамалық құрылымдау
- Эмпирикалық құралдар.

SRBCSS-R шкаласы – оқушылардың интеллектуалдық, шығармашылық, мотивациялық мінез-құлық белгілерін бағалауға арналған.

Шығармашылық тапсырмалар – дивергенттік ойлау жылдамдығы мен икемділігін анықтау үшін қолданылды. Бақылау және табиғи ортада диагностикалау – оқушылардың іс-әрекет динамикасын тіркейтін Kriesel үлгісі қолданылды. Сауалнама және сұхбат – педагогтердің цифрлық құзыреттілігі және оқушы қабілеттерін қолдау тәжірибесі анықталды.

Деректерді талдау бірізді логикалық схема бойынша жүзеге асырылды.

1. Контент-талдау

Ғылыми әдебиеттер мен эмпирикалық жазбалар мазмұндық кодтау арқылы өңделіп, негізгі категориялар анықталды: «дарындылық диагностикасы», «цифрлық қолдау», «оқушы әлеуеті», «мұғалім құзыреттілігі».

2. Сандық талдау

- жиілік талдауы (frequency analysis),
- орташа мәндерді есептеу,
- қабілет индикаторлары арасындағы байланыс коэффициенттерін талдау.

Сандық деректер диагностикалық нәтижелердің сенімділігін арттыруға бағытталды.

3. Сапалық талдау

Сұхбат және бақылау нәтижелері мазмұндық интерпретация әдісімен талданды. Педагогикалық процестің контекстуалдық ерекшеліктері анықталды.

4. Модельдеу

Smart-Talent Core моделі келесі принциптерге негізделді:

- жүйелілік,
- көпдеңгейлілік,
- цифрлық интеграция,
- педагог–оқушы өзара әрекетінің динамикасы.

4. Этика талаптары

Зерттеу барысында академиялық адалдықтың барлық талаптары сақталды:

- қатысушылардың ақпараттандырылған келісімі алынды;
- дербес деректер құпия түрде сақталды;
- диагностикалық нәтижелер тек ғылыми мақсатта қолданылды;
- психологиялық қысым, таңбалау немесе бағалаудағы субъективтік әсерлерге жол берілмеді.

АҚШ зерттеушісі Дж. С. Рензулли, өзінің әйгілі «Үш шеңбер» моделінде (Three-Raing Conception of Giftedness) дарындылықтың құраушыларын анықтап, сипаттама берген. Орташа деңгейден асатын - *интеллектуалдық*, жаңашыл ойлау, түпнұсқалық идеялар ұсыну – *шығармашылық*, жоғары табандылық, мақсатқа жетуге ұмтылыс – *мотивациялық қабілеттер* ретінде анықтаған. Автордың ғылыми еңбегінде осы үш фактордың қиылысқан жерінде шын мәніндегі дарындылық пен шығармашылық өнімділік пайда болатыны көрсетілген (сурет 1).



Сурет 1. Дарындылықтың құраушылары

Рензуллидің «Үш шеңбер» моделі – дарындылықтың кең түсіндіретін заманауи теориясы деп қарастыруға болады. Ол қабілет, шығармашылық және табандылық сияқты үш негізгі компоненттің тоғысуы арқылы шынайы дарындылық анықталатынын көрсетті. Бұл модель қазіргі таңда көптеген елдерде, соның ішінде Қазақстанда, дарынды оқушыларды анықтау мен дамыту бағдарламаларында әдіснамалық құрал ретінде қолданылады [4]. Италия ғалымдары Ренати Р., Бонфильо Н.С. зерттеуінде дарынды балалардың даму ерекшеліктерін олардың ата-аналарының көзқарасы мен қолдауы әсерінен, қабілетті баланың бойындағы ерекше талантын тануға болатындығын көрсетті. Сонымен бірге дарындылықты анықтау барысында тұлғаның денсаулық жағдайы, көңіл-күйі бақылауда болуы керек екенін атап өтті.

Дарынды баланың когнитивтік және әлеуметтік – эмоциялық қалыпта болуын қадағалап отыру үшін, ата – аналарға сауалнама жүргізілді және тереңдетілген сұқбат берілді.

Нәтижесінде ата-аналардың тәжірибесін талдау арқылы, дарынды балаларды тәрбиелеуде түрлі қиындықтарға тап болатынын, әсіресе эмоциялық реттеу мен әлеуметтендіру үдерістерінде қосымша қолдаудың қажет екенін көрсетті. Ата-аналардың балаларына қолданатын білім беру стратегияларында – дараланған тапсырмалар, шығармашылық қолдау көрсету – баланың әлеуеті толық ашылып, бойындағы потенциалына әсер етеді. Зерттеу кезіндегі алынған деректерде дарынды баланың ерекшеліктерін айқындап қана қоймай, олардың үйлесімді дамуын қамтамасыз ету үшін мұғалімдердің және ата – ананың қолдауын күшейту керектігін дәлелдеді [5]. Дж.Пийртоның “дарынды балалар мен ересектер” (*Talented Children and Adults*) жазған еңбегінде дарындылықты тек табиғи қабілетпен шектемей, оның дамуына әлеуметтік орта, тәрбие, білім беру жүйесі, мотивация және тұлғалық қасиеттер сияқты көптеген ішкі және сыртқы факторлардың әсер бар екенін анықтады. *Когнитивтік қабілеттер, шығармашылық, эмоциялық ерекшеліктері және қоршаған орта*, осылардың әсері дарындылықты жан – жақты анықтауға мүмкіндік беретінін анықтады. Оқушының бойындағы қабілетін терең тану үшін, әр жас кезеңіндегі ерекшеліктерімен салыстырмалы талдау, тұлғаның бойындағы (*жас ерекшелігімен келетін*) қабілетті көруге болатындығын және виньекталар (*өмірлік жағдайларды сипаттау арқылы мәселені нақтылау*), кейс стади (*мұғалімдер мен оқушылар тәжірибесін талдау*) әдістері арқылы дарындылықтың белгісін анықтауға болатынын көрсетті. Шығармашылықты анықтау мақсатында диагностикалық тәсілдер қолданды. Бұл әдістерді үйлесімді қолдану нәтижесінде балалардың дарындылығын ерте жастан айқындау үшін арнайы бағдарламалар мен дараланған оқу жоспары қажет екендігін дәлелдеді. Бұл еңбектің жаңалықтары ретінде таланты балалардың академиялық қана емес, эмоционалдық және әлеуметтік қажеттіліктерін ескеру маңыздылығын атап көрстеуге болады. Психологиялық қолдау көресту және білім беру процесін жеке тұлғаға

бейімдеу, олардың шығармашылық қабілеттерін дамыту, арнайы технологияларды қолдану, педагогикалық – психологиялық кеңестер беру қабілетті оқушыларға берілетін ең маңызды қолдау деп есептеді [6].

Джозеф Рензулли мен Ховард Хартманның, “Дарынды оқушылардың мінез-құлық ерекшеліктерін бағалау” (Scales for Rating the Behavioral Characteristics of Superior Students)-Revised шкаласы, дарынды оқушылардың қабілетін анықтауда мұғалімдерге арналған диагностикалық құрал екенін көрсетті. Бұл (SRBCSS-R) шкала арқылы мұғалімдерге оқу, ынта, креативтілік және көшбасшылық сияқты негізгі сипаттамаларымен оқушының дарындылық деңгейін бағалау мүмкіндігін береді. SRBCSS-R құралы дарынды оқушыларды анықтауда өте тиімді, өйткені басқа құралдарға қарағанда кешенді әрі мұғалімдер үшін ыңғайлы, практикалық қолдануға жақсы бейімделген әдіс [7].

Американдық ғалым Рена Ф. Суботник, дарынды оқушылардың даму траекториясын зерттеді. “Дарындылықты дамыту мегомоделі” еңбегінде тұлға дарындылығының когнитивтік қабілетін (*интеллект, есте сақтау, ойлау*) және психосоциалды факторларын (*табандылық, мотивация, өзін-өзі реттеу, қателіктен сабақ алу, мақсат қою*) зерттеу нәтижесінде *Talent Development Mega Model (TDMM)* моделін құрды.

TDMM оқушылардың дамуын қысқа мерзімді жетістіктермен шектемей, ұзақ мерзімді шығармашылық және кәсіби табыстарға бағыттайды.

- Модель мектеп басшылары мен мұғалімдерге стратегиялық шешім қабылдауда ғылыми-тәжірибелеріне бастама болады.

- TDMM білім беру жүйесінде тең мүмкіндіктер мен үздіксіз дамуды қамтамасыз ете отырып, дарынды балаларға арналған бағдарламаларды жаңаша қарастыруға ықпал етеді және дарынды балаларды оқытуда талантты дамыту парадигмасы, дарынды балаларды анықтау мен қолдауда теориялық тұрғыдан, теңдей мүмкіндіктер беруімен ерекшелінеді [8].

АҚШ зерттеушісі Стефани Крисел, дарынды балаларды анықтау дәстүрлі идентификация тәсілдері теориялық тұрғыдан әлсіз болады деп санады, тұлғаның әлеуметтік, мәдени жағынан әркелкі ортадан шыққан және ерекше қабілеті бар, бірақ үлгерімі төмен оқушылар көбіне назардан тыс қалып қояды, оқушы бойындағы әлеуетін толық көрсете алмайды, сол себепті мұғалімдер тарапынан оқушының қабілетін дер кезінде тану мүмкіндігі аз болады. Стефани Крисел осы мәселені назарға алып «Алтын іздеу» (Panning for Gold) дарынды балаларға тән мінез-құлықтық көрсеткіштер, қабілеттер мен ерекшеліктер ескерілетін, бақылау формасын жасады. Мысалы, ерекше қызығушылық, күрделі сұрақтар қою, шығармашылық ойлау, тез үйрену қабілеті, сияқты белгілерді мұғалім сабақ барысында жүйелі түрде белгілеп отырады. Нәтижесінде, бұрын байқалмай келген ерекше қабілеті бар балаларды анықтау мүмкіндік болады. Мұғалімдердің дарындылықты тек үлгеріммен шектемей, жан-жақты қарастыруға болатынын және дарынды балаларға арналған бағдарламалардың әлеуметтік әділеттілікке жақындауына, әртүрлі топтағы балалардың қабілетін қамтуына ықпалын айқындайды. Осы тәсіл көмегімен, оқушылардың академиялық жетістіктерінен бөлек, мінез-құлықтық ерекшеліктері, шығармашылық қабілеттері мен танымдық белсенділігіне көңіл бөлінеді [9].

Стернберг, Р. Дж. қабілеттілікті анықтауда трансформацияланудың 2×2 моделін ұсынды. Модельдің екі негізгі өлшемді бөлігі бар: *өзін-өзі трансформациялау* және *басқаларды трансформациялау*. Екі өлшемді біріктіріп, дарындылықтың төрт түрлі бөлімінен құрады.

- трансформацияланбайтын,
- өзін-өзі жүзеге асырған,
- басқалар арқылы жүзеге асқан
- толық трансформациялық дарындылық.

Қазіргі білім саласында жастардың трансформациялық әлеуетін дамытуға көбірек көңіл бөлу қажет және бұл бағыт білім беру жүйесіне дарындылықты анықтау мен қолдаудың жаңа парадигмасы болатындығын көрсетті [10]. Кэрол В. Хорн зерттеуіндегі жоғары әлеуеті бар оқушыларды анықтау және қолдау мақсатында, «Fairfax County» мемлекеттік мектебіне, “Жас ғалымдар” (*Young Scholars*) моделін енгізді. Бұл модельдің басқа әдістерден

айырмашылығы дәстүрлі үлгерім мен IQ тест нәтижелеріне негізделді. Оқушының дарындылығын тану үшін ойлау, пайымдау, мәселелерді шешу және мәдени, этникалық қабілеті қарастырылды. Басты бағыт – дарынды балаларды жүйелі түрде, ерте кезеңнен бастап анықтап, әлеуметтік теңдікті ескеріп, олардың дамуына жағдай жасау. Бұл тәсіл әр баланың әлеуетін ерте жастан ашуға, олардың әлеуметтік жағдайына қарамастан тең мүмкіндік беруге негіз болады. Young Scholars моделі – дарындылықты анықтау мен қолдаудағы инклюзивті тәжірибе, ал ол білім беру жүйесінде тең мүмкіндіктерді қамтамасыз етеді, оқушылардың әлеуетін толық ашатын ең тиімді бағыт екенін дәлелдеді [11].

Джеймс Р. Делисл зерттеуінде дарынды баланы бақытты және табысты етіп тәрбиелеу үшін, ата-аналардың қолдауы өте маңызды. Баланың эмоционалды қажеттіліктерін түсініп, оған сенімділік артырып, шектемей, оның шығармашылық әлеуетін, ой-өрісін дамыту үшін еркіндік пен ынталандырудың маңыздылығын байланысты кеңестер ұсынған. Кеңестің негізгі мақсаты балаларын қабылдау және қарым-қатынасты дұрыстау оларға көңіл бөлу. Баланың интроспекциясын (өзінді саналы түрде бақылау) түсінуге қолдау көрсету. Олардың қызығушылығын тудыратын тақырыптарына қарап, қай жағынан қабілетті екенін анықтау, Ересектердің үлгі болу арқылы, дарынды баланың кемелділікке ұмтылуына әсер бар екенін дәлелдеді. Бұл кеңестің негізгі мәні – дарынды балаларды тәрбиелеуде ата-ананың басты міндеті олардың қабілетін ғана емес, ең алдымен бала ретіндегі табиғи болмысын түсініп, қолдау қажеттігін атап өтті. Джеймс Р. Делислдің көзқарасы бойынша, ата-аналар баланың ерекшелігін қабылдауы тиіс. Оларға әлеуметтік және эмоционалдық дамуына жағдай жасап, қолдау білдірсе, баланың дарындылық әлеуеті толыққанды ашылып, өзіне сенімділігі артып, дамуына жаңа мүмкіндіктер тудырады деген тұжырым жасады [12].

SMART бағдарламасын құрған ғалымдар Мэй Р.Дж., Тиндалл И.Г. еңбектерінде балалардың ойлау қабілетін дамытуда, дәстүрлі тәсілдер (шахмат, музыка, ойындар, есте сақтау жаттығулары) айтарлықтай әсер етпейді, тек белгілі бір салада дамуына мүмкіндік береді, мысалы: есте сақтауды сәл жақсартқанымен, жалпы интеллектке әсері дәлелденбеген деген пікірді ұстанады. Бұл бағдарлама баланы тек ойдан шығарылған сөздер арқылы логикалық байланыстар құруға үйретеді, бірақ дағдылардан кейін математика, тіл және басқа ғылымдарда қолдануға болатындығын көрсетті [13].

Масуми Д., Норузи О. еңбек жолын мұғалім бастағандар (*Early Career Teachers*) және Кәсіби цифрлық құзыреттілікті (*Professional Digital Competence*) дамыту процесін ынталандыратын факторлары мен стратегиясын жасады. Зерттеу нәтижелері еңбек жолын жаңа бастаған мұғалімдердің цифрлық құзыреттіліктерін дамытуда «ұстаздармен тәжірибе алмасу», «педагогикалық және техникалық қолдау», «мотивация мен даму» сияқты маңызды мәселелерді қарап, цифрлық технологияларды тиімді пайдалану мақсатында кәсіби қолдау көрсету стратегияларын жетілдірудің қажеттілігін дәлелдеді. Еңбек жолын жаңа бастаған мұғалімдердің цифрлық құзыреттіліктерін дамытуға цифрлық дағдылар, тәжірибелі әріптестермен тәжірибе алмасу, техникалық қолдау, кәсіби даму курстары мен мотивациялар, негізгі факторлар ретінде әсер етеді. Қолданылатын техникалық, педагогикалық, мотивациялық және ресурстық қолдау стратегиялары мұғалімдердің цифрлық құзыреттіліктерінің сапасын одан әрі жақсартады [14].

Ш.Т. Шекербекова, Ж.Б. Бақытбекова еңбегінде информатика мұғалімінің цифрлық құзыреттілікті дамыту, мұғалімдердің педагогикалық қабілеттерін жетілдіру, оқушылардың білім сапасын арттыруға және білім беру жүйесінің жаңаруына әсер етуі тиіс екендігін көрсетті. Компьютерлік техниканы меңгерумен шектелмей, цифрлық құралдар мен ресурстарды тиімді пайдалану арқылы оқу процесін жетілдіруге болатындығын көрсетті. Цифрлық құзыреттілік мұғалімге оқу процесін тиімді ұйымдастыруға, оқу ақпаратын визуализациялау арқылы оқушылардың цифрлық сауаттылығын дамытуға және оларды жаңа жағдайларға бейімдейтіні анықталды. Цифрлық трансформация, бұл құзыреттілікті дамытудың, педагогикалық шеберліктің басты өлшемі. Сапалы білім беруді қамтамасыз ету, цифрлық қоғамға бейім ұрпақ тәрбиелеу, басты міндеттердің бірі болатындығын

анықтады [15]. Халықаралық студенттердің бағалау бағдарламасы (Programme for International Student Assessment) PISA мен Халықаралық оқу сауаттылығының даму зерттеуі (Progress in International Reading Literacy Study) PIRLS – білім берудің сапасын халықаралық деңгейде бағалайтын оқу сауаттылығының зерттеген ғалымдар И.Т. Салгожа және А.Б. Касекеева еңбегінде, оқушылардың функционалдық сауаттылығын дамыту – тек оқу мен жазуды меңгеру ғана емес, алынған білімді күнделікті өмірде қолдану, ақпаратты талдау, сыни ойлау және өмір бойы білім алуға дайын болу қабілеттерін қалыптастыруды көздейді. Мұғалімдердің, әсіресе информатика пәні мұғалімдерінің кәсіби дайындығы бұл үдерісте үлкен рөл атқарады. Қиындықтарды еңсерудің тиімді жолдары ретінде құзыреттілікке негізделген тәсілді енгізу, практикалық тапсырмалар мен жобаларды пайдалану, педагогтардың кәсіби өсуін үздіксіз қолдауын және болашақ мұғалімдердің функционалдық сауаттылығының қалыптастырады. Дарынды оқушының білім сапасының жақсаруына және сол бағыттағы жұмыстардың жүйелі ұйымдастыруына, қоғамның интеллектуалдық әлеуетін арттыруға ықпалды екенін көрсетті [16].

Қазіргі білім беру кеңістігінде тұлғаның бойындағы дарындылығын анықтау, әлеуетін толық ашу маңызды ғылыми-практикалық бағыттардың бірі. Информатика саласы қарқынды дамуда, бұл үрдіс цифрлық ортада оқушының шығармашылық және логикалық ойлау қабілеттерін диагностикалаумен тығыз байланысты. Информатика мұғалімдерінің кәсіби құзіреттілігі – дарынды оқушыларды дер кезінде анықтап, олардың қабілеттерін дамытуға мүмкіндік беретін шешуші фактор. Оқушылардың болашақта ақпараттық қоғамда табысты қызмет етуіне, инновациялық ойлауына және өз бетінше білім алуға қабілетті тұлғаның қалыптасуына ықпал етеді.

Зерттеу нәтижелері

Зерттеу барысында шетелдік және отандық ғалымдардың еңбектерінде дарындылықты анықтау мен дамыту әдістерінің әртүрлі аспектілері жан-жақты қарастырылғаны анықталды. Бұл ғылыми зерттеулердің басым бөлігі дарындылықты жалпы педагогикалық тұрғыдан сипаттайды, алайда информатика пәні мұғалімдерінің кәсіби трансформациясын арнайы жүйелі түрде талдаған еңбектер әлі де зерттеулерді қажет етеді. Осы зерттеу жұмысында дарындылықты анықтау мақсатында информатика пәні мұғалімдерінің кәсіби трансформациясы мәселелеріне басымдылық берілді. Білім беру жүйесінде ғалымдардың дарындылықты анықтау және дамытуға бағытталған еңбектерін тиімді қолдануға болады. Талдау жасалған ғылыми дерек көздер зерттеу тақырыбының теориялық және практикалық негізін нығайтып, дарынды оқушылармен жұмыс жүргізудің тиімді жолдарын анықтайды. Біз дарындылықты анықтау, дамыту, олардың ата аналарымен кешенді жұмыс жүргізуде мұғалімдердің атқаратын ролі мен қызметіне аса басымдылық беру қажет деп санаймыз. Мұғалімдердің кәсіби трансформацияға бейімділігі мен ашықтығы дарынды оқушылардың қабілеттерін дамытуда маңызды болып саналады. Бұл процесс педагогтардың жаңа әдістерді меңгеріп, оқыту сапасын арттыруға және оқушылардың ынтасын көтеруге мүмкіндік береді. Осы ғылыми мақалада шолу жасалған еңбектерді зерттеу нәтижелері мен жасалған тұжырымдарға қарай үш бағытқа топтастырдық (Кесте1).

Талданған ғылыми еңбектер бойынша бірнеше ортақ тұжырым жасауға болады: Дарындылық – кешенді құбылыс. Ол когнитивтік қабілеттермен ғана емес, шығармашылық, мотивация, эмоционалдық интеллект және әлеуметтік контекст арқылы анықталады.

Зерттеу барысында сараланғандай ұсынылатын «Зияткерлік дарын өзегі» ұғымы информатика мұғалімдерінің кәсіби трансформациясы үшін жаңа әдіснамалық бағдар бола алады. Бұл ұғым оқушының эмоциялық, әлеуметтік және цифрлық қабілеттерінің тоғысуын көрсетіп, мұғалім мен оқушы арасындағы шығармашылық серіктестік ролін күшейтеді.

Мұғалімдердің кәсіби трансформациясы тек педагогикалық әдіс-тәсілдерді игерумен шектелмей, цифрлық технологиялармен ұштасуы, дарынды оқушылардың қабілеттерін толық ашуға мүмкіндік беретін жаңа тәсілдерді тиімді пайдалану.

Кесте1. Ғылыми зерттеулердің бағыттары

№	Зерттеу бағыты	Ғалымдар мен еңбектер	Негізгі мазмұны
1	Дарындылықты анықтау және диагностикалау әдістері	Карнехо-Араия К.А (2021), Рамазан Эрийлмаз (2024), Дж. Лиззулли (2021), Рензулли (2021, SRBCSS-R), Крисел (2023), Panning for Gold, Хорн К.В. (2015, Young Scholars моделі)	Заманауи онлайн-диагностика, деректерді талдау, мінез-құлық шкалалары, бақылау формалары, мәдени және тілдік әркелкілікті ескеретін әдістер арқылы дарынды оқушыларды кешенді анықтау.
2	Дарынды балаларды дамыту және қолдау стратегиялары	Ренати & Бонфильо (2022), Дж. Пийрто (2021), Рена Суботник және әріптестері (2023, TDMM), Стернберг (2021), Делисл (2021), Мэй & Тиндалл (2022)	Дарынды балалардың әлеуметтік-эмоциялық қолдауын күшейту, ата-аналар мен мұғалімдерге арналған стратегиялар, мотивация мен психологиялық қолдау, талантты дамыту мегамоделі, жаңа оқыту бағдарламалары (SMART).
3	Цифрлық құзыреттілік және функционалдық сауаттылық	Масуми & Норузи (2025), Шекербекова & Бақытбекова (2023), Салгожа & Касекеева (2022)	Мұғалімдердің кәсіби цифрлық құзыреттіліктерін дамыту, цифрлық трансформация жағдайында оқушылардың функционалдық сауаттылығын арттыру, халықаралық зерттеулерге (PISA, PIRLS) бейімделу.

Информатика мұғалімдерінің кәсіби бейімделуі дарынды оқушылардың әлеуетін дамытудағы негізгі фактор болып табылады. Жүйелі қолдау, инновациялық әдістерді енгізу және цифрлық этиканы сақтау – білім беру процесінің жаңа сапалық деңгейін қамтамасыз ететін басты шарттары болуы қажеттілігі туындалып, олардан екі негізгі тенденция айқындалды:

1. Теориялық зерттеулер – дарындылықтың психологиялық-педагогикалық негіздерін айқындауға бағытталған.

2. Практикалық зерттеулер – оқушылардың қабілеттерін дамытуға арналған әдістемелер мен технологиялық құралдарды сынақтан өткізуге негізделген.

Осыған байланысты информатика мұғалімдерінің кәсіби бейімделуінің жаңа моделі ұсынылады. Бұл модель бес өзекті компоненттен тұрады:

а) «Диагностикалық» – оқушының қабілетін, танымдық стилін, әлеуетін заманауи әдістермен (цифрлық тест, big data, нейробақылау) анықтау.

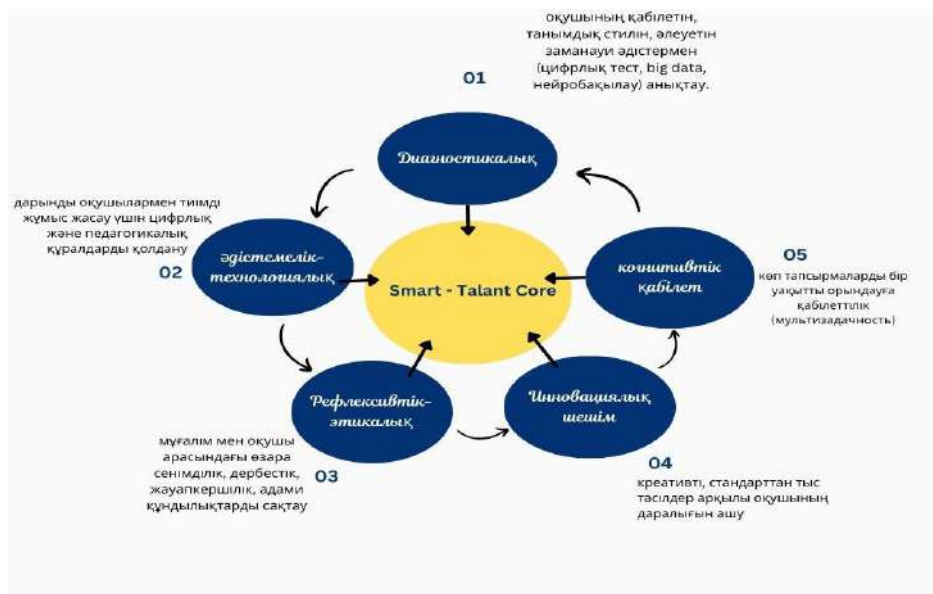
б) «Әдістемелік-технологиялық» – дарынды оқушылармен тиімді жұмыс жасау үшін цифрлық және педагогикалық құралдарды (онлайн платформалар, жасанды интеллект, адаптивті оқыту жүйелері) қолдану.

с) «Рефлексивтік-этикалық» – мұғалім мен оқушы арасындағы өзара сенімділік, дербестік, жауапкершілік, адами құндылықтарды сақтау.

д) «Инновациялық шешім» – креативті, стандарттан тыс тәсілдер арқылы оқушының даралығын ашу (мысалы, STEAM-жобалар, стартап-курстар, хакатон форматындағы оқыту).

е) когнитивтік қабілет – көп тапсырмаларды бір уақытты орындауға қабілеттілік.

Оқушылардың қабілеттілігін зерттеуге бағытталған әдістемелік-технологиялық, рефлексивтік-этикалық және инновациялық шешім аспектілері қамтылып, когнитивтік қабілеттілікті, атап айтқанда “көп тапсырмалықты” дамытуға үлкен мән беріледі. Осындай жүйелі тәсіл оқушылардың ерекше дарындылығын ашып, қазіргі білім беру технологиялар мен адами құндылықтарды үйлестіру арқылы білім сапасын арттыруға ықпалын етуге бағытталған модель құрылды (Сурет 2).



Сурет 2. «Зияткерлік дарын өзегі» моделі

Мұндағы “Core” – «өзек, түйін, негіз» деген мағынада қолданылған. “Smart” – тек “ақылды” дегеннен гөрі, «технологиялық, зияткерлік, цифрлық тұрғыдан икемді» деген кең мағынада қарастырылады. Smart-Talent Core моделінің ұғымына сипаттама: Smart-Talent Core – бұл қазіргі цифрлық трансформация жағдайында дарынды балаларды анықтау, дамыту және қолдау жүйесінің бес маңызды компоненті (диагностика, әдістемелік технология, рефлексия-этика, когнитивтік қабілет және инновация) тоғысатын «Зияткерлік дарын өзегі», мұғалімдердің кәсіби бейімделуінің жаңа моделі. Мақалада ғылыми еңбектерді талдау негізінде келесі тұжырым жасалды: дарынды оқушыларды анықтау, қолдау және дамыту үшін, информатика пәнінің мұғалімдері кәсіби трансформациясы аса маңызды шарттардың бірі. Педагогикалық процестің жаңа сапалық деңгейі кешенді түрде мұғалімдердің құзыреттілік деңгейін дамыту бағытында жүйелі жұмыс жасауды қамтамасыз етеді.

Дискуссия

Бұл зерттеу жұмысы білім беру жүйесіндегі дарындылықты анықтау мен дамытудың жаңа әдістері мен технологияларының маңыздылығын айқындап, қазіргі білім беру процесін цифрлық дәуірге бейімдеудің қажеттілігін көрсетеді. Дарындылықты анықтаудың тиімді әдістерін іздестіру, білім беру ұйымдарының қазіргі күндегі ең басты міндеттерінің бірі болып табылады.

Зерттеуде дарындылықты анықтау мен дамытуға арналған бірқатар жаңа әдістер ұсынылды. Бірақ бұл үрдіс тек цифрлық құралдармен шектелмей, дарындылықты анықтаудың көпдеңгейлі тәсілдерін қолдануды да қамтуы керек. Мысалы, психологиялық диагностика, шығармашылық және логикалық ойлау дағдыларын бағалау, сондай-ақ әлеуметтік және эмоционалды интеллект деңгейін анықтау сияқты қосымша әдістердің интеграциясы дарынды балаларды тиімді анықтауға мүмкіндік береді.

Зерттеу барысында анықталған үш негізгі бағыт – диагностика, қолдау стратегиялары және цифрлық құзыреттілік – білім беру жүйесінің дарындылықты дамытуға бағытталған жаңа тәсілдерін қалыптастыруға мүмкіндік береді. Әсіресе, «Smart-Talent Core» моделі, яғни дарындылықты цифрлық ортада анықтау және дамытуға арналған арнайы жүйе, педагогтардың жұмысын жеңілдетіп қана қоймай, балалардың потенциалын дәл әрі тиімді бағалауға мүмкіндік береді.

Диагностика бағытында қазіргі әдістер мен технологиялар балалардың қабілеттерін ерте кезеңде анықтап, олардың жеке ерекшеліктерін ескере отырып, оқыту әдістерін құруды

жеңілдетеді. Сонымен қатар, қолдау стратегияларының өзектілігі артады, себебі дарынды балаларға арналған арнайы оқыту бағдарламалары мен ресурстарды анықтау өте маңызды.

Цифрлық құзыреттілік – бұл заман талабына сай педагогтардың жаңа білім беру платформаларын меңгеру және балалардың заманауи технологиялармен жұмыс істеу дағдыларын дамыту үшін маңызды шарт болып табылады.

Сонымен қатар, бұл модельдің енгізілуі білім беру процесін цифрлық трансформациялау мен интеллектуалды білім беру ортасын қалыптастыруға мүмкіндік береді. Мұның өзі педагогикалық процесстің тиімділігін арттырып, педагогтар мен оқушылар арасындағы өзара әрекетті нығайтады. Дегенмен, зерттеудің нәтижелерін тәжірибеде қолдану үшін бірнеше қиындықтар болуы мүмкін. Мысалы, цифрлық технологияларды толықтай енгізу үшін мектептер мен оқу орындарында қажетті инфрақұрылым мен ресурстарды қамтамасыз ету керек. Сонымен бірге, педагогтар үшін жаңа әдіс-тәсілдер мен технологияларды меңгеру үлкен дайындықты талап етеді. Екінші жағынан, бұл әдістердің нәтижелілігі білім беру ұйымдарындағы педагогикалық мәдениеттің деңгейіне, инновацияларға деген дайындыққа және педагогтардың кәсіби даму мүмкіндіктеріне байланысты болады.

Жалпы, бұл зерттеу білім беру жүйесінде дарындылықты анықтау мен дамытуға қатысты көптеген маңызды мәселелерді қозғайды және жаңа тәсілдер мен технологиялардың енгізілуіне бағытталған маңызды қадам болып табылады.

Қорытынды

Қортындылай келе, жаңа білім беру парадигмасы дарынды оқушыларды қолдау ісінде информатика мұғалімдерін кәсіби тұрғыдан қайта бейімдеуді қажет етеді және бұл процесс тек техникалық шешімдермен шектелмейді, әлеуметтік, мәдени және психологиялық аспектілерді де қамтиды. Бейімделу тек технологиялар мен құралдарды қолдану емес, адамдардың жаңа ортаға, жаңа жағдайларға икемделуін, дағдыларын дамытуын және өзгерістерге оңтайлы жауап беруін талап етеді. Білім сапасын көтеруде педагогикалық инноваторлықты, цифрлық этиканы және болашаққа бағдарланған ғылыми ойлауды дамыту басты міндет. Көптеген диагностикалық әдістемелер, цифрлық бағалау құралдарына негізделген талдау жүйелері оқушылардың танымдық, шығармашылық және тұлғалық әлеуетін жан жақты айқындауға мүмкіндік береді. Бұл тәсілдер арқылы әрбір оқушының жеке қабілеті мен ерекшелігін ерте жастан анықтап оларға дер кезінде бойындағы қабілетін анықтап даралығын уақытылы пайдалануға мүмкіндік береді.

Заманауи диагностика тек академиялық қабілеттерді ғана емес, сонымен бірге эмоционалдық және әлеуметтік дағдыларды да бағалайды. Педагогтар оқушыға ыңғайлы оқыту әдістерін тандап, жеке білім беру траекторияларын құрады. Мұндай әдістер балалардың оқуға ынтасын күшейтіп, өзіне деген сенімін арттырады және шығармашылық қабілеттерінің дамуына ықпал етеді. Ғылыми негізделген жаңа тәсілдерді білім беру жүйесіне енгізу болашақта сыни ойлайтын, инновациялық идеяларды жүзеге асыра алатын және қоғамға пайдасын тигізетін шығармашылық тұлғаларды қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Жүргізілген шолу негізінде информатика мұғалімдерінің кәсіби трансформациясы – дарынды оқушыларды қолдаудың маңызды тетігі екені анықталды. Ғылыми еңбектерде бұл процесс цифрлық құзыреттілік, педагогикалық инновациялар және оқытудағы икемділікпен байланыстырылады. Мұғалімнің кәсіби трансформациясын жүзеге асыруға бағытталған «Зияткерлік дарын өзегі» моделі құрылды. Болашақ зерттеулерде ұлттық деңгейде трансформациялық модельдер жасау және практикалық тәжірибелер жинақталады.

Цифрлық білім беру құралдарының енгізілуі, педагогтар мен оқушылардың өзара әрекеті, сондай-ақ дарындылықты анықтаудағы жаңа модельдер білім беру жүйесін жаңа деңгейге көтеруге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл зерттеу білім беру процесін цифрлық трансформациялау мен интеллектуалды білім беру ортасын қалыптастыруда маңызды қадам болып табылады.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

- [1] ҚР нормативтік-құқықтық актілерінің ақпараттық-құқықтық жүйесі [Электрондық ресурс]. <https://adilet.zan.kz/>
- [2] Cornejo-Araya C. A., Gómez-Araya C. A., Muñoz-Huerta Y. P., Reyes-Vergara C. P. What do we know about giftedness and underachievement? A bibliometric analysis // *International Journal of Research in Education and Science*. – 2021. – Vol. 7, № 2. – P. 400–411. – <https://doi.org/10.46328/ijres.1481>
- [3] Eryilmaz R. Sustainable Learning in Gifted Students: The Relationship Between Cultural Capital and Lifelong Learning // *Sustainability*. – 2024. – Vol. 16, № 23. – Article 10702. <https://doi.org/10.3390/su162310702>
- [4] Renzulli J. S. The three-ring conception of giftedness: A developmental model for promoting creative productivity // *Reflections on gifted education*. – Routledge, 2021. – P. 55–90. <https://doi.org/10.4324/9781003237693>
- [5] Renati R., Bonfiglio N. S., Dilda M., Mascia M. L., Penna M. P. Gifted Children through the Eyes of Their Parents // *Children*. – 2023. – Vol. 10, № 1. – Article 42. – <https://doi.org/10.3390/children10010042>
- [6] Piirto J. Talented children and adults: Their development and education. – Routledge, 2021. <https://doi.org/10.4324/9781003238485>
- [7] Renzulli J. Scales for rating the behavioral characteristics of superior students: Technical and administration manual. – Routledge, 2021. <https://doi.org/10.4324/9781003237808>
- [8] Subotnik R. F. et al. Transforming gifted education in schools: Practical applications // *Education Sciences*. – 2023. – Vol. 13, № 7. – P. 707. <https://doi.org/10.3390/educsci13070707>
- [9] Krisel S. Characteristics of gifted children as a guide to identification // *Identification*. – Routledge, 2023. – P. 75–97. <https://doi.org/10.4324/9781003419419>
- [10] Sternberg R. J., Chowkase A., Desmet O., Karami S., Landy J., Lu J. Beyond Transformational Giftedness // *Education Sciences*. – 2021. – Vol. 11, № 5. – P. 192. DOI:10.3390/educsci11050192.
- [11] Horn C. V. Young scholars: A talent development model // *Gifted Child Today*. – 2015. – Vol. 38, № 1. – P. 19–31. <https://doi.org/10.1177/10762175145565>
- [12] Delisle J. Parenting Gifted Kids: Tips for Raising Happy and Successful Children. – 1st ed. – Routledge, 2006. <https://doi.org/10.4324/9781003237037>
- [13] May R. J. et al. The impact of the SMART program // *British Journal of Educational Technology*. – 2022. – Vol. 53, № 5. – P. 1244–1261. <https://doi.org/10.1111/bjet.13192>
- [14] Masoumi D., Noroozi O. Developing early career teachers' professional digital competence // *European Journal of Teacher Education*. – 2023. – Vol. 48, № 3. – P. 644–666. <https://doi.org/10.1080/02619768.2023.2229006>
- [15] Шекербекова Ш.Т., Бакытбекова Ж.Б. Цифрлық құзыреттілік информатика мұғалімінің кәсіби дағдыларының бірі ретінде // *Вестник КазНПУ имени Абая. Серия физико-математических наук*. – 2023. – Т. 84, № 4. – С. 321–331. <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2023.84.4.032>
- [16] Салғожа И. Т., Кассекеева А. Б. Болашақ информатика мұғалімдерінің оқушылардың функционалдық сауаттылықтарын қалыптастыруға дайындығы // *Вестник КазНПУ имени Абая. Серия физико-математических наук*. – 2022. – Т. 80, № 4. – С. 259–268. <https://doi.org/10.51889/7193.2022.34.91.030>

References

- [1] KR normativтік-quyqytyq aktileriniñ aqparattyq-quyqytyq zhuiesi (2002) [Information and legal system of normative legal acts of the Republic of Kazakhstan]. Elektronnyi resurs. Rezhim dostupa: <https://adilet.zan.kz/> (In Kazakh)
- [2] Cornejo-Araya C.A., Gómez-Araya C.A., Muñoz-Huerta Y.P., Reyes-Vergara C.P. (2021) What do we know about giftedness and underachievement? A bibliometric analysis // *International Journal of Research in Education and Science*, Vol. 7, No. 2, 400–411. <https://doi.org/10.46328/ijres.1481>
- [3] Eryilmaz R. (2024) Sustainable Learning in Gifted Students: The Relationship Between Cultural Capital and Lifelong Learning // *Sustainability*, Vol. 16, No. 23, Article 10702. <https://doi.org/10.3390/su162310702>
- [4] Renzulli J.S. (2021) The three-ring conception of giftedness: A developmental model for promoting creative productivity // *Reflections on Gifted Education*. Routledge, 55–90. <https://doi.org/10.4324/9781003237693>

- [5] Renati R., Bonfiglio N.S., Dilda M., Mascia M.L., Penna M.P. (2023) *Gifted Children through the Eyes of Their Parents* // *Children*, Vol. 10, No. 1, Article 42. <https://doi.org/10.3390/children10010042>
- [6] Piirto J. (2021) *Talented Children and Adults: Their Development and Education*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003238485>
- [7] Renzulli J.S. (2021) *Scales for Rating the Behavioral Characteristics of Superior Students: Technical and Administration Manual*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003237808>
- [8] Subotnik R.F. et al. (2023) *Transforming Gifted Education in Schools: Practical Applications* // *Education Sciences*, Vol. 13, No. 7, 707. <https://doi.org/10.3390/educsci13070707>
- [9] Krisel S. (2023) *Characteristics of Gifted Children as a Guide to Identification*. // *Identification*. Routledge, 75–97. <https://doi.org/10.4324/9781003419419>
- [10] Sternberg R.J., Chowkase A., Desmet O., Karami S., Landy J., Lu J. (2021) *Beyond Transformational Giftedness* // *Education Sciences*, Vol. 11, No. 5, 192. <https://doi.org/10.3390/educsci11050192>
- [11] Horn C.V. (2015) *Young Scholars: A Talent Development Model* // *Gifted Child Today*, Vol. 38, No. 1, 19–31. <https://doi.org/10.1177/10762175145565>
- [12] Delisle J. (2006) *Parenting Gifted Kids: Tips for Raising Happy and Successful Children*. 1st ed. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003237037>
- [13] May R.J. et al. (2022) *The Impact of the SMART Program* // *British Journal of Educational Technology*, Vol. 53, No. 5, 1244–1261. <https://doi.org/10.1111/bjet.13192>
- [14] Masoumi D., Noroozi O. (2023) *Developing Early Career Teachers' Professional Digital Competence* // *European Journal of Teacher Education*, Vol. 48, No. 3, 644–666. <https://doi.org/10.1080/02619768.2023.2229006>
- [15] Shekerbekova S.T., Bakytbekova Z.B. (2023) *Цифрлық кұзыреттік информатика мұғалімінің кәсіби дағдыларыннн бiрi ретінде. [Digital competence as one of the professional skills of a computer science teacher]. Vestnik KazNPU imeni Abaia. Seriiia fiziko-matematicheskikh nauk*, Vol. 84, No. 4, 321–331. (In Russian) <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2023.84.4.032>
- [16] Salgozha I.T., Kassekeeva A.B. (2022) *Bolashaq informatika muğalimderinin oqushylardyn funksionaldyq sauattylyqtaryn qalyptastyrugа дайындығы. [Readiness of future computer science teachers to form students' functional literacy]. Vestnik KazNPU imeni Abaia. Seriiia fiziko-matematicheskikh nauk*, Vol. 80, No. 4, 259–268. (In Kazakh) <https://doi.org/10.51889/7193.2022.34.91.030>

Н.Т. Ошанова^{1*} , Г.Б. Камалова¹ , Ш.И. Хамраев¹ , Е.Ж. Теңізбаев² 

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Орталық Азия Инновациялық университеті, Шымкент қ., Қазақстан

*e-mail: n.oshanova@abaiuniversity.edu.kz

ІТ БАҒЫТЫНДАҒЫ МИКРОБІЛІКТІЛІКТЕРДІ ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ОНЫ ПЕДАГОГ МАМАНДАРДЫ ДАЯРЛАУДА ЕНГІЗУ

Аңдатпа

Қазіргі білім беру кеңістігінде микробіліктіліктер студенттердің икемді дағдыларын дамытуға, кәсіби құзыреттерін арттыруға және оларды еңбек нарығының тез өзгеретін талаптарына бейімдеуге мүмкіндік беретін тиімді құрал ретінде танылуда. Дегенмен, болашақ педагог кадрларға ІТ бағытындағы микробіліктіліктерді әзірлеу және енгізу жұмысы әлі толық жүйеленбеген. Қолданыстағы зерттеулер негізінен техникалық мамандықтарға бағытталғандықтан, педагогтардың цифрлық құзыреттерін қалыптастыру ерекшеліктері жеткілікті деңгейде қарастырылмаған. Сонымен қатар, жаңа мамандықтар Атласы негізінде білім беру бағдарламаларын қайта құрылымдау және халықаралық тәжірибені педагогикалық контексте бейімдеу бойынша нақты практикалық ұсыныстар аз. Осыған байланысты педагог кадрларға арналған ІТ-микробіліктіліктерді әзірлеу мен енгізу білім беру сапасын арттыруға, цифрлық ресурстарға тең қолжетімділікті қамтамасыз етуге, білім беру процесін жаңғыртуға және еңбек нарығында бәсекеге қабілетті педагог мамандар даярлауға бағытталған маңызды және өзекті қадам болып табылады.

Түйін сөздер: микробіліктілік, ІТ, педагогикалық ЖОО, білім беру бағдарламасы, еңбек нарығы, жаңа мамандықтар атласы, цифрлық құзыреттер, инновация, цифрлық технология.

Н.Т.Ошанова^{1*}, Г.Б. Камалова¹, Ш.И. Хамраев¹, Е.Ж. Тенизбаев²

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

²Центрально Азиатский Инновационный университет, г. Шымкент, Казахстан

РАЗРАБОТКА ІТ-МИКРОКВАЛИФИКАЦИЙ И ИХ ВНЕДРЕНИЕ В ПОДГОТОВКУ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ

Аннотация

В современном образовательном пространстве микроквалификации рассматриваются как эффективный инструмент для развития гибких навыков студентов, повышения их профессиональных компетенций и адаптации к быстро меняющимся требованиям рынка труда. Однако разработка и внедрение ІТ-микроквалификаций для будущих педагогов пока не полностью систематизированы. Существующие исследования в основном сосредоточены на технических направлениях, поэтому особенности формирования цифровых компетенций педагогов рассматриваются недостаточно полно. Кроме того, практических рекомендаций по переработке образовательных программ на основе Атласа новых профессий и адаптации международного опыта к педагогическому контексту пока мало. В связи с этим разработка и внедрение ІТ-микроквалификаций для педагогических кадров является важным и актуальным шагом, направленным на повышение качества образования, обеспечение равного доступа к цифровым ресурсам, модернизацию образовательного процесса и подготовку конкурентоспособных педагогов на рынке труда.

Ключевые слова: микроквалификация, ІТ, педагогические вузы, образовательная программа, рынок труда, Атлас новых профессий, цифровые компетенции, инновации, цифровые технологии

N.T. Oshanova^{1*}, G.B. Kamalova¹, Sh.I. Khamrayev¹, Y.Zh. Tenizbayev²

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

²Central Asian Innovative university, Shymkent, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF IT MICRO-QUALIFICATIONS AND THEIR INTEGRATION INTO THE TRAINING OF TEACHING PERSONNEL

Abstract

In the modern educational landscape, micro-competencies are recognized as an effective tool for developing students' flexible skills, enhancing their professional competencies, and adapting them to the rapidly changing demands of the labor market. However, the development and implementation of IT micro-competencies for future educators remain insufficiently systematized. Existing research is primarily focused on technical fields, so the specifics of developing digital competencies for educators are not adequately addressed. Moreover, there are few practical recommendations for restructuring educational programs based on the Atlas of Emerging Professions and adapting international experience to the pedagogical context. Therefore, developing and implementing IT micro-competencies for pedagogical personnel represents an important and timely step aimed at improving education quality, ensuring equitable access to digital resources, modernizing the educational process, and preparing competitive educators for the labor market.

Keywords: micro-credentials, IT, pedagogical universities, educational program, labor market, Atlas of New Professions, digital competences, innovation, digital technologies

Кіріспе

Негізгі ережелер

ІТ бағытындағы микробіліктіліктерді білім беру жүйесіне енгізу – педагогикалық жоғары оқу орындары студенттерінің цифрлық құзыреттерін дамытуға және еңбек нарығы талаптарына бейімделген мамандарды даярлауға мүмкіндік беретін маңызды қадам. Зерттеу барысында Жаңа мамандықтар атласындағы ІТ бағыттарына талдау жасалып, олардың педагогикалық білім беру бағдарламаларына интеграциялану мүмкіндіктері айқындалды. Нәтижесінде микробіліктіліктердің модульдік құрылымы әзірленіп, кәсіби тәжірибемен ұштастыру жолдары көрсетілді. Алайда, мұндай курстарды енгізу оқытушылардың жаңа технологияларды меңгеруін, оқу жоспарларын қайта бейімдеуді және оқу-әдістемелік базаны жаңғыртуды талап етеді. Сонымен қатар, еңбек нарығымен және стейкхолдерлермен жүйелі ынтымақтастық орнату қажеттілігі туындайды. Бұл мәселелерді кешенді шешу білім беру сапасын арттыруға, студенттердің кәсіби бейімделуін жеделдетуге және заманауи педагог-мамандардың бәсекеге қабілеттілігін арттыруға ықпал етеді.

Қазіргі цифрлық дәуірде білім беру жүйесіне қойылатын талаптар түбегейлі өзгеруде. Білім алушыларға тек теориялық білім беру жеткіліксіз, оларды нақты еңбек нарығы талаптарына сай икемді әрі бейімді етіп даярлау қажет. Цифрлық трансформация мен еңбек нарығының тез өзгеруі аясында білім беру жүйесі жаңа форма мен мазмұнға көше бастады. Осыған байланысты қысқа мерзімді, нақты дағдыға бағытталған микробіліктіліктер (micro-credentials) халықаралық деңгейде кеңінен таралуда.

Микробіліктілік ұғымы әртүрлі көздерде түрліше сипатталады. Дегенмен, оларды жалпы түрде белгілі бір нақты құзыреттілікке, дағдыға немесе білімге бағытталған, қысқа мерзімді оқу нәтижесін білдіретін сертификат немесе куәлік ретінде түсіндіруге болады. Олар көбінесе дәстүрлі академиялық дәреже беретін бағдарламалардан тыс жүзеге асырылады, бірақ олармен толықтырылуы немесе олармен интеграциялануы мүмкін.

Микробіліктіліктердің басты ерекшеліктеріне мыналар жатады:

- Икемділік – олар онлайн, офлайн немесе аралас форматта өтуі мүмкін;
- Қысқамерзімділік – әдетте бірнеше аптадан бірнеше айға дейінгі аралықта жүзеге асырылады;
- Дағдыға бағытталуы – нақты жұмыс орнындағы немесе кәсіби саладағы дағдыны дамытуға бағытталған;
- Куәландыру – аяқтағаннан кейін белгілі бір стандартқа сай расталған куәлік беріледі.

Кейбір жүйелерде микробіліктіліктер жинақталатын сипатқа ие (stackable), яғни оларды қосып отырып, кейінірек үлкен көлемдегі сертификаттарға немесе тіпті академиялық дәреже алу жолына біріктіруге болады [1]. Бұл тәсіл өмір бойы оқуды икемді және үздіксіз етуге мүмкіндік береді.

Микробіліктіліктер жоғары білім беру жүйесіне бірқатар маңызды артықшылықтар әкеледі. Микробіліктіліктер жеке тұлғалардың өз уақыты мен мүмкіндігіне қарай оқып, жаңа білім мен дағдыны меңгеруіне жағдай жасайды. Білім алушылар өзіне қажетті дағдыны ғана таңдап оқи алады. Бұл жүйе әсіресе жұмыс істейтін ересектер мен кәсіби салада бағыт өзгертуге ниетті адамдар үшін тиімді. Микробіліктілік белгілі бір кәсіби дағдыны иеленгенін куәландырады. Бұл жұмыс берушілерге нақты маманның не білетінін жылдам түсінуге мүмкіндік береді. Еңбек нарығында дағдыларға негізделген іріктеу процесі қалыптасқан сайын, микробіліктіліктердің мәні арта түсуде. Бұл жүйе түрлі әлеуметтік топтарға – оның ішінде дәстүрлі университетке бара алмаған немесе тоқтатып қойған адамдарға – білім алу мүмкіндігін ашады. Сонымен қатар, бұл ауылдық аймақ тұрғындары мен мүмкіндігі шектеулі азаматтарға да қолжетімді бола алады. Микробіліктіліктер жоғары оқу орындары үшін инновация көзі деп айтуға болады. Себебі, Университеттер микробіліктілік арқылы білім беру бағдарламаларын жаңарта алады. Бұл оларға нарыққа бейімделуге, жаңа серіктестер тартуға және өмір бойы оқытуды жүзеге асыруға көмектеседі [2].

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD, Экономикалық ынтымақтастық және даму ұйымы) 2023 жылғы есебі бұл трендтің мәні мен әсерін жан-жақты зерттеп, білім беру саясатына, еңбек нарығына және әлеуметтік инклюзияға байланысты ұсынымдар береді [3]. Микробіліктілік дәстүрлі дипломға қарағанда икемдірек, қолжетімді және жұмыс берушілермен тікелей байланысты бола алады. Ол қысқа мерзімді курстар, сертификаттар, модульдер түрінде жүзеге асады және көбіне еңбек нарығындағы нақты қажеттіліктерге жауап береді.

OECD микробіліктіліктерді үш негізгі мақсатпен қарастырады:

- Жұмысқа орналасу және еңбек нарығында табысты болу үшін;
- Дипломдық бағдарламаларға өтпелі кезең немесе толықтырушы ретінде;
- Әлеуметтік әділеттілік пен инклюзияны қамтамасыз ету үшін.

OECD мен UNESCO құжаттарында микробіліктіліктер – үздіксіз оқытудың икемді формасы ретінде сипатталады [4]. 2018 жылдан 2022 жылға дейін микробіліктіліктер саны халықаралық білім беру платформаларында (Coursera, edX, FutureLearn және т.б.) 600-ден 1900-ге дейін өскен. Университеттер, EdTech компаниялары және мемлекеттік органдар оларды ресми білім мен еңбек нарығы арасындағы байланыс ретінде көруде.

Педагогикалық университеттер үшін бұл есеп бірнеше маңызды қорытынды ұсынады:

- Ақпараттық технологиялар бағытындағы микробіліктіліктерді әзірлеп, оқу үдерісіне енгізу қажет;
- Бұл курстар «Жаңа кәсіптер атласы» негізінде еңбек нарығының сұранысына сай құрылуы тиіс [5];
- Студенттерге иілмелі, қысқа мерзімді курстар арқылы нақты IT құзыреттерін меңгеруге мүмкіндік беруге болады;
- Кредит беру, трансферт және стэкинг арқылы микробіліктілік нәтижелерін дипломмен байланыстыру қажет.

АҚШ-тағы педагогтарды сертификаттау зерттеу негізіндегі сертификаттар және салалық серіктестіктер арқылы жүзеге асуда [6].

Қазақстанда бұл бағыт жоғары білім беру жүйесінде кең тарала бастады. Олар икемді, қолжетімді және нақты дағдыға бағытталған оқу тәжірибесін ұсына отырып, дәстүрлі білім беру бағдарламаларды толықтыра алады. Бұл формат өмір бойы оқытуды қолдайтын, еңбек нарығына бейімделген және студенттердің дараландырылған оқу жолдарын қалыптастыруға мүмкіндік береді. Назарбаев Университеті, Халықаралық IT университеті және басқа да білім беру ұйымдары микробіліктіліктер бойынша алғашқы тәжірибелерді жүзеге асыруда.

Жаңа мамандықтар атласы еліміздегі болашақ кәсіптерді болжауға, білім беру мазмұнын соған бейімдеуге мүмкіндік береді. Бұл тұрғыда микробіліктіліктер (microcredentials) – білім берудегі жаңа, сұранысқа ие тәсіл ретінде танылуда [7]. Әсіресе, педагогикалық жоғары оқу орындарында оқитын болашақ мұғалімдердің цифрлық және IT құзыреттіліктерін арттыру мақсатында микробіліктіліктер жүйесін әзірлеу маңызды. Микробіліктіліктердің жоғары білім беру жүйесінде орнығып келе жатқаны – білім берудің икемділігіне деген сұраныстың артқанын көрсетеді. Бұл формат дәстүрлі білім беру жүйелерінен бөлек, жеке оқыту жолдарын ұсынып, нақты еңбек нарығына қажетті дағдыларды үйретуге мүмкіндік береді.

Жүргізілген талдаудан бірнеше маңызды аспектіні атап өтуге болады:

1. *Педагогикалық трансформация.* Микробіліктіліктер оқытудың мазмұны мен әдіснамасын өзгертуді талап етеді. Дәстүрлі академиялық бағдарламаға қарағанда, микробіліктілік курстары тәжірибеге және нақты дағдыға бағытталады. Бұл оқытушылардан жаңа цифрлық құралдарды меңгеруді және жұмыс берушілермен тығыз байланыс орнатуды қажет етеді [8].

2. *Білім беру саясаты.* Микробіліктіліктерді кеңінен енгізу үшін ұлттық деңгейде сәйкестендіру, сапа кепілдігі және кредитті тану механизмдері қалыптасуы тиіс. Білім беру саясаты бұл жаңа форматты тек қосымша емес, толыққанды элемент ретінде қарастыруы қажет.

3. *Қолдану салалары.* Микробіліктіліктер тек IT немесе цифрлық салада ғана емес, мұғалімдерді қайта даярлау, денсаулық сақтау, инженерия және басқа да салаларда кеңінен қолданыла алады. Бұл олардың әмбебаптығын көрсетеді [9].

4. *Болашақ мүмкіндіктер.* Университеттер үшін микробіліктіліктер кәсіби даму, өмір бойы оқыту және еңбек нарығымен интеграциялау мақсаттарында жаңа мүмкіндіктер ашады. Алайда бұл үшін институционалдық дайындық пен стратегиялық жоспарлау қажет.

Зерттеу әдіснамасы

Мақалада келесі әдістер қолданылды:

- сараптамалық талдау: ЖОО-дағы оқу жоспарлары мен еңбек нарығы сұраныстарының салыстырмалы талдауы;
- жаңа мамандықтар атласындағы IT бағыттарын зерттеу;
- жобалау әдісі: микробіліктілік модульдерінің құрылымын құрастыру.

Бұл зерттеу педагогикалық жоғары оқу орындары студенттеріне арналған IT бағыты бойынша микробіліктіліктерді әзірлеу және енгізу үдерісін ғылыми негіздеуге бағытталды. Зерттеу барысында сапалық және сандық әдістердің үйлесімі қолданылды:

- Микробіліктіліктер, Minor бағдарламалары, білім беру траекториялары жөніндегі халықаралық тәжірибелер зерделенді. Қазақстан Республикасының білім беру саласындағы стратегиялық құжаттары (ұлттық біліктілік шеңбері, кәсіби стандарттар, жоғары білімнің мемлекеттік стандарты), сондай-ақ жоғары білім сапасын қамтамасыз етудің халықаралық талаптары (EQF, ESG) қарастырылды.

- IT саласына қызығушылығы мен кәсіби қажеттіліктерін анықтау мақсатында студенттермен, жұмыс берушілермен, IT-компания өкілдерімен және ЖОО оқытушыларымен жартылай құрылымданған сұхбаттар ұйымдастырылды. Жиналған деректер негізінде IT бағыты бойынша микробіліктілік модульдерінің құрылымы жобаланды.

Зерттеу нәтижелері

Зерттеу нәтижелері Қазақстандағы еңбек нарығының болашақ даму бағыттарын айқындайтын «Жаңа мамандықтар атласы» жобасының жоғары білім беру жүйесі үшін маңыздылығын көрсетті. Атласта айқындалған IT бағыты бойынша құзыреттер еңбек нарығының сұранысын бейнелеп қана қоймай, педагогикалық жоғары оқу орындарының білім беру бағдарламаларын жаңғыртуға да негіз бола алады.

Біріншіден, педагогикалық ЖОО студенттеріне арналған ІТ бағытындағы микробіліктіліктерді әзірлеу білім беру бағдарламаларының икемділігін арттырады. Бұл студенттердің кәсіби дайындығын еңбек нарығы талаптарына сәйкестендіруге мүмкіндік береді.

Екіншіден, сұхбат нәтижелері көрсеткендей, студенттердің басым бөлігі ІТ саласында қосымша құзыреттер алуға қызығушылық танытады. Жұмыс берушілер де педагогикалық сала мамандарының базалық педагогикалық біліммен қатар заманауи цифрлық құзыреттерді игеруін маңызды деп есептейді.

Үшіншіден, жобалау әдісі негізінде құрастырылған микробіліктілік модульдері студенттерге кәсіби мобильділік пен бәсекеге қабілеттілікті қамтамасыз етуге бағытталған. Бұл модульдер халықаралық тәжірибелерге сүйене отырып жасалғандықтан, оларды болашақта академиялық ұтқырлық бағдарламаларымен үйлестіру де мүмкін.

Дискуссия

Дискуссия барысында айқындалған маңызды мәселе – микробіліктіліктерді енгізу үшін оқу-әдістемелік қамтамасыз етуді жүйелі түрде дамыту қажеттігі. Сондай-ақ, оқытушылардың жаңа курстарды жүргізуге әдістемелік тұрғыдан дайын болуы шешуші фактор болып табылады. Төменде микробіліктіліктерді енгізудің негізгі бағыттарының үлестік арақатынасы көрсетілген (1-сурет).



Сурет 1. ІТ бағытындағы микробіліктіліктерді енгізудің негізгі бағыттары

Берілген диаграмма университеттің білім беру саласындағы стратегиялық басымдықтарын көрсетеді. Бағыттар мен олардың үлесі төмендегідей анықталған.

- *Еңбек нарығы сұранысы* – 25%

Бұл бағыт университеттің кадрларды даярлау стратегиясында ең басты орын алады. Ол қазіргі және болашақ еңбек нарығының талаптарына сәйкес педагогикалық кадрларды даярлауға бағытталған. Зерттеулер көрсеткендей, еңбек нарығындағы өзгерістерге икемділік, заманауи дағдылар мен жаңа технологияларды меңгеру түлектердің бәсекеге қабілеттілігін арттырады.

- *Жаңа технологияларды қолдану (AR/VR, AI)* – 20%

Заманауи педагогикалық процеске виртуалды және қосымша шындық технологиялары, сондай-ақ жасанды интеллект құралдарын енгізу білім сапасын арттыруға және студенттердің мотивациясын жоғарылатуға мүмкіндік береді. Бұл бағыт инновациялық әдістемелерді қолдану арқылы білім беру процесінің тиімділігін арттыруға бағытталған.

- *Цифрлық құзыреттерді дамыту* – 20%

Студенттер мен мұғалімдердің цифрлық дағдыларын дамыту – заманауи білім беру жүйесінің маңызды аспектісі. ЖИ және басқа да ақпараттық технологияларды тиімді қолдану

арқылы оқу процесін жекелендіру, дербестендіру және білім алуды интерактивті ету мүмкіндігі туындайды.

- Оқу жоспарларына интеграция – 20%

Инновациялық технологияларды оқу бағдарламаларына енгізу білім беру сапасын арттырудың негізгі жолдарының бірі болып табылады. Бұл тәсіл пәндік білім мен практикалық дағдыларды біртұтас жүйе ретінде қалыптастыруға мүмкіндік береді.

- Серіктестіктер мен стейкхолдерлер – 15%

Мектептер, білім басқармасы, кәсіпкерлік орта және халықаралық ұйымдармен серіктестік тәжірибе алмасуға, оқу процесін жетілдіруге және стратегиялық қолдау көрсетуге мүмкіндік береді. Бұл бағыт университеттің білім беру экожүйесіндегі интеграциялық және кооперациялық рөлін көрсетеді.

Бағыттар университеттің ішкі стратегиялық жоспарлары, Қазақстан Республикасының білім беру стандарттары мен стратегиялары, сондай-ақ орта білім беру жүйесіндегі мұғалімдер мен әкімшіліктердің қажеттіліктері негізінде анықталды. Диаграмма аналитикалық әдіс қолданылып, деректерді салыстырмалы талдау және пайыздық үлестер арқылы жасалды.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, университеттің білім беру саласындағы стратегиялық басымдықтары еңбек нарығының қажеттіліктерін қанағаттандыруға, инновациялық технологияларды қолдануға, цифрлық құзыреттерді дамытуға және серіктестікті нығайтуға бағытталған. Бұл бағыттар жоғары білімнің сапасын арттыруға және заманауи білім беру талаптарына сәйкес кадрларды даярлауға мүмкіндік береді.

Жаңа мамандықтар атласы мен құзыреттері – Қазақстанның еңбек нарығының болашағын болжайтын ұлттық деңгейдегі жоба. Ол алдағы 5–10 жылға еңбек нарығында сұранысқа ие болатын жаңа мамандықтарды, трансформацияланатын және жойылып кететін кәсіптерді анықтауға арналған. Атап айтқанда, 2025 жылы Алматы және Атырау сияқты өңірлерде қосымша рұқсатпен басқа салаларда 75 жаңа мамандық, IT саласы бойынша Атласқа 40 жаңа мамандық, 6 өзгертін, 9 жойылып бара жатқан мамандық енгізілген. Ең жиі кездесетін мамандықтар тізімі төмендегідей:

- Өмбебап жасанды интеллект жүйесін әзірлеуші
- Жасанды нейрондық желілерді жобалаушы
- Кванттық криптолог
- Біріктірілген сандық егіздер (digital twins) әзірлеушісі
- VR / AR / MR редактор-дизайнері
- Сандық аватарлар жасаушы
- Digital-технолог маманы
- Big-data архитектор (өнеркәсіптік талдау, мұнай-газ сияқты салаларда)
- IoT маманы (заттар интернеті инженериясы)
- Киберфизикалық жүйелер сәулетшісі
- Edge computing (шеткері есептеу) инженері-технологы
- Блокчейн-технолог инженері
- R&D-менеджер (зерттеу-дамыту жұмыстары)
- Адалдық кеңесшісі жасанды интеллект үшін (AI этика)

IT саласындағы жаңа мамандықтар Қазақстанның цифрлық трансформациясына және еңбек нарығы сұранысына әсер ететін инновациялық болашақ бағыты ретінде анықталды.

Педагогикалық ЖОО-ларда оқу бағдарламаларын осы атласқа сәйкес IT бағытындағы микробіліктілікпен толықтыру – заманауи білім беру стратегиясының маңызды бөлігі болуы мүмкін.

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде педагогикалық мамандықтар үшін Жаңа мамандықтар атласы негізінде келесі IT бағытындағы микробіліктілік бағыттары өзекті деп қарастырылады (кесте 1).

Кесте 1. IT бағыты бойынша микроквалификациялар үлгілері. (Жаңа мамандықтар атласы мен цифрлық құзыреттерге негізделген).

№	Бағдарлама атауы	Сағат саны	Құзыреттер	Сертификат	Қорытынды нәтиже
1	Big Data негіздері және аналитика	30	Деректерді талдау, визуализациялау және қолдану	"Junior Data Analyst"	Деректерге негізделген шағын зерттеу жобасы
2	Жасанды интеллектті білім беруде қолдану	25	ChatGPT, Copilot, Khanmigo, этикалық аспектілер	"AI in Education" микробіліктілігі.	Оқу процесіне ЖИ құралын интеграциялау жобасы
3	AR/VR технологиялары білім беруде	20	VR-контент құрастыру, мобильді платформаларда қолдану	"AR/VR in Pedagogy"	AR-сценарий негізінде сабақ үлгісі
4	Цифрлық этика және киберқауіпсіздік	30	Киберқауіптер, академиялық адалдық, деректерді қорғау	"Digital Ethics and Safety"	Қауіпсіздік бойынша мини-кейс немесе ереже жобалау
5	Білім беру медиа-контентін әзірлеу	20	Бейне-сабақ жазу, Canva, Genially, т.б. қолдану	"Edumedia Designer"	Авторлық интерактивті сабақ материалы
6	Цифрлық портфолио және онлайн таныстыру	20	Notion, Google Sites, Behance платформалары	"Digital Self-branding"	Жеке цифрлық портфолио

Өзекті IT бағытындағы микробіліктіліктерді енгізу – педагогикалық білім беруді жаңғыртудың стратегиялық қадамы. Мұндай тәсіл еңбек нарығындағы өзгерістерге жедел бейімделуге және студенттерде цифрлық дәуір талаптарына сай құзыреттерді қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Микробіліктіліктердің әдістемесі мен құрылымы

Микробіліктілік – бұл қысқа мерзімді оқу модулі (20-ден 35 кредитке дейін) нақты оқу нәтижелерімен, бағалау критерийлерімен және практикалық жобалармен бекітілуі тиіс [10]. Бұл микробіліктіліктер негізгі білім беру бағдарламасына элективті пәндер, жазғы мектептер, қысқа онлайн курстар ретінде енгізілуі мүмкін.

Әрбір модуль мынадай құрамдас бөліктерден тұрады:

- атауы мен мақсаты;
- қалыптастырылатын құзыреттер тізімі;
- мазмұны мен оқу материалдары;
- бағалау әдістері мен қорытынды аттестация форматы;
- цифрлық із (оқу нәтижесі ретінде жоба, кейс, мини-портфолио түрінде).

Қорытынды

Микробіліктіліктер қазіргі заманғы жоғары білім беру жүйесі үшін маңызды жаңалық болып отыр. Олар өмір бойы оқытуды ілгерілету, нақты дағдыларды дамыту және еңбек нарығына бейімделу сияқты мақсаттарға жетуге мүмкіндік береді. Бұл жүйе оқытудың икемді, модульдік және колжетімді форматы ретінде даралануда.

Микробіліктіліктер жеке оқыту жолдарын қолдайды және әртүрлі білім алушылардың қажеттіліктерін қанағаттандыра алады. Жұмыс берушілермен және салалық серіктестіктермен тығыз байланыста әзірленсе, тиімділігі артады. Оларды сапалы жүзеге асыру үшін

нормативтік база, тану және аккредитация жүйесі, сондай-ақ технологиялық инфрақұрылым қажет. Университеттер үшін бұл – жаңа инновациялық тәсіл және білім беру нарығындағы бәсекеге қабілеттілікті арттыру жолы.

Педагогикалық ЖОО студенттеріне арналған ІТ бағытындағы микробіліктіліктерді әзірлеу – білім беру бағдарламаларының икемділігін арттырып қана қоймай, болашақ мұғалімдердің цифрлық құзыреттіліктерін нығайтуға мүмкіндік береді. Жаңа мамандықтар атласы бұл процесте бағыттаушы құрал бола алады. Жүйелі түрде енгізілген микробіліктіліктер еңбек нарығына бәсекеге қабілетті педагог кадрларды дайындауға септігін тигізеді.

Алғыс

Бұл мақала Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің қаражаты есебінен «Педагогикалық жоғары оқу орны студенттеріне арналған жаңа кәсіптер атласы негізінде ІТ-дің өзекті бағыттары бойынша микробіліктіліктер жүйесін әзірлеу және енгізу» (14.03.2025ж.) ҚР ҒЗИ-мен бірлесіп жүзеге асырылатын интеграциялық ғылыми жобасы аясында қаржыландырылды.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

- [1] McGreal R., Olcott D. *A strategic reset: micro-credentials for higher education leaders*. Smart Learn. Environ. 9, 9 (2022). <https://doi.org/10.1186/s40561-022-00190-1>
- [2] OECD. (2023). *Micro-credentials for lifelong learning and employability: Uses and possibilities*. OECD Education Policy Perspectives, 66, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9c4b7b68-en>
- [3] EU Recommendation on micro-credentials. (2022). <https://education.ec.europa.eu/education-levels/higher-education/micro-credentials>
- [4] Cirlan E., Loukkola T. (2020). European project MICROBOL: Microcredentials linked to the key Bologna commitments. European University Association (EUA), 1–63. <https://eua.eu/downloads/publications/microbol%20desk%20research%20report.pdf>
- [5] Created based on industry experts' foresight <https://atlasbt.enbek.kz/industry/8>
- [6] Williams P. (2019). Does competency-based education with blockchain signal a new mission for universities?. *Journal of Higher Education Policy and Management*, 41(1), 104–117. <https://doi.org/10.1080/1360080X.2018.1520491>
- [7] Schutte F., Kyriazi T. (2025). Micro-credentials and the Future of Learning. *Journal of Ethics in Higher Education*. 31-69. <https://doi.org/10.26034/fr.jehe.2025.8324>
- [8] Tooley M., Hood J. (2021). *Harnessing Microcredentials for Teacher Growth: A National Review of Early Best Practices*. New America. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED612409.pdf>
- [9] Oliver B. (2021). Micro-credentials: A learner value framework. *Journal of Teaching and Learning for Graduate Employability*, 12(1), 48-51. <https://doi.org/10.21153/jtlge2021vol12no1art1456>
- [10] Caetano F., Casanova D., Moreira D. (2023). Microcredentials: an opportunity towards the digital transformation. 665-673. <http://dx.doi.org/10.4995/HEAd23.2023.16125>

А. Самат^{1*}, А.Д. Онгарбаева¹

¹Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: samat.arailym@gmail.com

ИНФОРМАТИКА МҰҒАЛІМДЕРІН ДАЙЫНДАУДА ВИРТУАЛДЫҚ ЖӘНЕ ТОЛЫҚТЫРЫЛҒАН ШЫНАЙЫЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ ЭВОЛЮЦИЯСЫ

Аңдатпа

Мақалада соңғы жылдары информатика мұғалімдерін кәсіби дайындау барысында виртуалдық шынайылық (Virtual Reality) және толықтырылған шынайылық (Augmented Reality) технологияларын қолданудың даму бағыты мен педагогикалық мүмкіндіктері талданды. Зерттеу мақсаты – болашақ информатика мұғалімдерін дайындау процесінде виртуалдық және толықтырылған шынайылық технологияларын пайдаланудың эволюциясын анықтау және олардың кәсіби құзыреттілікті қалыптастырудағы рөлін айқындау. Зерттеу барысында мазмұндық және жүйелік талдау әдістері қолданылды. Соңғы онжылдықта білім беруде иммерсивті технологиялардың қолдану аясы кеңейіп, оларды педагогикалық дайындауға енгізу болашақ мұғалімдердің практикалық және әдістемелік дағдыларын жетілдірудің тиімді тәсілі ретінде қарастырылуда. Виртуалдық және толықтырылған шынайылық технологиялары студенттердің жобалық әрекетін, визуалды ойлауын және цифрлық сауаттылығын дамытуға мүмкіндік беретін заманауи оқыту ортасын қалыптастырады. Зерттеу нәтижесінде информатика мұғалімдерін дайындауда аталған технологияларды пайдаланудың төрт кезеңнен тұратын эволюциялық моделі ұсынылды: бейімделу, қолдану, интеграция және жетілдіру. Модельдің практикалық маңызы – жоғары оқу орындарында педагогикалық дайындау процесін цифрландыру мен иммерсивті оқыту ортасын тиімді ұйымдастыруға бағытталған.

Түйін сөздер: информатика мұғалімдерін дайындау, виртуалдық шынайылық, толықтырылған шынайылық, иммерсивті оқыту.

А. Самат¹, А.Д. Онгарбаева¹

¹Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан

ЭВОЛЮЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ПОДГОТОВКЕ УЧИТЕЛЕЙ ИНФОРМАТИКИ

Аннотация

В статье проанализированы направления развития и педагогические возможности использования технологий виртуальной реальности (Virtual Reality) и дополненной реальности (Augmented Reality) в процессе профессиональной подготовки учителей информатики в последние годы. Цель исследования – определить эволюцию применения технологий виртуальной и дополненной реальности в процессе подготовки будущих учителей информатики и выявить их роль в формировании профессиональной компетентности. В исследовании использованы методы контент-анализа и системного подхода. За последнее десятилетие область применения иммерсивных технологий в образовании значительно расширилась, их внедрение в педагогическую подготовку рассматривается как эффективный способ развития практических и методических навыков будущих педагогов. Технологии виртуальной и дополненной реальности способствуют формированию современной образовательной среды, позволяющей развивать проектную деятельность студентов, визуальное мышление и цифровую грамотность. В результате исследования предложена эволюционная модель использования данных технологий в подготовке учителей информатики, включающая четыре этапа: адаптация, применение, интеграция и совершенствование. Практическая значимость модели заключается в повышении эффективности цифровизации педагогической подготовки и в создании иммерсивной обучающей среды в вузах.

Ключевые слова: подготовка учителей информатики, виртуальная реальность, дополненная реальность, иммерсивное обучение.

A. Samat¹, A.D. Ongarbaeva¹

¹Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

EVOLUTION OF USING VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY TECHNOLOGIES IN TRAINING INFORMATICS TEACHERS

Abstract

The article analyzes the development trends and pedagogical potential of using virtual reality (Virtual Reality) and augmented reality (Augmented Reality) technologies in the professional training of informatics teachers in recent years. The purpose of the study is to identify the evolution of applying virtual and augmented reality technologies in the process of training future informatics teachers and to determine their role in developing professional competence. The study employed content analysis and system-based methods. Over the past decade, the scope of immersive technologies in education has significantly expanded, and their integration into pedagogical training is considered an effective approach to enhancing the practical and methodological skills of pre-service teachers. Virtual and augmented reality technologies contribute to the creation of a modern learning environment that promotes students' project-based activity, visual thinking, and digital literacy. As a result of the study, an evolutionary model for using these technologies in informatics teacher training was proposed, consisting of four stages: adaptation, application, integration, and improvement. The practical significance of the model lies in improving the efficiency of digitalizing pedagogical education and organizing immersive learning environments in higher education institutions.

Keywords: informatics teacher training, virtual reality, augmented reality, immersive learning.

Кіріспе

Қазіргі жоғары білім кеңістігінде болашақ информатика мұғалімдерін иммерсивті технологиялармен (виртуалдық шынайылық және толықтырылған шынайылық) жұмыс істеуге бағытталған кәсіби дайындаудың маңызы артып келеді. Жоғары оқу орындарында бас киімді дисплей негізіндегі виртуалдық шынайылықты қолдану білім алушылардың қатысуын, дағдыны тәжірибелік ортада қалыптастыруды және қауіпті/қол жетпес жағдайларды қауіпсіз модельдеуді қамтамасыз ететіні жүйелік шолуларда дәлелденген [1–2]. Соңғы онжылдықта кеңейтілген шынайылық құралдарының (AR/VR) жоғары білімдегі қолданылу ауқымы кеңейіп, оларды қашықтан/аралас оқытуға кіріктіру де тұрақты үрдіске айналды [3–4]. Бұл бағыт информатика саласындағы пәндерді визуализациялауға, алгоритмдік және есептеу ойлауын дамытуға, күрделі процестерді үлгілеуге мүмкіндік береді [5].

Арнайы информатика мұғалімдерін дайындауда AR/VR қолдануға арналған эмпирикалық зерттеулердің саны да өсіп келеді: пресервис-мұғалімдердің (pre-service) дайындығында AR/VR/MR шешімдерін 10 жылдық дерекпен қамтитын шолу жұмысы бұл технологиялардың тәжірибелік дағдылар мен өзіндік тиімділікті (self-efficacy) арттыруға әлеуеті бар екенін көрсетеді [6]. Білім берудегі AR және VR трендтерін талдайтын соңғы зерттеулер де пәндік мазмұнмен қатар, педагогикалық сценарийлер мен бағалау тәсілдерін қайта қарауды қажет ететінін айғақтайды [4,7]. Мұғалімдердің AR-ға даярлық құзыреттерін өлшеуге арналған валидтелген TARC шкаласының пайда болуы (жасау, пайдалану және басқару құзыреттері) пресервис даярлық бағдарламаларының мазмұнын құрастыруда өлшемшарттық негіз ұсынады [8]. Сонымен бірге, аралас шындық симуляциялары (мысалы, Mursion®) сыныпты басқару, коммуникация және рефлексия дағдыларын қауіпсіз ортада жаттықтыруға жағдай жасайтыны көрсетілген [9]. Жоғары білімдегі жаратылыстану және инженерлік пәндерде AR интерфейстері абстракт ұғымдарды көзге көрінерлік ету арқылы түсінуді, ынтаны және зертханалық мәдениетті жақсартатыны да дәлелденіп отыр [10]. Отандық зерттеулерде де білім беруде цифрлық және иммерсивті технологияларды қолданудың педагогикалық аспектілері қарастырылған [11,12]. Білім беруді цифрландыру жағдайында информатика мұғалімдері тек технологиялық құралдарды меңгеруші емес, сонымен бірге цифрлық білім беру ортасын жобалаушы рөлін атқарады. Сондықтан олардың кәсіби дайындығында виртуалдық және толықтырылған шынайылық технологияларын меңгеру – заманауи педагогикалық құзыреттіліктің негізгі көрсеткішіне айналып отыр [3,4].

Сонымен қатар, ғылыми әдебиеттерде виртуалдық және толықтырылған шынайылықты білім беруде пайдалану жөнінде көптеген зерттеулер жүргізілгенімен, болашақ информатика мұғалімдерін дайындау процесіндегі олардың қолданылу эволюциясы мен педагогикалық мүмкіндіктері жеткілікті жүйеленбеген. Бұл мәселені ғылыми тұрғыдан талдау мұғалімдердің кәсіби дайындығын жетілдірудің жаңа бағыттарын айқындауға мүмкіндік береді. Бұрынғы зерттеулер көбіне AR/VR технологияларының техникалық және мотивациялық аспектілерін сипаттауға бағытталса, бұл зерттеу олардың эволюциялық даму кезеңдерін және информатика мұғалімдерін кәсіби дайындау процесіне интеграциялану логикасын жүйелі түрде талдайды.

Зерттеу барысында ғылыми әдебиеттерге жүйелік талдау, салыстырмалы және мазмұндық талдау әдістері қолданылды. Эмпирикалық негіз ретінде соңғы бес жылда (2019–2024 жж.) Scopus және Web of Science базаларында жарияланған зерттеулер алынды [1–10]. Осы алғышарттар негізінде мақалада болашақ информатика мұғалімдерін дайындауда виртуалдық және толықтырылған шынайылық технологияларын пайдаланудың эволюциясы сипатталып, пресервис кезеңіне бейімделген кезеңдік модель ұсыну мақсат етіледі. Модель құрамында енгізудің бастапқы бейімделуінен интеграция мен жетілдіруге дейінгі сатылар қамтылады, ал тиімділік критерийлері ретінде студенттердің кәсіби-цифрлық құзыреттіліктері, әдістемелік дизайн сапасы және оқу ынтасы қарастырылады. Осыған байланысты зерттеу мақсаты – болашақ информатика мұғалімдерін дайындау процесінде виртуалдық және толықтырылған шынайылық технологияларын пайдаланудың эволюциясын анықтау және олардың кәсіби құзыреттілікті қалыптастырудағы рөлін айқындау болып табылады.

Зерттеу барысында келесі міндеттер айқындалды:

1. Виртуалдық және толықтырылған шынайылық технологияларының білім берудегі даму бағыттарын талдау;
2. Информатика мұғалімдерін кәсіби дайындауда бұл технологиялардың педагогикалық мүмкіндіктерін анықтау;
3. AR және VR технологияларын пайдаланудың эволюциялық кезеңдерін сипаттау;
4. Информатика мұғалімдерін дайындауда виртуалдық және толықтырылған шынайылыққа негізделген модель ұсыну.

Зерттеу болжамы – егер болашақ информатика мұғалімдерін дайындау процесінде виртуалдық және толықтырылған шынайылық технологияларын жүйелі түрде қолдану жүзеге асырылса, онда олардың кәсіби және цифрлық құзыреттілігі жоғары деңгейде қалыптасады.

Осы зерттеудің нәтижелері информатика мұғалімдерін кәсіби дайындау сапасын арттыруға, оқу үдерісін цифрландыру стратегиясын жетілдіруге және AR/VR технологияларын тиімді енгізудің кезеңдік моделін ұсынуға бағытталған.

Зерттеу әдіснамасы

Бұл зерттеу теориялық және аналитикалық сипатқа ие болып табылады. Жұмыстың негізгі бағыты – информатика мұғалімдерін кәсіби дайындауда виртуалдық және толықтырылған шынайылық технологияларын пайдаланудың даму кезеңдерін жүйелеу және олардың педагогикалық мүмкіндіктерін талдау.

Зерттеу барысында ғылыми әдебиеттерді, халықаралық деректер базаларындағы (Scopus, Web of Science, ERIC) соңғы бес жылда (2019–2024 жж.) жарияланған мақалаларды және педагогикалық тәжірибелерді талдауға негізделген әдіснамалық тәсіл қолданылды. Материалдар іріктеу кезінде білім беруде иммерсивті технологияларды (Virtual Reality және Augmented Reality) қолдануға арналған еңбектердің мазмұндық релеванттылығы мен ғылыми жаңалығы басты критерийлер ретінде алынды.

Зерттеудің әдіснамалық негізін жүйелік, мазмұндық және салыстырмалы талдау әдістері құрайды:

Жүйелік талдау әдісі. AR және VR технологияларының білім берудегі қолданылу тәжірибесін кешенді түрде қарастыру үшін қолданылды.

Мазмұндық талдау әдісі. Ғылыми дереккөздерден алынған мәліметтерді сұрыптау, негізгі ұғымдар мен педагогикалық идеяларды жүйелеу мақсатында пайдаланылды.

Салыстырмалы талдау әдісі. Әртүрлі елдер мен білім беру деңгейлеріндегі AR және VR технологияларын қолдану ерекшеліктерін салыстыруға мүмкіндік берді.

Зерттеудің эмпирикалық бөлігі болашақ информатика мұғалімдерін дайындауға қатысты оқу жоспарлары мен әдістемелік нұсқаулықтарды сапалық тұрғыда талдаумен шектеледі. Бұл тәсіл білім беруде иммерсивті технологияларды енгізудің педагогикалық шарттары мен эволюциялық сатыларын теориялық тұрғыдан анықтауға мүмкіндік берді.

Осылайша, зерттеу әдіснамасы заманауи ғылыми әдебиеттерге сүйене отырып, болашақ информатика мұғалімдерін дайындау процесіндегі виртуалдық және толықтырылған шынайылық технологияларын пайдаланудың теориялық негіздері мен даму логикасын айқындауға бағытталды.

Зерттеу нәтижелері

Зерттеу барысында информатика мұғалімдерін кәсіби дайындауда виртуалдық және толықтырылған шынайылық технологияларын пайдаланудың эволюциялық дамуы талданды. Ғылыми дереккөздер мен педагогикалық тәжірибелерді салыстырмалы талдау нәтижесінде бұл технологияларды білім беру процесіне енгізу кезеңдік сипатқа ие екені анықталды. Осы негізде болашақ информатика мұғалімдерін дайындауда AR және VR технологияларын пайдаланудың эволюциялық моделі жасалды.

Зерттеу нәтижесінде жасалған эволюциялық модель төрт өзара байланысты кезеңнен тұрады: бейімделу, қолдану, интеграция және жетілдіру:

Бейімделу кезеңі. Бұл бастапқы деңгейде болашақ информатика мұғалімдері виртуалдық және толықтырылған шынайылық технологияларының мүмкіндіктерімен танысады. Негізгі мақсат – студенттердің AR/VR ортасында жұмыс істеу дағдыларын қалыптастыру және олардың технологиялық қызығушылығын арттыру. Бұл кезеңде оқыту сипаттамалық және демонстрациялық сипатқа ие болады. Бұл кезеңнің артықшылығы – студенттердің технологиямен алғашқы танысуын жеңілдетіп, олардың оқу мотивациясын арттыруы; шектеуі – AR/VR жабдықтарының жеткіліксіздігі бейімделу үдерісін баяулатуы мүмкін.

Қолдану кезеңі. Бұл кезеңде студенттер виртуалдық және толықтырылған шынайылықты нақты оқу жағдайларында қолдана бастайды. Интерактивті жаттығулар, модельдеу және визуализация элементтері оқу процесінің ажырамас бөлігіне айналады. Мұнда негізгі басымдық – оқытудың тәжірибелік бағытын күшейту және студенттің өзіндік белсенділігін арттыру. Бұл кезеңнің артықшылығы – студенттердің практикалық дағдылары қалыптасып, технологиямен жұмыс істеу тәжірибесі кеңеюі; шектеуі – сабақ дайындауға кететін уақыттың ұлғаюы оқытушылар үшін қосымша жүктеме тудыруы мүмкін.

Интеграция кезеңі. Бұл кезеңде AR және VR технологиялары информатика мұғалімдерін кәсіби даярлау бағдарламасына жүйелі түрде енеді. Виртуалдық зертханалар, модельдеу симуляциялары мен оқу жобалары оқу жоспарларымен интеграцияланып, студенттердің педагогикалық және әдістемелік құзыреттерін дамыту құралына айналады. Бұл кезеңнің артықшылығы – AR/VR технологияларының оқу процесінің тұрақты бөлігіне айналуы және әдістемелік жүйеліліктің қалыптасуы; шектеуі – оқытушыларды арнайы даярлау мен тұрақты әдістемелік қолдауды қажет етуі.

Жетілдіру кезеңі. Соңғы кезеңде студенттер AR және VR негізінде өз жобаларын құрастырып, білім беру процесін жетілдіру бойынша инновациялық шешімдер ұсынады. Мұнда болашақ мұғалімдердің зерттеушілік, жобалау және цифрлық педагогикалық құзыреттілігі қалыптасады. Бұл кезеңнің артықшылығы – студенттердің шығармашылық әлеуетін арттырып, инновациялық жобаларды жүзеге асыруға мүмкіндік беруі; шектеуі – AR/VR контентін өздігінен құрастырудың күрделілігі мен арнайы техникалық дайындықтың қажет болуы.

Зерттеу нәтижелері бойынша, информатика мұғалімдерін дайындауда виртуалдық және толықтырылған шынайылық технологияларын пайдаланудың эволюциялық кезеңдері мен әр кезеңнің сипаттамасы 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1. Информатика мұғалімдерін дайындауда виртуалдық және толықтырылған шынайылық технологияларын пайдаланудың эволюциялық моделі

Бірінші кезең, жетілдіру – студенттердің AR және VR технологияларының мүмкіндіктерімен алғашқы танысуы қамтамасыз етіледі. Талдау көрсеткендей, болашақ мұғалімдер виртуалдық құралдармен жұмыс істеуде психологиялық және технологиялық бейімделуді қажет етеді, себебі жаңа орта олардың дәстүрлі оқу дағдыларынан ерекшеленеді. Осы сатыда студенттердің цифрлық сауаттылығын арттыру, интерактивті визуализация элементтерімен жұмыс істеу қабілеттерін қалыптастыру негізгі міндет болып табылады. Отандық және шетелдік зерттеулер де (мысалы, [1-3]) иммерсивті технологияларды алғаш қолдану кезеңінде студенттердің мотивациялық және когнитивтік қиындықтарға жиі тап болатынын, сондықтан бейімделу үшін әдістемелік қолдау маңызды екенін атап өтеді.

Екінші кезең, қолдану – студенттер AR/VR технологияларын оқу жағдайларында пайдаланып, өз бетінше әрекет ету дағдыларын дамытады. Бұл саты тәжірибелік бағытқа негізделеді: студенттер оқу материалын визуалды және кеңістіктік модельдеу арқылы меңгереді. Зерттеу нәтижесінде анықталғандай, интерактивті симуляциялар мен виртуалдық зертханалар информатика пәніндегі алгоритмдік ойлауды, абстрактілі ұғымдарды түсінуді және кәсіби бағдарды күшейтеді. Қолдану кезеңінде студенттердің белсенді оқу позициясы қалыптасады, олар оқыту процесіне қатысушыдан оның белсенді жобалаушысына айналады. Бұл тұжырым халықаралық зерттеулердің нәтижелерімен (мысалы, [4-6]) де сәйкес келеді, онда AR/VR негізіндегі практикалық оқыту студенттердің “learning-by-doing” принципі бойынша әрекет ету қабілетін арттыратыны дәлелденген.

Үшінші кезең, интеграцияда AR/VR технологиялары информатика мұғалімдерін кәсіби дайындау бағдарламасына жүйелі түрде енгізіледі. Мұнда оқу курстары мен практикалық сабақтарда виртуалдық және толықтырылған шынайылықты пайдалану стандартты дидактикалық тәсілдердің бөлігіне айналады. Зерттеу барысында анықталғандай, интеграция сатысында педагогикалық модельдеу, жоба әдісі және цифрлық зертханалар кеңінен қолданылады. Бұл кезең студенттердің әдістемелік және зерттеушілік дағдыларын қалыптастыруға бағытталған. AR/VR технологияларын пәндік мазмұнмен үйлестіру оқу үдерісінің интерактивтілігін арттырып, білім алушылардың кәсіби рөлдік рефлексиясын дамытуға мүмкіндік береді. Осы кезеңнің нәтижесінде студенттердің пәндік, технологиялық және педагогикалық құзыреттіліктері үйлесімді түрде дамиды. Бұл тұжырым AR/VR

технологияларын жоғары білімге енгізу бойынша соңғы Scopus зерттеулерінде де дәлелденген [7-9].

Соңғы кезең, жетілдіруде болашақ информатика мұғалімдері виртуалдық және толықтырылған шынайылық негізінде өздерінің инновациялық жобаларын әзірлейді. Мұнда студенттер педагогикалық проблемаларды шешудің авторлық тәсілдерін ұсынып, тәжірибелік эксперименттер жүргізе алады.

Жетілдіру кезеңі кәсіби өзіндік тиімділік пен креативті ойлаудың қалыптасуымен сипатталады. Бұл деңгейде студенттер тек технологияны пайдаланушы емес, оны педагогикалық тұрғыда түрлендіруші және жобалаушы рөлін атқарады. Мұндай әдіс олардың әдістемелік мәдениетін дамытып, зерттеу дағдыларын қалыптастырады.

Модельді талдау нәтижесінде виртуалдық және толықтырылған шынайылық технологияларын кәсіби даярлауға енгізу болашақ информатика мұғалімдерінің әдістемелік және цифрлық құзыреттерін арттырудың тиімді құралы екені дәлелденді. Сонымен қатар, бұл технологиялар студенттердің визуалды ойлауын, проблемалық жағдайларды шешу қабілетін және оқу мотивациясын арттыратыны байқалды.

Зерттеу барысында анықталғандай, виртуалдық зертханалар мен толықтырылған шынайылық элементтерін қолдану студенттердің алгоритмдік ойлауын, кеңістіктік елестетуін және әдістемелік шешім қабылдау қабілетін дамытады. Бұл әсіресе информатика пәнінің күрделі ұғымдарын түсіндіруде және болашақ мұғалімдердің әдістемелік мәдениетін қалыптастыруда маңызды рөл атқарады.

Иммерсивті технологияларды пайдалану барысында кездесетін қиындықтар да бар: техникалық қамтамасыз ету, бағдарламалық үйлесімділік және педагогикалық бейімдеу мәселелері. Алайда, бұл қиындықтар технологиялық инфрақұрылымды жетілдіру, оқытушылардың біліктілігін арттыру және цифрлық контентті педагогикалық мақсаттарға бейімдеу арқылы шешімін таба алады.

Осылайша, зерттеу нәтижелері көрсеткендей, виртуалдық және толықтырылған шынайылық технологияларын кезеңдік түрде енгізу болашақ информатика мұғалімдерінің кәсіби, әдістемелік және цифрлық құзыреттіліктерін дамытуға ықпал етеді. Бұл модель оқытудың заманауи үрдістерімен үйлесімді және білім берудің инновациялық трансформациясына нақты үлес қосады.

Зерттеу болжамы ішінара расталды: егер болашақ информатика мұғалімдерін дайындау процесінде виртуалдық және толықтырылған шынайылық технологиялары жүйелі түрде қолданылса, онда олардың кәсіби және цифрлық құзыреттілігі жоғары деңгейде қалыптасады.

Дискуссия

Зерттеу нәтижелері болашақ информатика мұғалімдерін дайындауда виртуалдық және толықтырылған шынайылық технологияларын (VR/AR) қолданудың тиімділігі мен педагогикалық әлеуетін көрсетті. Ұсынылған эволюциялық модель болашақ мұғалімдердің кәсіби дамуын кезеңдік тұрғыдан ұйымдастырудың тиімді тәсілі ретінде қарастырылды. Бұл модель студенттердің технологиялық бейімделуінен бастап инновациялық жобалау қабілетіне дейінгі кәсіби қалыптасудың логикалық құрылымын айқындайды.

Зерттеу нәтижелерін басқа ғалымдардың еңбектерімен салыстыру көрсеткендей, AR және VR технологияларын қолдану білім алушылардың танымдық белсенділігін арттырумен қатар, күрделі ұғымдарды визуализациялауға және практикалық тәжірибелерді қауіпсіз ортада модельдеуге мүмкіндік береді. Мұндай қорытынды AR/VR технологияларының білім беру процесіндегі тиімділігін дәлелдеген шетелдік зерттеулермен [1–5] сәйкес келеді. Сонымен қатар, педагогикалық тұрғыдан бұл технологиялар студенттердің кәсіби және әдістемелік құзыреттерін қалыптастырудың жаңа сапалық деңгейін қамтамасыз етеді.

Ұсынылған модельдің ерекшелігі – оның кәсіби дайындық логикасына негізделуінде. Яғни, AR және VR технологиялары тек қосымша құрал ретінде емес, болашақ мұғалімнің кәсіби дамуының өзегі ретінде қарастырылады. Бұл тұрғыда зерттеу нәтижелері білім беруді

цифрандировать в сфере образования. Зертеу тәжірибесі көрсеткендей, иммерсивті технологиялар болашақ педагогтардың креативті және зертеушілік ойлауын дамытуда тиімді құралға айналып отыр.

Алайда, VR/AR технологияларын жоғары білім беру жүйесіне енгізу кейбір қиындықтарды да тудырады. Біріншіден, материалдық-техникалық база мен инфрақұрылымның жеткіліксіздігі; екіншіден, оқытушылардың бұл технологияларды педагогикалық тұрғыдан тиімді қолдану бойынша біліктілігінің біркелкі болмауы. Бұл мәселелерді шешу үшін педагогикалық университеттерде арнайы әдістемелік курстар мен AR/VR-педагогика бойынша дайындық модульдерін енгізу қажет.

Болашақ зертеу жұмыстары AR және VR технологияларын нақты пәндік курстарда (мысалы, “Бағдарламалау негіздері”, “Алгоритмдер және деректер құрылымы”) қолдану әдістемесін әзірлеуге, сондай-ақ студенттердің кәсіби мотивациясы мен өзіндік тиімділігін арттыру тетіктерін эмпирикалық тұрғыдан зертеуге бағытталуы мүмкін.

Қорытынды

Жүргізілген зертеу нәтижесінде болашақ информатика мұғалімдерін кәсіби дайындауда виртуалдық және толықтырылған шынайылық технологияларын (VR/AR) пайдаланудың эволюциялық моделі әзірленді. Ұсынылған модель AR және VR технологияларын педагогикалық үдеріс құрылымына кезеңдік түрде енгізудің тиімді тетігін сипаттайды.

Модель төрт негізгі кезеңнен тұрады: бейімделу, қолдану, интеграция және жетілдіру. Әрбір кезең болашақ мұғалімдердің кәсіби құзыреттілігін жүйелі дамытуға бағытталған. Зертеу барысында анықталғандай, иммерсивті технологиялар студенттердің танымдық белсенділігін, әдістемелік ойлау қабілетін және кәсіби мотивациясын арттыруға ықпал етеді.

Алынған нәтижелер білім берудегі цифрлық трансформацияның қазіргі үрдістерімен сәйкес келеді және педагогикалық жоғары оқу орындарында AR/VR технологияларын қолданудың теориялық негізін нақтылайды. Ұсынылған модель жоғары білім беру жүйесінде информатика мұғалімдерін даярлаудың сапасын арттыруға және болашақ педагогтардың инновациялық әлеуетін дамытуға бағытталған әдістемелік бағдар ретінде қарастырылуы мүмкін.

Болашақта зертеу AR және VR технологияларын нақты пәндік курстар мен оқу практикасына енгізу әдістемесін тәжірибелік тұрғыда сынақтан өткізуге және олардың оқыту нәтижесіне әсерін сандық тұрғыдан бағалауға бағытталуы тиіс.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

- [1] Concannon, B. J., Esmail, S., & Roduta Roberts, M. (2019). *Head-Mounted Display Virtual Reality in Post-Secondary Education and Skill Training*. *Frontiers in Education*, 4, 80. <https://doi.org/10.3389/feduc.2019.00080>
- [2] Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). *A Systematic Review of Immersive Virtual Reality Applications for Higher Education: Design Elements, Lessons Learned, and Research Agenda*. *Computers & Education*, 147, 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- [3] Fonseca, D., Conde, M. A., García-Peñalvo, F. J., Vendrell, J., & Borrás-Gené, O. (2021). *Use of Augmented and Virtual Reality in Remote Higher Education: A Systematic Review*. *Education Sciences*, 11(1), 8. <https://doi.org/10.3390/educsci11010008>
- [4] Bermejo, R., Hernández-Lara, A. B., & Sánchez-Rebull, M. V. (2023). *AR/VR Teaching-Learning Experiences in Higher Education Institutions: A Systematic Review (2012–2022)*. *Informatics*, 10(2), 45. <https://doi.org/10.3390/informatics10020045>
- [5] Nikou, S. A., Perifanou, M., & Economides, A. A. (2023). *Development and Validation of the Teachers' Augmented Reality Competences (TARC) Scale*. *Journal of Computers in Education*, 11(4), 1041–1060. <https://doi.org/10.1007/s40692-023-00288-6>
- [6] Garzón, J., Pavón, J., & Baldiris, S. (2019). *Systematic Review and Meta-Analysis of Augmented Reality in Educational Settings*. *Virtual Reality*, 23(4), 447–459. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00379-9>

- [7] Makransky, G., & Petersen, G. B. (2020). *The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): A Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality*. *Educational Psychology Review*, 33, 937–958. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>
- [8] Ibáñez, M.-B., & Delgado-Kloos, C. (2018). *Augmented Reality for STEM Learning: A Systematic Review*. *Computers & Education*, 123, 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>
- [9] Pérez-Sánchez, L., González-Calatayud, V., & Hernández-Amorós, M. J. (2022). *Integrating Augmented Reality in Language Learning: Pre-Service Teachers' Perceptions and TPACK*. *Education and Information Technologies*, 27(12), 16905–16928. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11123-3>
- [10] Ibáñez, M.-B., Di-Serio, Á., Villarán, D., & Kloos, C. D. (2020). *Virtual Reality: A Tool for Preservice Science Teachers to Put Theory into Practice*. *Journal of Science Education and Technology*, 29(4), 573–588. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09837-5>
- [11] Қасенова Л.Ф., Мереіхан Л. Flash-технологиялар көмегімен физикалық үдерістерді әзірлеу және модельдеу // ҚазҰПУ хабаршысы, «Физика және математика» сериясы. – 2019. – №2 (66). – 152–157.
- [12] Мұханова Б.И., Төлеубаева Р.Н. Информатика мұғалімдерін кәсіби даярлауда цифрлық білім беру ресурстарын қолдану мәселелері // Педагогика және психология. – 2020. – №3. – 145–151.

References

- [1] Concannon, B. J., Esmail, S., & Roduta Roberts, M. (2019). *Head-Mounted Display Virtual Reality in Post-Secondary Education and Skill Training*. *Frontiers in Education*, 4, 80. <https://doi.org/10.3389/educ.2019.00080>
- [2] Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). *A Systematic Review of Immersive Virtual Reality Applications for Higher Education: Design Elements, Lessons Learned, and Research Agenda*. *Computers & Education*, 147, 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- [3] Fonseca, D., Conde, M. A., García-Peñalvo, F. J., Vendrell, J., & Borrás-Gené, O. (2021). *Use of Augmented and Virtual Reality in Remote Higher Education: A Systematic Review*. *Education Sciences*, 11(1), 8. <https://doi.org/10.3390/educsci11010008>
- [4] Bermejo, R., Hernández-Lara, A. B., & Sánchez-Rebull, M. V. (2023). *AR/VR Teaching-Learning Experiences in Higher Education Institutions: A Systematic Review (2012–2022)*. *Informatics*, 10(2), 45. <https://doi.org/10.3390/informatics10020045>
- [5] Nikou, S. A., Perifanou, M., & Economides, A. A. (2023). *Development and Validation of the Teachers' Augmented Reality Competences (TARC) Scale*. *Journal of Computers in Education*, 11(4), 1041–1060. <https://doi.org/10.1007/s40692-023-00288-6>
- [6] Garzón, J., Pavón, J., & Baldiris, S. (2019). *Systematic Review and Meta-Analysis of Augmented Reality in Educational Settings*. *Virtual Reality*, 23(4), 447–459. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00379-9>
- [7] Makransky, G., & Petersen, G. B. (2020). *The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): A Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality*. *Educational Psychology Review*, 33, 937–958. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>
- [8] Ibáñez, M.-B., & Delgado-Kloos, C. (2018). *Augmented Reality for STEM Learning: A Systematic Review*. *Computers & Education*, 123, 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>
- [9] Pérez-Sánchez, L., González-Calatayud, V., & Hernández-Amorós, M. J. (2022). *Integrating Augmented Reality in Language Learning: Pre-Service Teachers' Perceptions and TPACK*. *Education and Information Technologies*, 27(12), 16905–16928. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11123-3>
- [10] Ibáñez, M.-B., Di-Serio, Á., Villarán, D., & Kloos, C. D. (2020). *Virtual Reality: A Tool for Preservice Science Teachers to Put Theory into Practice*. *Journal of Science Education and Technology*, 29(4), 573–588. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09837-5>
- [11] Kasenova L.G., Mereikhan L. (2019). Flash-tehnologijalar komegimen fizikalyk uderisterdi azirleu zhane modeldeu. [Development and modeling of physical processes using Flash technologies]. *KazUPU habarshysy, "Fizika zhane matematika" serijasy*, №2 (66), pp. 152–157. (In Kazakh)
- [12] Muhanova B.I., Toleubaeva R.N. (2020). Informatika mugalimderin kasibi dajarlau da cifrlyk bilim beru resurstaryn koldanu maseleleri. [Issues of using digital educational resources in the professional training of informatics teachers]. *Pedagogika zhane psihologiya*, №3, pp. 145–151. (In Kazakh)

T.T. Toishybek¹, N.T. Malikova¹, A.B. Kassekeyeva² ,
M.M. Erekesheva³ , G.S. Abugaliyeva⁴ 

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

²L.N. Gumilev Eurasian national university, Astana, Kazakhstan

³Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

⁴M.Utemisov West Kazakhstan University, Uralsk, Kazakhstan

*e-mail: tolganay.toishibek@gmail.com

DEVELOPING RESEARCH SKILLS IN FUTURE COMPUTER SCIENCE TEACHERS

Abstract

The purpose of this study is to identify the need to develop pedagogical research skills among future computer science teachers. The objectives of the study include the analysis of modern methods and approaches to the development of these skills, as well as assessment of their impact on the quality of the educational process. The research methodology is based on the use of qualitative and quantitative methods, including surveys, interviews and analysis of teaching practice. The results of the study show that the development of research skills among future computer science teachers helps improve their professional competence, improve the quality of teaching and introduce innovative teaching methods. This study is significant for science, as it highlights the need to integrate research methods into the teacher training process, which in turn contributes to more effective and high-quality education in the field of information technology.

Keywords: skill development, research skills, teacher training, research skills, information technology, educational process, Action Research, professional competence

Т.Т. Тойшыбек¹, Н.Т. Маликова¹, А.В. Касекеева², М.М. Ерекешова³, Г.С. Аbugалиева⁴

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

³Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік мемлекеттік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

⁴М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал қ., Қазақстан

БОЛАШАҚ ИНФОРМАТИКА МҰҒАЛІМДЕРІНІҢ ЗЕРТТЕУ ДАҒДЫЛАРЫН ДАМУДЫҢ

Аңдатпа

Бұл зерттеудің мақсаты – болашақ информатика мұғалімдерінің педагогикалық зерттеу дағдыларын дамыту қажеттілігін анықтау. Зерттеудің міндеттеріне осы дағдыларды дамытудың заманауи әдістері мен тәсілдерін талдау, сонымен қатар олардың білім беру үдерісінің сапасына әсерін бағалау кіреді. Зерттеу әдістемесі сауалнамалар, сұхбаттар және педагогикалық тәжірибені талдауды қамтитын сапалық және сандық әдістерді қолдануға негізделген. Зерттеу нәтижелері болашақ информатика мұғалімдерінің зерттеу дағдыларын дамыту олардың кәсіби құзыреттілігін арттыруға, оқыту сапасын арттыруға және оқытудың инновациялық әдістерін енгізуге ықпал ететінін көрсетті. Бұл зерттеудің ғылым үшін маңызы зор, мұғалімдердің біліктілігін арттыру үдерісіне зерттеу әдістерін енгізу қажеттілігін білдіреді, бұл өз кезегінде ақпараттық технологиялар саласында тиімді және сапалы білім беруге ықпал етеді.

Түйін сөздер: дағдыны дамыту, зерттеу дағдылары, зерттеу дағдылары, ақпараттық технология, оқу үдерісі, Action Research, кәсіби құзыреттілік.

Т.Т. Тойшыбек¹, Н.Т. Маликова¹, А.В. Касекеева², М.М. Ерекешова³, Г.С. Абугалиева⁴

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г.Алматы, Казахстан

²Евразийский национальный университет им. Л. Гумилева, г.Астана, Казахстан

³Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г.Актюбинск, Казахстан

⁴Западно-Казахстанский университет им.М.Утемисова, г.Уральск, Казахстан

РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ НАВЫКОВ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ ИНФОРМАТИКИ

Аннотация

Целью данного исследования является выявление необходимости формирования педагогических исследовательских навыков у будущих учителей информатики. Задачи исследования включают анализ современных методов и подходов к развитию данных навыков, а также оценку их влияния на качество образовательного процесса. Методология исследования основана на использовании качественных и количественных методов, включая опросы, интервью и анализ педагогической практики. Результаты исследования показывают, что развитие исследовательских навыков у будущих учителей информатики способствует улучшению их профессиональной компетентности, повышению качества преподавания и внедрению инновационных методов обучения. Данное исследование имеет значимость для науки, так как оно подчеркивает необходимость интеграции исследовательских методов в процесс подготовки педагогов, что в свою очередь способствует более эффективному и качественному образованию в сфере информационных технологий.

Ключевые слова: развитие навыков, исследовательские навыки, информационные технологии, образовательный процесс, Action Research, профессиональная компетентность.

Introduction

The modern education system is rapidly developing in the context of digital transformation, which sets new requirements for the training of future teachers. In the era of information technology and a rapidly changing technological landscape, special attention should be paid to training educators who can effectively use IT tools and methods. At the current stage of society's development, the development of personal qualities and professional competence of future specialists is the main task of the higher education system [1]. One of the main aspects of training future computer science teachers is the formation of their pedagogical research skills.

Modern education and the challenges of the teaching profession have led to an increased demand for professional development and practical research. Action research is a method that encourages teachers to manage and monitor their work [2]. This article, *The Role of Action Research in Teachers' Professional Development*, discusses the pedagogical research skills teachers need to successfully implement action research. It is stated that a teacher-researcher should possess certain theoretical, pedagogical, and methodological skills, appreciate rigorous methodological procedures, receive appropriate research training, and be creative. This highlights the importance of education in methodology for both teaching practice and educational theory and the need for collaboration between theorist and practitioner to make meaningful changes in education.

Action Research is a broader and more flexible approach used to solve various educational problems and improve practice, allowing teachers to directly participate in the process of improving their pedagogical practice by responding to the real needs of students. It helps teachers adapt to real-life situations and challenges faced by teachers in the educational system. Action Research and teacher collaboration, aimed at in-depth analysis and improvement of specific lessons, require them to master Lesson Study methods and apply them in their own practice. Both of these methods are aimed at improving the quality of education and improving the qualifications of teachers. Action Research provides flexibility in an exploratory approach to problem-solving, while Lesson Study explores the details of lesson planning and delivery, encouraging sharing and reflection among teachers.

Action Research and Lesson Study methods contribute to the development of professional competence of teachers and improvement of educational results. However, teachers need to develop pedagogical research skills before using Action Research methods. Pedagogical research skills

include the ability to critically analyze learning situations, design and evaluate learning activities, and use scientific methods to solve practical problems. Such skills are an important step in the effective use of the mentioned system of methods in one's practice. This not only helps to improve the qualifications of teachers and the learning experience but also contributes to the professional growth of teachers, making them competent and confident in their professional activities.

In the traditional teaching process, students' research culture, enthusiasm, and energy are mainly focused on the subject content of education, and the theoretical and cognitive side of acquiring scientific knowledge is neglected. As a result, students do not master it sufficiently [3]. Research skills are the main element of personality development in modern society. It not only contributes to a deep understanding of the world around us but also allows us to think critically, solve problems independently, and innovate. Scientific research allows a person to develop the ability to analyze information, highlight important aspects, create hypotheses, and test them in practice. Thus, research skills are an important tool for achieving personal and professional goals in a rapidly changing world.

The main direction of modernization of higher pedagogical education is determined by the training of qualified, competitive professors and the development of modern high-tech technologies, which meet the modern requirements for the quality of specialists, both from the side of employers and the social demands of society. Therefore, it is necessary to take into account these groups of interrelated factors in the formation of research skills of future physics teachers at a pedagogical university [4]. The teacher's pedagogical research skills play a crucial role in his professional activities, especially in the field of pedagogical science and practice. It allows the use of innovative teaching methods based on modern scientific achievements. The formation of research skills plays a key role in training qualified teachers who can successfully adapt to the dynamically changing conditions of the educational environment and cope with the challenges of modern times. Pedagogical research allows teachers to analyze the content of their work, experiment with various teaching and educational methods, and adapt and apply advanced pedagogical practice to their own experience. Research skills help teachers effectively solve current educational problems, as well as improve their professional competence. Thus, the development of pedagogical research skills is an important aspect of preparing a modern teacher for professional activity.

From this comes the need to develop pedagogical research skills of future computer science teachers. The need to develop such skills depends on several factors. First, computer science teachers play an important role in preparing students for the challenges of the digital world, and for this, they need not only technical knowledge but also the ability to conduct pedagogical research. The rapid development of information technologies and the constant updating of educational methods require future informatics teachers not only to have in-depth knowledge of the subject but also to find new teaching methods adapted to the rapidly changing educational context, as well as to improve students' competencies, functional literacy, critical thinking, etc. in the teaching of informatics. This requires that they study their own pedagogical activities to be able to rationally choose innovative methods that contribute to the development of their skills. Second, current educational standards require teachers to have critical thinking and analytical skills, which is not possible without developed research skills. In conclusion, the development of research competencies contributes to the personal and professional growth of teachers, which positively affects the quality of education.

The purpose of this article is to justify the need and relevance of research and development of the concept of pedagogical research skills of future computer science teachers.

Forecast. The formation of pedagogical research skills of future informatics teachers contributes to increasing their professional competence, increasing the quality of teaching, and effective use of information technologies in the educational process. Developing these skills enables future teachers to critically evaluate and implement innovative teaching methods, thereby preparing students who can meet the demands of the digital world."

Research methodology

From September 2022 to February 2024, a study was conducted at the Kazakh National Pedagogical University named after Abai on the topic 'The need to develop pedagogical research skills of future computer science teachers.' Research results were presented. Qualitative and quantitative methods were used to collect data. Qualitative methods included semi-structured interviews and focus groups conducted with research participants. Interviews and focus groups aimed to determine students' perceptions of the importance of research skills and their level of mastery of these skills.

Quantitative methods included surveys and testing. The questionnaires were designed to assess the level of research skills and included questions about the ability to visualize problems, ask questions, generate hypotheses, conduct experiments, and draw conclusions. Testing was conducted to objectively assess students' research competencies. As a result of the application of these methods, a comprehensive picture of the level of development of research skills of future IT teachers was obtained, which made it possible to formulate recommendations for their further development and introduction into the educational process. The study showed that the development of research skills of future computer science teachers contributes to increasing their professional competence, improving the quality of teaching, and introducing innovative teaching methods. In addition, it helps future teachers adapt to rapidly changing technologies and the requirements of the modern educational process. As a result, the development of research skills is a key element in training qualified and competitive teachers.

Lei Zhang and Jing Wang (2024) explain how action research in education can not only improve teaching practice but also contribute to the development of teachers' reflective thinking. This process also aims to improve teachers' pedagogical skills and abilities, which in turn enhances the quality of education. Additionally, conducting action research helps develop teachers' research abilities, which is important for the continuous improvement of the educational process and achieving good results in student learning [5]. For teachers to effectively use such innovative methods in their practice, pedagogical research skills must first be developed. These skills include seeing and formulating problems, asking research questions, formulating hypotheses, defining concepts, classifying data, conducting observations and experiments, drawing conclusions, structuring material, working with text, and proving and defending ideas. Only with these skills can teachers use action research to improve the learning process and achieve meaningful results in student learning.

Let's focus on the concepts of 'skill,' 'research,' 'research skill,' and 'pedagogical research skill.' Skills are actions that are practiced as a result of long-term repetition [6]. A.I. Savenkov [7] describes research skills as the ability to perform a number of intellectual tasks. This includes being able to see the problem, ask questions, create a hypothesis, define concepts, classify data, control, conduct experiments, summarize and draw conclusions, structure material, work with text, and prove and defend ideas. P.V. Seredenko defines research skills as the ability to perform a complex of operations and their implementation. These operations are related to intellectual and practical actions that constitute research activity and lead to new knowledge [8].

Research skills reflect the main characteristics of the professional development process as the main basic elements of the personality. They show the universality of one's interaction with the outside world, contribute to the development of creative abilities, and determine the effectiveness of cognitive activity. These skills make it possible to use knowledge and research skills in any field of cognitive and practical activity. Therefore, the educational process aimed at raising the professional level of an individual, and one of the indicators of the effectiveness of a cognitive-creative school based on a scientific-creative approach, is the level of development of research skills [9].

According to the law on the status of a teacher, a teacher in his position must:

- acquire relevant professional competences;
- observe the pedagogical principles of education and training and ensure the quality of education and training at a level not lower than the requirements stipulated in the state universal education standards;

- continuously improve their professional skills, research, intellectual and creative level, including increasing the level of the qualification category at least once every five years [10].

To perform these tasks according to the requirements, the teacher should be able to recognize and know each student sitting in front of them, understand students' participation in the lesson, determine how much they learned, identify what prevented them from learning, who actively participated in the lesson, and who did not. They should be able to search for answers to these questions and find solutions.

One of the main abilities that a teacher should have is research abilities, which are manifested in the ability to understand and objectively evaluate pedagogical situations and processes [11]. The professional activity of a teacher requires special general and specific abilities. The success of professional pedagogical activity is directly related to special pedagogical abilities, one of which is the pedagogical research skills of the future teacher.

The research component of pedagogical activity [12] includes:

- updating professional knowledge;
- looking at pedagogical phenomena from a scientific point of view;
- learning pedagogical research methods;
- analyzing personal experience;
- analyzing the experience of other teachers.

The need to develop pedagogical research skills of future computer science teachers is considered important for several reasons. First, the rapid development of information technologies and their impact on education require computer science teachers to constantly improve their methods and adapt to new requirements. Second, the development of pedagogical research skills allows teachers to effectively use innovative pedagogical methods and conduct scientifically based analyses and evaluations of their pedagogical practice. It also provides an opportunity to create and implement new educational technologies that meet the needs of modern education in the information society. Third, it contributes to the professional growth of computer science teachers and improves the quality of general education. Various research methods were used to investigate and prove the need for future computer science teachers to develop pedagogical research skills. Analysis of current trends in education, especially in the field of information technologies, helps determine the need to update pedagogical methods and prepare teachers for new requirements. Surveys of students, teachers, and employers can help determine the expected competencies of computer science teachers, including pedagogical research skills. Analysis of existing scientific publications, studies, and expert opinions is also important to understand the role of pedagogical research skills in the professional activities of computer science teachers. Conducting pilot projects or courses aimed at developing the pedagogical research skills of future computer science teachers, as well as subsequent evaluation of their effectiveness and their impact on professional development and student success, can also provide evidence of the need for this area in teacher training. Expert interviews with teachers and students, as well as focus groups with experts in the field of education and information technology, help to obtain opinions and assessments regarding the importance of pedagogical research skills for computer science teachers."

Results of the study

The results of a small study on the need for the formation of pedagogical research skills of future teachers are as follows:

Hypothesis. If the work aimed at forming the pedagogical research skills of the future informatics teacher is not properly organized, it will significantly lead to insufficient professional level of the teacher. If it is said that it affects the significant decrease in the learning efficiency of the students, then by normalizing the pedagogical research skills of the future teachers, they will have a specialist with high professional training.

Research method. A questionnaire was collected from computer science teachers and future computer science teachers about their pedagogical research skills using qualitative and descriptive

comparative analysis methods using Google Forms and analyzed using the R program.

Participants. 43 computer science teachers and future computer science teachers participated in the survey. Due to the small number of participants in the survey, the results of the research are limited, so the obtained results may not give the exact nature of the mentioned matter. Also, the confidentiality of the names and answers of the responding teachers and prospective computer science teachers in the survey was preserved.

Data collection. In order to collect data, teachers and future teachers thought about the topic of the survey, and in order to get a clear answer to the main question, other additional questions were asked and prepared in consultation with the scientific supervisor several times. The survey included a total of 10 questions.

Implementation. The research took two weeks. Because the questions in the survey are directly related to computer science teachers and future computer science teachers, it took time to clarify their thoughts on the link sent. In addition, we also met colleagues who were indifferent to the sent link. Therefore, the number of respondents to the survey in the link sent was 43.

Research result: It can be seen that the teachers who responded to the research question have different methods used in the classroom. If 20% of teachers use the empirical method, another 20% use the theoretical method, and 35% use the methodological method, the remaining 25% of teachers use the question-answer method using this percentage scale (Figure 1).

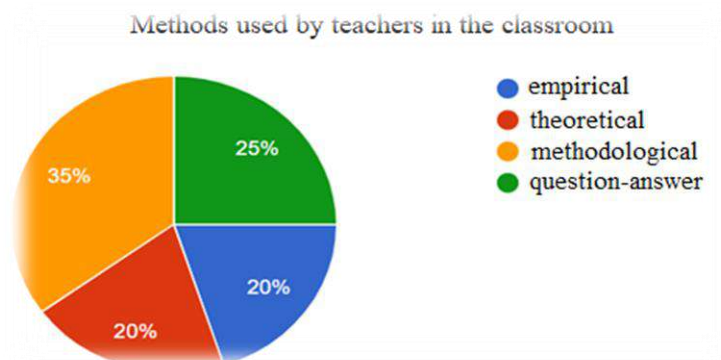


Figure 1. Is an indicator of methods used by teachers in the classroom

The result of the research is primarily to determine whether teachers' understanding of pedagogical research skills has been developed, as well as to determine whether they have an understanding of the importance of learning in the subject of informatics, "Is it important for a teacher to develop pedagogical research skills for the subject of informatics?", "Does building research skills require years of experience?", "Do you support the need to improve the training of future computer science teachers?" questions were asked. When the answers were analyzed in the R programming environment, the result was as follows (Figure 2).

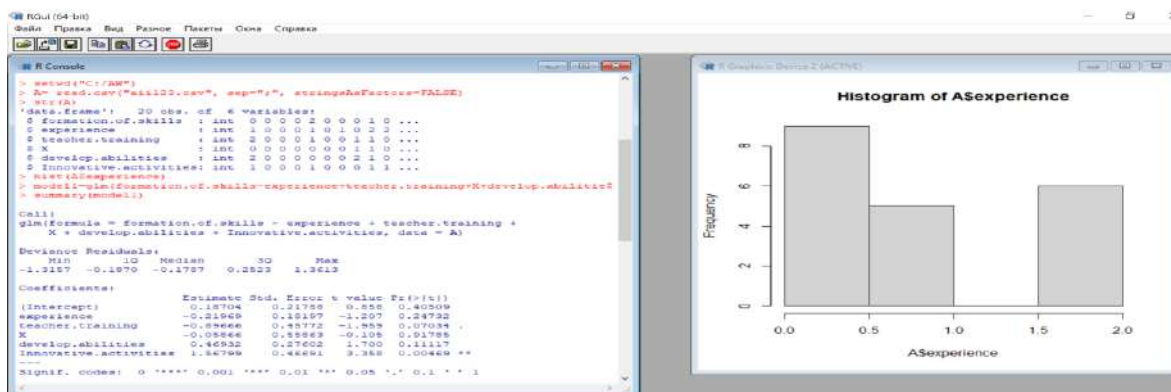


Figure 2. Information on teachers' perceptions of pedagogical research skills

If the information is presented in tabular form (Table 1).

Table 1. Information on teachers' perceptions of pedagogical research skills

Question/answer	yes	no	a little
Is it important that a computer science teacher has developed pedagogical research skills?	80%	15%	5%
Does building research skills require years of experience?	45%	25%	30%
Do you support the need to improve the training of future computer science teachers?	80%	15%	5%

In addition, among teachers, "After the lesson, do you analyze the students according to your previous method?", "Is computer science important in education?" questions were asked and the answers were analyzed. Although 65% of the survey participants say "I definitely do it", 20% of them do it occasionally, i.e. "sometimes". Among the teachers, there were even those who "do not do analysis at all". This shows that some of our teachers are indifferent to their work (Figure 3).

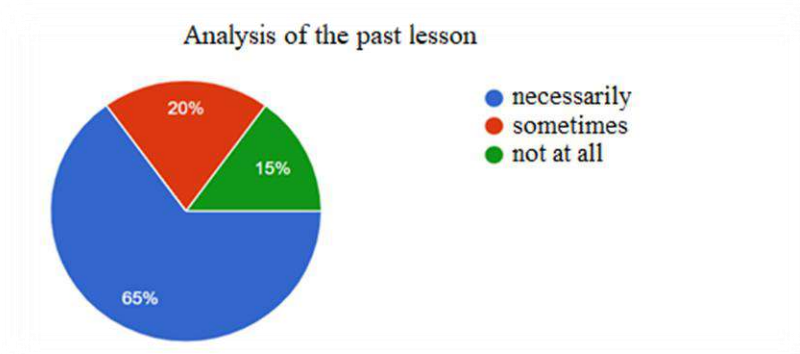


Figure 3. "After your lesson, do you analyze the students according to your previous method?"
The share of respondents to the question

Next "Is computer science important in education?" 90% of teachers said that it is important, and 10% decided that it is not important.

To the teachers, "Does the teacher's use of his skills during teaching enable the development of students' learning abilities?", "Do you think that it is necessary to improve the skills of the teacher in order to implement innovative activities?" questions were also asked. It can be seen that 75% of them responded that the use of their skills during teaching "enables" the development of students' learning abilities, while 10% of teachers chose the answer "does not allow". At the same time, 15% believe that it "gives a little opportunity" (Figure 4).

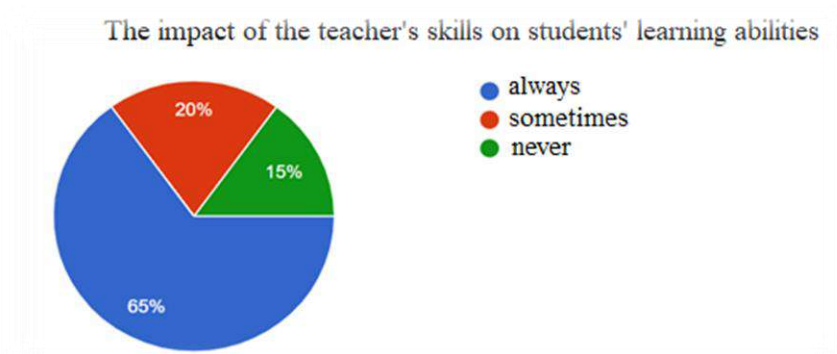


Figure 4. "Does the use of the teacher's skills during teaching enable the development of students' learning abilities?" percentage scale of the question

In the questionnaire "Are you familiar with the courses for training teachers in pedagogical skills?", "Do you think that formation of pedagogical research skills is effective and necessary?" questions were also encountered. Are you familiar with the courses for training teachers in pedagogical skills? 55% answered "yes, I'm familiar with it", 25% answered "no, I'm not familiar with it", 15% said "passing the course is not important", and 5% came to the conclusion that "courses do not help" (Figure 5).

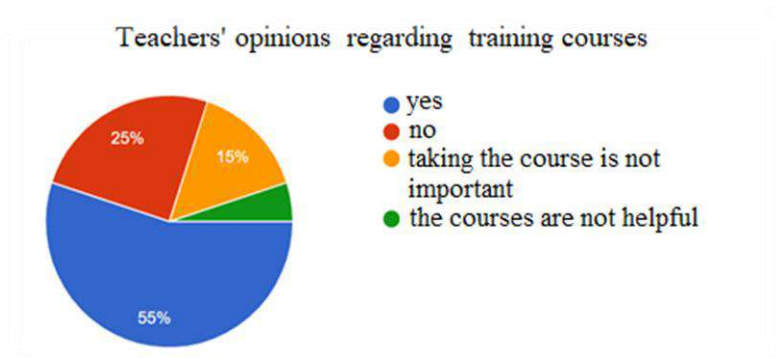


Figure 5. M teachers' "Are you familiar with the courses for training teachers in pedagogical skills?" answers to the question

Next "Do you think that the formation of pedagogical research skills is effective and necessary?" 35% answered "effective but not necessary", 25% answered "not effective but necessary", the remaining 35% answered "yes, necessary and effective" and 5% answered "no, not necessary". and not effective" (Figure 6).

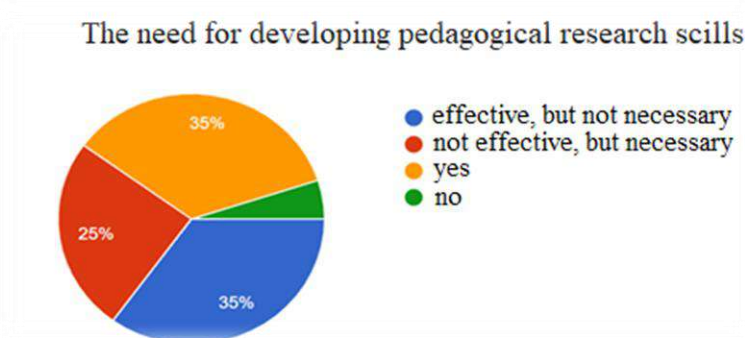


Figure 6. "Formation of pedagogical research skills is effective and do you think it is necessary?" answers to the question

Discussion

From the results of the research, a questionnaire was collected from 43 teachers of informatics and future teachers of informatics about the formation of pedagogical research skills of future informatics teachers and analyzed using the R program. Based on the results of the research, teachers' views on the formation of pedagogical research skills of the future computer science teacher were determined. During the research, it became known that all teachers (100%) use the methods during the lesson. However, it uses a different method. For example, 20% of teachers use the empirical method, another 20% use the theoretical method, and 35% use the methodological method, and the remaining 25% use the question-and-answer method. According to the methods used, it was found that some teachers (20%) only sometimes analyze for themselves after the lesson, and some teachers (15%) do not analyze at all. In this way, if the teacher does not report to himself for a long time and does not analyze, it leads to insufficient pedagogical professional competence and skills. And it, in turn, affects the significant decrease in the efficiency of teaching students. For this reason, the vast majority of

teachers (80%) believe that it is important for a teacher to develop pedagogical research skills for computer science. In addition, according to the results of the survey, the teacher's use of his skills during teaching allows students to develop their learning abilities (75%). In addition, it was concluded that only after improving the education of teachers in special courses, they will learn the formation of pedagogical research skills at a sufficient level, and the interest and responsibility of the teacher will increase.

Conclusion

Summarizing the conducted experiment, the need to develop pedagogical research skills of future computer science teachers was determined. These skills allow teachers to effectively adapt to changes in the educational environment, develop innovative methods of teaching and assessment, and contribute to the development of the educational and scientific community. The development of pedagogical research skills helps to increase the professional competence of computer science teachers and provides quality education in accordance with modern requirements and requirements of students. Therefore, focusing on the development of these skills in the process of training future computer science teachers is an important step in improving the education system and preparing qualified teachers for the digital age.

Comparing our results with previous studies, our findings are consistent with international trends. Research on teacher action research and lesson research also emphasizes the importance of incorporating research into teacher education curricula. However, our approach to teaching research skills has its own peculiarities depending on the context of the Kazakhstan education system. These features can serve as a basis for further comparative research and exchange of experience.

Prospects for further research:

- in the future, it is necessary to study in depth the impact of various teaching methods and technologies on the development of research skills of pedagogical students;
- it is important to study the long-term impact of these skills on the professional activity of teachers, which allows for a more accurate assessment of the effectiveness of current educational methods;
- additional attention should be paid to the development and implementation of innovative methods and tools that help to acquire research skills more effectively in a rapidly changing technological environment.

Thus, our study confirms the importance of developing the pedagogical research skills of future computer science teachers and indicates the need for further efforts to improve educational programs.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

[1] Сәлғожа И.Т. (2021). Болашақ информатика пәнінің мұғалімдерін сыныптан тыс жұмыстарға әдістемелік дайындау. Абай атындағы ҚазҰПУ-нің Хабаршысы, «Физика-математика ғылымдары» сериясы, No4(76), 2021. 210-218 б. DOI: <https://doi.org/10.51889/2021-4.1728-7901.29>

[2] Zajić J.O., Mamutović A., Maksimović J. (2021). The Role of Action Research in Teachers' Professional Development (2021) International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering and Education, 9 (3), pp. 301 - 317, Cited 1 times. DOI: <https://doi.org/10.23947/2334-8496-2021-9-3-301-317>. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85127502279&doi=10.23947%2f2334-8496-2021-9-3-301-317&partnerID=40&md5=8a90b006e4dbcae3e54a9918f47e795a>

[3] Әлімбаева Г.Б., Тұрғанова М.М. (2021). Жоғары оқу орындарында физика курсын оқытуда студенттердің зерттеушілік мәдениетін қалыптастыру. Абай атындағы ҚазҰПУ-нің ХАБАРШЫСЫ, «Физика-математика ғылымдары» сериясы, No1(73), 2021 ж. DOI: <https://doi.org/10.51889/2021-1.1728-7901.10>

[4] Молдабекова С., Битибаева Ж.М. (2020). Некоторые особенности формирования исследовательских умений студентов в контексте практико-ориентированного подхода. ВЕСТНИК

КазНПУ им. Абая, серия «Физико-математические науки», No1(69). DOI: <https://doi.org/10.51889/2020-1.1728-7901.44>

[5] Zhang L., Wang J. (2024). "Curriculum-based or ideology-based": An action research on China's curriculum-based ideology and virtuous awareness education in second language writing teaching: An activity theory perspective. *Heliyon*, Volume 10, Issue 11, ISSN 2405-8440. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32631>

[6] Sozdikqor.kz порталы <https://sozdikqor.kz/soz?id=147336&a=Da%C7%B5dy> (дата обращения: 02.04.2024).

[7] Савенко, А. И. (2024). Педагогика. Исследовательский подход : учебник и практикум для вузов / А. И. Савенков. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, – 400 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-17019-1. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/532199> (дата обращения: 02.05.2024).

[8] Середенко П.В. (2014). Развитие исследовательских умений и навыков младших школьников в условиях перехода к образовательным стандартам нового поколения: монография. Южно-Сахалинск: Изд-во СахГУ. - 208 с. <https://clck.ru/3BeFY5> (дата обращения: 02.04.2024).

[9] Лубинская Т.Н. (2009). Исследовательские умения и навыки как базовые компоненты профессионального становления личности // Вестник ВятГУ. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovatel'skie-umeniya-i-navyki-kak-bazovye-komponenty-professionalnogo-stanovleniya-lichnosti> (дата обращения: 24.06.2024).

[10] Педагог мәртебесі туралы Қазақстан Республикасының Заңы 2019 жылғы 27 желтоқсандағы № 293-VI ҚРЗ.

[11] Адамова, У. К. (2016). Педагогические способности преподавателя и методы их развития / У. К. Адамова, Н. Р. Кутлимуротова, М. А. Каландарова. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – № 13 (117). – С. 760-763. – URL: <https://moluch.ru/archive/117/31209/> (дата обращения: 24.06.2024).

[12] Жусупова Ж.А. (2011). Педагогикалық шеберлік: Оқулық. Алматы.- 316 бет. <http://rmebrk.kz/bilim/association/jusipova-pedagogikalyk-sheber.pdf>

References

[1] Salgozha I.T. (2021). Bolashak informatika pəninin mugalimderin synyptan tys zhumystarga adistemelik dajyndau [Methodological preparation of future computer science teachers for extracurricular work.]. Abaj atyndagy KazUPU-nin HABARShYSY, «Fizika-matematika gylymdary» serijasy, No4(76),. 210-218 b. DOI: <https://doi.org/10.51889/2021-4.1728-7901.29> (in Kazakh)

[2] Zajić J.O., Mamutović A., Maksimović J. (2021). The Role of Action Research in Teachers' Professional Development International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering and Education, 9 (3), pp. 301 - 317, Cited 1 times. DOI: <https://doi.org/10.23947/2334-8496-2021-9-3-301-317>. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85127502279&doi=10.23947%2f2334-8496-2021-9-3-301-317&partnerID=40&md5=8a90b006e4dbcae3e54a9918f47e795a> (in English)

[3] Alimbekova G.B., Turganova M.M. (2021). Zhogary oku oryndarynda fizika kursyn oqytuda studentterdin zertteushilik madenietin kalyptastyru [Formation of a research culture among students in teaching physics courses in higher education institutions]. Abaj atyndagy KazUPU-nin HABARShYSY, «Fizika-matematika gylymdary» serijasy, No1(73), zh. DOI: <https://doi.org/10.51889/2021-1.1728-7901.10> (in Kazakh)

[4] Moldabekova S., Bitibaeva Zh. M. (2020). Nekotorye osobennosti formirovaniya issledovatel'skih umenij studentov v kontekste praktiko-orientirovannogo podhoda [Some features of the development of students' research skills in the context of a practice-oriented approach]. VESTNIK KazNPU im. Abaya, serija «Fiziko-matematicheskie nauki», No1(69), DOI: <https://doi.org/10.51889/2020-1.1728-7901.44> (in Russian)

[5] Zhang L., Wang J. (2024). "Curriculum-based or ideology-based": An action research on China's curriculum-based ideology and virtuous awareness education in second language writing teaching: An activity theory perspective. *Heliyon*, Volume 10, Issue 11, ISSN 2405-8440. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32631>

[6] Sozdikqor.kz порталы <https://sozdikqor.kz/soz?id=147336&a=Da%C7%B5dy> [Электронный ресурс] // Sozdikqor.kz (date of request: 02.04.2024).

[7] Savenkov, A. I. (2024) Pedagogika. Issledovatel'skij podhod [Pedagogy. Research approach]: uchebnik i praktikum dlja vuzov / A. I. Savenkov. – 2-e izd., ispr. i dop. – Moskva : Izdatel'stvo Jurajt. – 400 s. – (Vysshee

obrazovanie). – ISBN 978-5-534-17019-1. – Tekst: jelektronnyj // Obrazovatel'naja platforma Jurajt [sajt]. – URL: <https://urait.ru/bcode/532199> (date of request: 02.05.2024). (in Russian)

[8] Seredenko P.V. (2014). Razvitie issledovatel'skih umenij i navykov mladshih shkol'nikov v uslovijah perehoda k obrazovatel'nyim standartam novogo pokolenija [Developing research skills and abilities in primary school students in the context of the transition to new generation educational standards]: monografija. Juzhno-Sahalinsk: Izd-vo SahGU. – 208 s. <https://clck.ru/3BeFY5> (date of request: 02.04.2024). (in Russian)

[9] Lubinskaja T.N. (2009). Issledovatel'skie umeniya i navyki kak bazovye komponenty professional'nogo stanovleniya lichnosti [Research skills and abilities as basic components of professional development of an individual]. Vestnik VjatGU. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovatel'skie-umeniya-i-navyki-kak-bazovye-komponenty-professionalnogo-stanovleniya-lichnosti> (data obrashheniya: 24.06.2024). (in Russian)

[10] Pedagog martebesi turaly Kazakstan Respublikasynyn Zany [Law of the Republic of Kazakhstan on the status of a teacher] 2019 zhylgy 27 zheltoksandagy № 293-VI KRZ.

[11] Adamova, U. K. (2016). Pedagogicheskie sposobnosti prepodavatelja i metody ih razvitija [Pedagogical abilities of a teacher and methods of their development]. U. K. Adamova, N. R. Kutlimurotova, M. A. Kalandarova. – Tekst : neposredstvennyj // Molodoj uchenyj. № 13 (117). – S. 760-763. – URL: <https://moluch.ru/archive/117/31209/> (date of request: 24.06.2024). (in Russian)

[12] Zhusupova Zh.A. (2011). Pedagogikalyk sheberlik [Pedagogical Sheberlik]: Okulyk. Almaty, - 316 bet. <http://rmebrk.kz/bilim/association/jusipova-pedagogikalyk-sheber.pdf> (in Kazakh)