

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
№1(89)

Алматы, 2025

Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті

ХАБАРШЫ

«Физика-математика ғылымдары»
сериясы №1 (89), 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

Техникалық хатшы:

Нургали Ж.А.

Редакциялық алқа мүшелері:

Dr.Sci. К.Алимхан (Japan),

Phd.d. А.Сабата (Spain),

Phd.d. Е. Kovatcheva (Bulgaria),

Phd.d. М. Ruzhansky (England),

п.ғ.д., профессор В.В. Гриншкун (Ресей),

ф.-м.ғ.д., профессор С.И. Кабанихин
(Ресей),

ф.-м.ғ.д., профессор Ф.Ф. Комаров,

(Республика Беларусь),

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 А.Е. Абылқасымова,

т.ғ.д., профессор Е. Амиргалиев,

т.ғ.д., профессор Б.С. Ахметов,

ф.-м.ғ.д., профессор А.С. Бердышев,

т.ғ.д., профессор К. Бисембаев,

т.ғ.д., профессор Н.С. Заурбеков,

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 27.03.2025 қол қойылды
Пішімі 60x84 1/8. Көлемі 38,25 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 МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ
МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
MATHEMATICS AND MATHEMATICAL MODELING

Алимбаева Б.К., Сақыпбекова М.Ж., Сагимбаева Л.А., Газиз Г.Г., Мошкалова А.Қ. Моделирование невзаимных устройств на основе упругих метаматериалов.....	7
Alpysbayeva A.E., Murzambetova M.B., Ryskan A.R. Mixed-type differential equation with fractional derivative in the caputo sense.....	20
Бекбауова А.У. О решениях в широком смысле нелинейных систем в частных производных первого порядка	28
Быстрова С.В., Джужбаева Б.Г., Акишев Т.Б., Кыдырбаева А.Б., Чердаков В.И. Моделирование процесса регулирования давления пара в котлоагрегате	38
Jumabayeva A.A., Zhetpisbayeva A.E. Inequality of the best angular approximation	50
Сейлова Р.Д., Талипова М.Ж., Турганбаев А. Некоторые условия управляемости квазилинейных интегро-дифференциальных уравнений с импульсным воздействием ..	67
Төлеуғазы Е., Кервенев Қ.Е., Искаков С.А. Жалпыланған аралас тегістігі бар Никольский-Бесов кеңістігінің шекаралық функциялары	76
Tuleuova R.U. Numerical study of the thermoelastic state of the rod in the presence of a heat flux specified by a quadratic law	84
МАТЕМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ METHODS OF TEACHING MATHEMATICS	
Abylkasymova A.E., Tuяakov E.A., Rysbekova G.A. Applied orientation of teaching stochastic methods to engineering students	95
Кокажаева А.Б., Оспанова А.М., Майбазарова Б.Д., Бергенжанова Г.Р. Мектеп геометрия курсын оқытуда оқушылардың логикалық ойлау дағдыларын қалыптастыру	106
Сартабанов Ж.А., Шауқенбаева А.К. Математика тарихындағы ақиқаттарды және Фараби мұрасын игіліктендіру мәселесі	117

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

Технический секретарь:

Нурғали Ж.А.

Члены редколлегии:

Dr.Sci. К.Алимхан (Japan),

Phd.d. А.Сабата (Spain),

Phd.d. Е.Ковачева (Bulgaria),

Phd.d. М. Ружанский (England),

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

д.ф.-м.н., профессор С.И. Кабанихин
(Ресей),

д.ф.-м.н., профессор Ф.Ф. Комаров,

(Республика Беларусь),

д.ф.-м.н., профессор В.М. Лисицин

(Ресей),

д.п.н., профессор Н.И. Пак (Ресей),

д.ф.-м.н., профессор А.Л. Семенов (Ресей),

д.п.н., профессор А.Е. Абылкасымова,

д.т.н., профессор Е. Амиргалиев,

д.т.н., профессор Б.С. Ахметов,

д.ф.-м.н., профессор А.С. Бердышев,

д.т.н., профессор К. Бисембаев,

д.т.н., профессор Н.С. Заурбеков,

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. Сыдықов,

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 27.03.2025.

Формат 60x84 1/8. Об. 38,25 уч.-изд.л.

Тираж 300 экз. Заказ 621.

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

Адилжанова С.А., Абдулкаримова Г.А., Гусманова Ф.Р., Жубанышева Г.Т. Ақпараттық қауіпсіздік саласындағы тәуекелдерді талдау және басқару үшін платформа құру	134
Aidarbekov A., Ibraimov A., Murzabekova G., Aidarbekova A., Satybaldy N. Impact of artificial intelligence and long short-term memory scriptwriting platforms on business-processes optimization of control systems in film industry	144
Aitim A.K., Toleukhan A.E., Chshir Sh.R. Development of a mobile application for delivery in rural regions	152
Бурибаев Ж.А., Абдиразак З.Б., Еркос А., Жасузақ М.С., Омарова П.Т. Геоинформационная система для анализа и визуализации геопространственных данных в регионах Западного Казахстана	164
Даркенбаев Д.К., Мекебаев Н.О. Машиналық оқыту алгоритмдерін несиелік тәуекелді бағалауда қолдану	176
Kazbekova G.N., Zhunissov N.M., Amanov A.N., Abibullayeva A.A., Aben A.B. Application of SWARA and DNMA methods in recruiting software	186
Mussiraliyeva Sh., Bolatbek M., Temirgazyieva Sh. Development of a method for graphical destructive content analysis	201
Оган Н., Исабаева Д.Н., Исабаева С.Н., Чайко Е. Жасанды интеллект негізіндегі адаптивті оқу платформасын әзірлеудің алғышарттары	210
Омаров Б., Сердалы А.Қ., Ыдырыс А., Омаров Б. Mini-vggnet негізіндегі конволюциялық нейрондық желілер көмегімен желіге рұқсатсыз енуді анықтау	219
Оспанов Р.М., Сейткулов Е.Н., Ергалиева Б.Б., Утебаев К.А., Атанов С.К. TANBA-SPHINCS+ – постквантовый криптографический алгоритм цифровой подписи, основанной на хешировании	235
Сабырханова Г.Ш., Сембиев О.З., Есмагамбетов Б.С. Білім беру жүйесінде blockchain технологиясын пайдалану арқылы автоматтандырылған контейнерлік модель құру	247
Султанова Д.А. Сравнительное исследование алгоритмов машинного обучения для обнаружения фишинговых сайтов	258

Abai Kazakh National
Pedagogical University

BULLETIN
Ser. Physics & Mathematical Sciences

№1 (89), 2025.

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

Technical Secretary:
Nurgali J.A.

Editorial board:
Dr.Sci. K. Alimhan (Japan),
Phd.d. A. Cabada (Spain),
Phd.d E. Kovatcheva (Bulgaria),
Phd.d. M. Ruzhansky (England),
Dr.Sci. V.V. Grinshkun (Russia),
Dr.Sc. S.I. Kabanikhin (Russia),
Dr. Sci. F.F. Komarov (Republic of
Belarus),
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.(Engineering) Ye. Amirgaliyev,
Dr.Sci. B.S. Akhmetov,
Dr. Sci. A.S. Berdyshev,
Dr. Sci. K. Bisembaev,
Dr. Sci. N.S. Zaurbekov,
Dr. Sci. M.N. Kalimoldayev,
Dr.Sci.(Engineering) M.K. Kulbek,
Dr. Sci. S.T. Mukhambetzhanozov,
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 27/03/2025
Format 60x84 1/8. Vol. 38,25 p.
Printing 300 copies. Order 621.

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

ИНФОРМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ.
БІЛІМ БЕРУДІ АҚПАРАТТАНДЫРУ

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОРМАТИКИ.
ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

METHODS OF TEACHING COMPUTER SCIENCE.
INFORMATIZATION OF EDUCATION

- Дуйсекеева Б., Конева С., Сарсембаева Т.
Орта білім беруде дербестендірілген оқыту: жүйелі әдеби
шолу 266
- Қанатбекова А.А., Кемелбек М.Н., Береке М.Б.,
Шералиева Р.А., Есиркеп С.К.
Анализ популярных программ с использованием
искусственного интеллекта в образовании: предпочтения
студентов 282
- Керімбаев Н.Н., Меңлібай Ж.Ғ.
Генеративті жасанды интеллекттің интеграциялау арқылы
бағдарламалау тілін оқыту 293
- Mubarakov A.M., Duisegaliyeva A.D.,
Baibaktina A.T., Kaipova A.D.
Measuring the process of integrating artificial intelligence tools
into the professional activities of computer science teachers 303
- Нурбекова Ж.К., Абдувалиев Р.А.
Классификация технологий эмоционального искусственного
интеллекта, используемых в образовательном процессе 312
- Smagulov Y., Zhiyembayev Zh., Bokan M.
Artificial intelligence in education: impact, applications and
future prospects 321

МАТЕМАТИКА ЖӘНЕ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ
МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
MATHEMATICS AND MATHEMATICAL MODELING

МРНТИ 29.19.30

10.51889/2959-5894.2025.89.1.001

Б.К. Алимбаева^{1*}, М.Ж. Сақыпбекова², Л.А. Сагимбаева², Г.Г. Газиз², А.Қ. Мошкалов³

¹ Университет международного бизнеса, г. Алматы, Казахстан

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

³ Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

*e-mail: bagilaalimbayeva@gmail.com

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕВЗАИМНЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ УПРУГИХ
МЕТАМАТЕРИАЛОВ**

Аннотация

В работе рассматривается одномерная нелинейная периодическая структура, обладающая эффектом невзаимности распространения упругих волн. Известно, что микроструктурированные среды способны контролировать распространение волн за счет особенностей своей внутренней структуры. В частности, упругие линейные решетки, состоящие из точечных масс и упругих неинерционных связей, демонстрируют выраженные дисперсионные и фильтрующие свойства, даже при их однородности. Для эффективного использования этих свойств важно детально изучить динамические характеристики структуры. Анализ дисперсионного соотношения предложенной модели выявил значительные преимущества, позволяющие целенаправленно манипулировать распространением упругих волн. В частности, рассмотрены одноатомные и двухатомные системы как с одинаковой, так и с различной жесткостью. Показано, что новая нелинейная упругая периодическая структура обладает преимуществами перед другими видами периодических структур, в том числе повышенной чувствительностью к гибкости при регулировании запрещенной зоны. Динамическое поведение упругой системы исследуется аналитически и сравнивается с численными решениями. На основе полученных результатов предложена конструкция невзаимного устройства, в которой реализуется включение как линейных, так и нелинейных цепей. Эффект невзаимности для передаваемых волн обусловлен эффектом связи, который подтверждается расчетом двух взаимных работ между приложенными силами.

Ключевые слова: метаматериалы, волновая механика, двухатомная решетка, одномерная цепь, микроархитектура.

Б.К. Алимбаева^{1*}, М.Ж. Сақыпбекова², Л.А. Сагимбаева², Г. Газиз², А.Қ. Мошкалов³

¹Халықаралық бизнес университеті, Алматы, Қазақстан

²әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

³Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

**СЕРПІМДІ МЕТАМАТЕРИАЛДАР НЕГІЗІНДЕГІ РЕЦЕПРОКАТТЫ ЕМЕС
ҚҰРЫЛҒЫЛАРДЫ МОДЕЛЬДЕУ**

Аңдатпа

Біз серпімді толқынның таралуының өзара емес әсерін қолдайтын бір өлшемді сызықты емес периодтық құрылымды қарастырамыз. Микроқұрылымды орталардың ішкі микроқұрылымы арқылы толқынның таралуын басқару мүмкіндігі бар екені белгілі. Нүктелік массалар мен серпімді инерциялық емес байламдардан тұратын серпімді сызықты торлар біртекті болса да дисперсиялық және сүзу

қасиеттерін көрсетеді. Бұл мүмкіндікті пайдалану үшін құрылымның динамикалық қасиеттерін түсіну маңызды. Осы жұмыста қарастырылған әртүрлі модельдер үшін дисперсия қатынасының нәтижелері (қаттылығы бірдей және әртүрлі монотомдық, екі атомды жүйелер) жаңа сызықты емес серпімді периодтық құрылымның периодтық құрылымдардың басқа түрлеріне қарағанда айқын артықшылықтары бар екенін көрсетеді жолақ аралығы, бұл жаңа сызықты емес серпімді периодтық құрылымның периодтық құрылымдардың басқа түрлерімен салыстырғанда айқын артықшылықтарға ие екенін, соның ішінде саңылау жолағы кезінде икемділіктің жоғары сезімталдығын көрсетеді. Серпімді жүйенің динамикалық әрекеті аналитикалық түрде зерттеліп, сандық шешімдермен салыстырылады. Модельдік дисперсия қатынасының нәтижелері серпімді толқынның таралуын басқарумен байланысты айқын артықшылықтарды көрсетті. Алынған нәтижелер негізінде сызықтық және сызықты емес тізбектерді қосу арқылы өзара емес құрылғының конструкциясы енгізілген. Қосылу эффектісіне байланысты берілетін толқындар үшін ерекше кері емес әсер, әсер етуші күштер арасындағы екі өзара жұмысты есептеу арқылы бекітілген теориялық тұжырымдама негізінде тексеріледі.

Түйін сөздер: метаматериалдар, толқындық механика, екі атомды торлар, бір өлшемді циркуляция, микроархитектура.

B.K. Alimbaeva^{1*}, M.Zh. Sakypbekova², L.A. Sagimbayeva², G. Gaziz², A.K. Moshkalov³

¹University of International Business, Almaty, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

³Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

MODELING OF NONRECIPROCATIVE DEVICES BASED ON ELASTIC METAMATERIALS

Abstract

We consider a one-dimensional nonlinear periodic structure that supports the effect of nonreciprocity of elastic wave propagation. It is known that microstructured media have the ability to control wave propagation due to the internal microstructure. Elastic linear lattices consisting of point masses and elastic non-inertial ligaments exhibit dispersive and filtering properties, even if they are homogeneous. To exploit this advantage, it is important to understand the dynamic properties of the structure. The dispersion relation results for different models considered in this paper (monoatomic, diatomic systems with the same and different stiffness) show that the new nonlinear elastic periodic structure has obvious advantages over other types of periodic structures, including greater sensitivity to flexibility in band gap manipulation. The dynamic behavior of the elastic system is investigated analytically and compared with numerical solutions. The results for the dispersion relation model demonstrated obvious advantages related to the manipulation of elastic wave propagation. Based on the obtained results, the design of non-reciprocal device is introduced by including linear and non-linear circuits. The specific non-reciprocal effect for transmitted waves due to coupling effect is verified based on the theoretical concept supported by the calculation of two mutual works between applied forces.

Keywords: metamaterials, wave mechanics, two-atom lattice, one-dimensional circuit, microarchitecture.

Введение

Метаматериалы – это рационально спроектированные композиты с инженерной архитектурой, которые демонстрируют необычайные макроскопические свойства, являющиеся результатом коллективного ответа периодически конструируемых метаатомов, а не отдельных [1–5]. В настоящее время метаматериалы привлекают все большее внимание из-за постоянно растущих требований к материалам в различных приложениях. Префикс мета, от древнегреческого, означает «за пределами», и он относится к новому классу передовых материалов с превосходными явлениями, которые не встречаются в обычных материалах [6,7, 8, 9, 10]. Эффективные свойства этих композитных материалов в значительной степени зависят от спроектированной микроархитектуры. После первых применений в оптике метаматериалы быстро вошли в различные физические области, включая фотонику, акустику, материаловедение, механику. В настоящее время метаматериалы привлекают все большее внимание из-за своих отрицательных или экстремальных упругих, термических, структурных, механических и динамических свойств и расширили спектр приложений, которые пользуются большим спросом, например, сбор энергии, датчики, биомедицина, автомобилестроение,

аэрокосмическая промышленность, распознавание речи, обработка сигналов, устройства маскировки, создание фильтров и т. д. Значительную роль в развитии метаматериалов играет быстрое развитие технологий производства, особенно аддитивного производства, включая оптическую 3D-печать, передовую литографию, многофотонную 4D-печать и нанопечать. Конструкции, разработанные с использованием передовых технологий цифрового производства, продемонстрировали свою высокую производительность в современных устройствах [11, 12]. Следовательно, с быстрым развитием технологических методов метаматериалы становятся все более активными и эффективными и зарекомендовали себя как «умные материалы».

Механические метаматериалы основаны на периодически спроектированных элементарных ячейках, разработанных с использованием структурных элементов, таких как балки, стержни и массы с настроенными свойствами [13]. В последние годы было проведено много исследований различных механических метаматериалов с необычайной прочностью относительно их плотности [6], отрицательным коэффициентом Пуассона [14, 15, 16], показателями преломления [17, 18, 19] и свойствами жесткости [20], хиральностью [21,22,23], программируемыми [24] и другими метаматериалами. Достижения в области метаматериалов могут быть применены для создания искусственных сред с любыми динамически разрешенными свойствами [25], [26], и, что примечательно, эти свойства могут быть изменены произвольно как в пространстве, так и во времени, что делает метаматериалы активными, настраиваемыми, реагирующими на окружающую среду. Это открывает необычайные возможности в различных областях, расширяя спектр их применения: они могут служить механическими фильтрами, волноводами, диодами и резонаторами, которые могут обеспечить решения реальных проблем.

Периодические структуры являются дисперсионными, и для понимания их динамического поведения важно получить дисперсионную диаграмму, связывающую частоту колебаний с волновым числом. В этой связи подробный анализ дисперсионного соотношения может служить базовым инструментом для моделирования новых структур [27, 28].

Хорошо известно, что бесконечные периодические системы [29,30] демонстрируют фильтрующее поведение. Анализ Флоке-Блоха показывает, что в таких системах существует определенный диапазон частот, в котором при отсутствии диссипации волны распространяются без затухания, в то время как в других диапазонах частот волны затухают экспоненциально, а показатель затухания может достигать значений, недостижимых из-за диссипативных эффектов. Для бесконечно периодических систем эти диапазоны частот обозначаются как «полоса пропускания» и «полоса задерживания». Спектральный анализ для волн Блоха в периодических системах удобно применять к конечным системам и, следовательно, к реальным структурам с аналогичными свойствами передачи [31,32], даже для небольшого числа повторяющихся единиц [33]. В этом случае более корректно обозначать частотные интервалы как области распространения и нераспространения. В реальных структурах дефекты и несовершенства структурных свойств могут вносить «загромождение», которое в определенном диапазоне несколько изменяет дисперсионные свойства системы, особенно в акустических ветвях [34]. Дисперсионный анализ упругих решеток [35,36,37,38] показывает, что дискретный характер упругой системы приводит к появлению дисперсии, где число полос зависит от числа лагранжевых координат в элементарной ячейке. В таких системах особые свойства, такие как биение волн и возникновение запрещенных зон, достигаются путем периодического изменения жесткости и плотности компонентов решетки [39].

Другой источник дисперсии связан с геометрией и граничными условиями, как в структурной механике, где, начиная с трехмерной теории сплошной среды и следуя асимптотической процедуре, получают структурные модели, такие как балки, пластины или оболочки, которые являются дисперсионными. Хорошо известными примерами являются изгибные волны в пластинах и балках или волны Лэмба. Приложения, объединяющие

структурные модели и периодические системы, можно найти в [40,41,42], а квазипериодические системы были рассмотрены в [43,44].

Изучение нелинейных метаматериалов является активной областью исследований, которая объединяет концепции из таких дисциплин, как материаловедение, нелинейная динамика и физика конденсированного состояния. Нелинейность в волновой механике является источником богатого и широкого спектра явлений управления волнами, которые недоступны для линейных материалов [45,46], включая амплитудно-зависимую запрещенную зону [47,48], генерацию гармоник высокого порядка [49], уединенную волну [50,51]. Например, динамическое поведение нелинейной системы зависит от амплитуды движения. Эта зависимость влияет на дисперсионное соотношение, что приводит к изменениям в зонах распространения и затухания структуры. Амплитудно-зависимое свойство нелинейной структуры дает возможность проектировать активно-настраиваемые фильтры вибрации, которые способны модулировать поведение распространяющейся волны при определенных условиях.

Также нелинейность позволяет системам поддерживать невзаимное распространение волн, это может быть связано с амплитудно-зависимой скоростью [52]. Существуют различные подходы к анализу дисперсионного соотношения для нелинейных периодических структур при определенных предположениях. Наиболее часто используемые подходы - это метод Линдстедта-Пуанкаре, теория возмущений, конечные элементы и т. д. Результаты всех случаев доказали зависимость частоты от величины нелинейности, а также от амплитуды начального возбуждения [53,54]. Несмотря на все преимущества, нелинейности часто удавалось избежать из-за необходимого сложного анализа, поскольку аналитических решений для большинства нелинейных систем не существует, а нелинейные эффекты в системе еще больше усложняют задачу. Тем не менее, новые усовершенствования аналитических методов и вычислительной мощности прокладывают пути для введения эффектов нелинейности в структуры для генерации уникальных нелинейных волновых откликов [55]. На основе этих ответов могут быть разработаны передовые инженерные устройства и функции, такие как настраиваемые фильтры и изоляция [56], роботизированное движение [55], устройства защиты от ударов [52], акустические линзы [57], переключатели, диоды [58], экранирование сейсмических волн [59].

Способность нарушать взаимность в материалах открывает возможности экстремальной волновой динамики и механизмов управления и обеспечивает революционные решения существующих проблем и полезные инструменты для будущих приложений. Изучение невзаимного распространения волн представляет большой интерес как для фундаментальных исследований, так и для инженерных приложений. Настоящая работа сосредоточена на исследовании новых концепций оптимального проектирования периодической микроструктуры, способной контролировать распространение упругих волн для защиты объекта от нежелательных вибраций, и их всестороннего анализа. Мы предлагаем моделировать невзаимное устройство, состоящее из комбинации упругой нелинейной решетки с квадратичной нелинейностью и линейной цепи. Важным свойством модели является способность нарушать взаимность для фильтрации волн передачи. В эластодинамической взаимности определяется симметрия между действием и реакцией в твердых телах и может быть выражена как свертка между двумя упругими состояниями.

Взаимность может быть разбита по-разному, структурированными пространственно-зависимыми и зависящими от времени конститутивными свойствами [60] и внешним смещением [62,63], в нашей модели она достигается конститутивной нелинейностью [61] системы. Численные решения получены аналитически и численно с использованием моделирования методом конечных элементов (FEM) в Python для проверки результатов, которые хорошо согласуются с теоретическим дисперсионным соотношением.

Методология исследования

2. Дисперсионное соотношение одномерных упругих метаматериалов

2.1. Модель одноатомной решетки – одинаковая масса, одинаковая жесткость

Мы будем исследовать продольное колебательное движение бесконечной системы масса – пружина, как показано на рис. 1. Мы рассматриваем модель одномерной цепи, состоящей из периодически расположенных точек, расположенных на $x_j = (jl, 0)$ и l – начальном расстоянии, имеющих одинаковую массу m , связанную жесткостью пружины K , как показано на рис. 1. Каждой частице внутри структуры присваивается индекс $j \in Z_0$

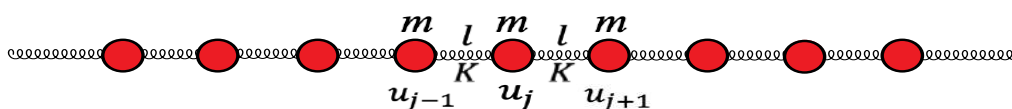


Рисунок 1. Геометрия бесконечной цепи масс.

Равновесное расстояние разделения между массами равно l .

Нерастянутое положение и смещение массы $m_j = m$ обозначены как u_j

Поскольку предполагается, что каждая масса совершает поступательное движение только в направлении x , определяющие уравнения для j^{th} массы задаются как

$$m \frac{d^2 u_j}{dt^2} + K(2u_j - u_{j+1} - u_{j-1}) = 0, \quad (1)$$

где u_j — смещение j^{th} массы от ее положения равновесия, и теорема Блоха может быть здесь приведена из-за периодического расположения. На основе теоремы Блоха плоское решение может быть выражено как

$$u_j = A e^{i(kjl - \omega t)}, \quad (2)$$

где A, k, ω представляют амплитуду смещения, волновое число и угловую частоту соответственно. Подставляя это решение в дифференциальное уравнение (1) движения,

$$-m\omega^2 = -K(2 - e^{-jkl} - e^{jkl}) = -2K(1 - \cos(kl)) \quad (3)$$

Решая относительно $\omega(k)$, получаем дисперсионное соотношение решетчатой системы

$$\omega(k) = \sqrt{\frac{4K}{m}} \sin\left(\frac{|kl|}{2}\right) \quad (4)$$

Модель цепи пружина-масса с идентичными массовыми элементами и пружинными элементами является однородной, и ее спектр частот колебаний состоит только из акустической ветви, как показано на рисунке 2. Таким образом, существует n различных значений $\omega(k)$, соответствующих n различным значениям k , что приводит к n модам. Моды описывают волны с частотой $\omega(k)$ и скоростями, которые являются фазовыми

$$v_p = \omega/k \text{ и групповыми } v_g = \partial\omega/\partial k.$$

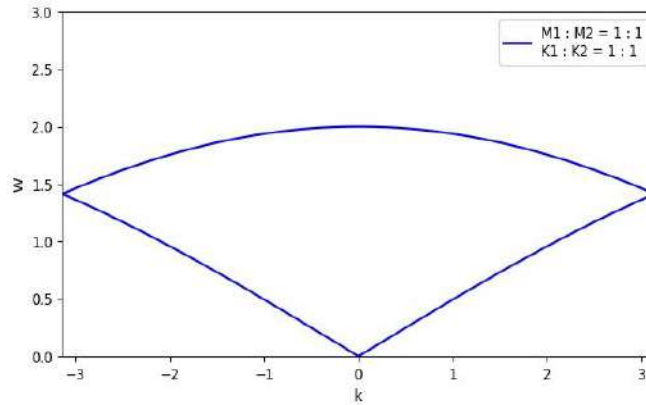


Рисунок 2. Дисперсионная кривая одномерного линейного упругого метаматериала для $m_i = m, k_i = K$

Максимальное значение частоты можно определить, как:

$$\omega(k) = \sqrt{\frac{K}{m}}$$

когда $k = \pm \frac{\pi}{l}$.

2.2. Модель двухатомной решетки — одинаковая масса, разная жесткость

В этой части мы рассмотрим немного более сложную задачу, которая представляет собой одномерную решетку, имеющую одинаковую массу m и две разные константы жесткости (K_1, K_2), расположенные периодически, как показано на рис. 2.

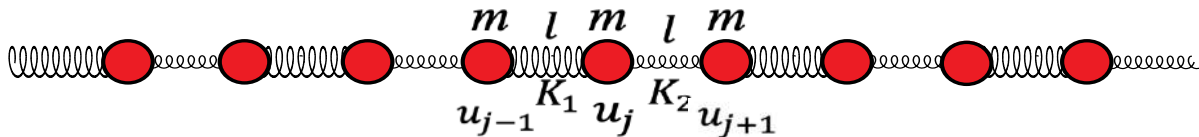


Рисунок 3. Бесконечная цепочка масс с различными константами жесткости пружины (K_1, K_2), между массами

Управляющие уравнения для j и $(j + 1)^{th}$ масс, включающие только продольные смещения $u_j(t)$ имеют вид

$$\frac{md^2u_{2n}}{dt^2} = K_1(u_{2n-1} - u_{2n}) + K_2(u_{2n+1} - u_{2n}) \quad (6)$$

$$\frac{md^2u_{2n+1}}{dt^2} = K_2(u_{2n} - u_{2n+1}) + K_1(u_{2n+2} - u_{2n+1}) \quad (7)$$

где u_j, u_{j+1} — смещения масс $j = (2n)^{th}$ и $j = 2(n + 1)^{th}$ из их положений равновесия. Снова применяя те же граничные условия, мы предполагаем, что волновые решения для дискретных случаев в соседних положениях, определенных относительно реальной центральной частицы, принимают следующие формы:

$$u_{2n}(t) = A_1 e^{i(\omega t - (2n)kl)}, \quad (8)$$

$$u_{2n+1}(t) = A_2 e^{i(\omega t - (2n+1)kl)}, \quad (9)$$

где A_1 и A_2 — коэффициенты, задающие относительную амплитуду и фазу движений.

Подставляя уравнения (8) и (9) в уравнения (6) и (7), получаем дисперсионное соотношение в виде

$$\omega^2 = m^{-1} \left(K_1 + K_2 \pm \sqrt{K_1^2 + K_2^2 + 2K_1K_2 \cos(kl)} \right) \quad (10)$$

Здесь знак « \pm » в уравнении (10) дает два значения ω для каждого k . Поскольку имеется N нетривиальных значений k , мы имеем $2N$ нормальных мод, поскольку имеется $2N$ степеней свободы. Соответствующее дисперсионное соотношение $\omega(k)$ системы приведено на рисунке 2. Рисунок 3 имеет две различные ветви $\omega(t)$: нижняя кривая называется акустической ветвью из-за ее поведения при малых k , что характерно для звуковых волн и похоже на кривую, найденную ранее для одномерных монокристаллов. Верхняя кривая называется оптической ветвью, поскольку эти моды имеют тенденцию взаимодействовать с электромагнитным излучением. Частоты, соответствующие обеим ветвям, означают, что колебания могут передаваться через структуру без затухания. Диапазон между оптической и акустической ветвями обозначает диапазон частот, в котором нет мод распространения колебаний, и называется «запрещенной зоной». Значения частоты верхней и нижней границ запрещенной зоны можно определить как

$$\omega = \sqrt{\frac{2K_1}{m}} \quad \text{and} \quad A_1 = -A_2 \quad \text{для оптической отрасли,} \quad (11)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{2K_2}{m}} \quad \text{and} \quad A_1 = A_2 \quad \text{для акустической отрасли,} \quad (12)$$

когда $k = \frac{\pi}{l}$

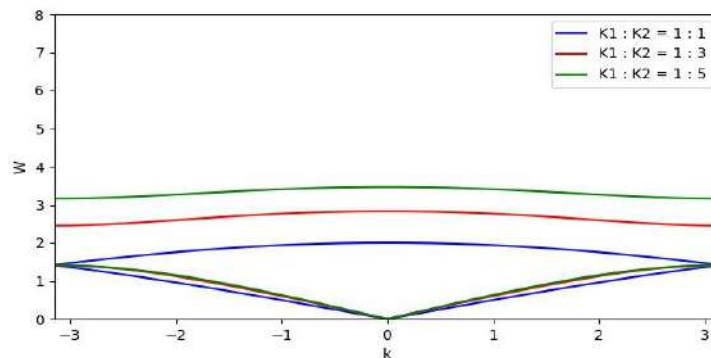


Рисунок 4. Дисперсионная кривая одномерного упругого метаматериала для $m_i = m$ и двух различных жесткостей K_1, K_2 пружин

Рисунок 4 описывает дисперсионное соотношение цепи масс для двух различных значений жесткости пружин, спектр частот колебаний неоднородных метаматериалов состоит из акустической ветви и оптической ветви, а между акустической и оптической ветвями возникает запрещенная зона, которая может препятствовать распространению волн. Теперь мы видим появление зон запрещенной зоны между оптической и акустической ветвями в соответствующем спектре частот колебаний. Акустическая ветвь описывает все массы внутри примитивной ячейки, движущиеся в фазе, в которой доминируют межъячеечные взаимодействия. Оптическая ветвь описывает все массы внутри примитивной ячейки, вибрирующие на месте друг против друга. Значения начальной и конечной частот запрещенной зоны определяются уравнениями (11), (12). Как показывают результаты, увеличение различий между значениями жесткости системы приводит к увеличению ширины запрещенной зоны.

Результаты исследования

2.3. Модель двухатомной решетки – разная масса, одинаковая жесткость

Здесь мы рассматриваем одномерную систему масса-пружина, состоящую из двух разных масс m_1, m_2 соединенных пружиной жесткости K , расположенных периодически, как показано на рисунке 5.

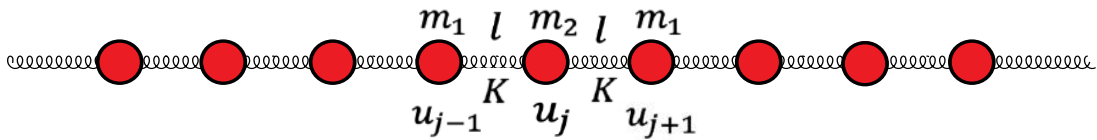


Рисунок 5. Бесконечная цепочка грузов разной массы с одинаковыми пружинами жесткости K

Уравнения движения имеют вид

$$m_1 \frac{d^2 u_{2n}}{dt^2} = K(2u_{2n} - u_{2n-1} - u_{2n+1}), \tag{13}$$

$$m_2 \frac{d^2 u_{2n+1}}{dt^2} + K(2u_{2n+1} - u_{2n} - u_{2j+2}) = 0, \tag{14}$$

где u_{2n} – смещение массы m_1 от ее положения равновесия, u_{2n+1} соответствует массе m_2 от ее положения равновесия. Отметим, что элементарная ячейка рассматриваемой микроструктуры содержит различные массы m_1, m_2 и жесткость пружины K системы. Для нахождения нормальных мод предположим, что все атомы движутся с одинаковой частотой,

$$u_{2n}(t) = A_1 e^{i((2n)kl - \omega t)}, \tag{15}$$

$$u_{2n+1}(t) = A_2 e^{i((2n+1)kl - \omega t)}. \tag{16}$$

Подставляя это решение в уравнения движения, получаем $\omega^{2(k)}$ в квадратичном виде

$$\omega^2 = \frac{k}{m_1 m_2} (m_1 + m_2 \pm \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + 2m_1 m_2 \cos(kl)}). \tag{17}$$

Полученный результат для дисперсионного соотношения показан на рисунке 5. Значения частоты верхней и нижней границ запрещенной зоны можно определить как

$$\omega^2 = \frac{2K}{m_2} \text{ для оптической ветви,} \tag{17}$$

$$\omega^2 = \frac{2K}{m_1} \text{ для акустической ветви.} \tag{18}$$

$$k = \frac{\pi}{i}$$

На рисунке 6 мы демонстрируем дисперсионное соотношение цепи масс с двумя различными массами m_1, m_2 .

Как показано на рисунке 6, спектр частот колебаний неоднородных метаматериалов состоит из акустической ветви и оптической ветви, а между акустической и оптической ветвями возникает запрещенная зона, которая может препятствовать распространению волн. Частотные пределы запрещенной зоны, открываемой двухатомной цепью пружина-масса, можно определить с помощью (17), (18). Результирующие дисперсионные кривые показывают, что запрещенная зона, по-видимому, связана со свойствами пружина-масса, что дает возможность уменьшить частоту возникновения запрещенной зоны путем уменьшения жесткости или увеличения массы.

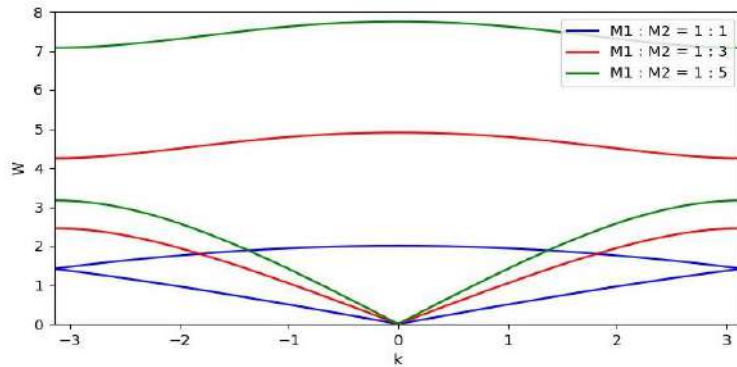


Рисунок 6. Дисперсионная кривая одномерного упругого метаматериала для двух различных масс m_1, m_2

2.4. Периодическая цепочка нелинейных осцилляторов

В этой части мы исследуем волновое поведение в новой нелинейной периодической цепочке, как показано на рисунке 7. Элементарная ячейка состоит только из одной массы с присоединенной линейной и нелинейной (квадратичной) пружины. Предполагается, что все массы равны ($m_j = m$)

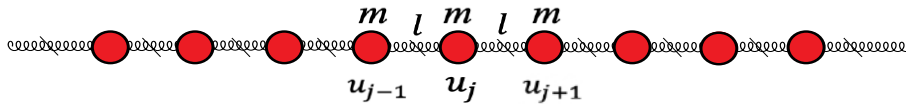


Рисунок 7. Бесконечная нелинейная моноатомная цепь. Нерастянутое положение и смещение массы ($m_j = m$) обозначается как u_j . Пружины с нерастянутой длиной l являются квадратично нелинейными

Одна степень свободы представляет продольное движение каждой массы. Нелинейное силовое взаимодействие можно описать как

$$F_e = K\Delta u + K\varepsilon\Delta u^3, \quad (20)$$

где ε -параметр нелинейности. Таким образом, сила пружины с квадратичной нелинейностью относительно состояния равновесия приводит к управляющим уравнениям движения, а общая масса ($i \in Z_0$), включающая только продольные смещения u_j , описывается как:

$$m \frac{d^2 u_j}{dt^2} = K \left((u_{j+1} - u_j) - (u_j - u_{j-1}) \right) + \varepsilon \left((u_{j+1} - u_j)^2 - (u_j - u_{j-1})^2 \right) \quad (21)$$

Переходные уравнения движения были решены численно с помощью двух кодов на Python и ML для одной конечной цепи, состоящей из N масс и однородных начальных условий $u_j = 0$ и $\dot{u}_j = 0$, с $i = 1 \dots N$. Для генерации волны система нагружается путем наложения растягивающего смещения амплитуды \bar{A} на левую границу, а именно

$$u_1(t) = -\bar{A} \frac{-1 + \tan h \frac{t-t_0}{v}}{2} \quad (22)$$

где t_0 – сдвиг по времени, а v – переходный период. Для численного анализа был разработан код Python, который использует схему интегрирования Рунге-Кутты. Далее, рассматриваемый численный результат, представленный на рисунке 8, иллюстрирует динамическое поведение системы. Численные результаты получены для цепи, состоящей из $N=30$ узлов с одинаковыми массами $m_j = m = 1$ Там решетка имеет длину $l = 10$ мм. Для

параметров приложенного растягивающего смещения u_1 мы используем $t_0 = 400$ с, $v = 40$ с. Учитывая, что система имеет сильную нелинейность, мы устанавливаем значение ε равным 0,2 для расчетов.

На рисунках 8, 9 показано свойство амплитудной зависимости рассматриваемых нелинейных систем. Чтобы подчеркнуть свойства новой модели, мы проанализировали как линейные, так и нелинейные системы для различных амплитуд входных сигналов. Поскольку цепь затвердевает, частоты среза увеличиваются с ростом амплитуды. Таким образом, увеличение амплитуды от $\bar{A} = 0,10$ мм до $\bar{A} = 0,5$ мм демонстрирует свойство амплитудной зависимости системы. Из первых сравнительных результатов видно, что различия между линейной и нелинейной моделями незначительны, тогда как вторые результаты, полученные для $A = 0,5$ мм, демонстрируют заметные различия в амплитудах и временных сдвигах. Физически это объясняет, что распространение волн зависит от механических свойств системы, а не только от величины приложенной силы.

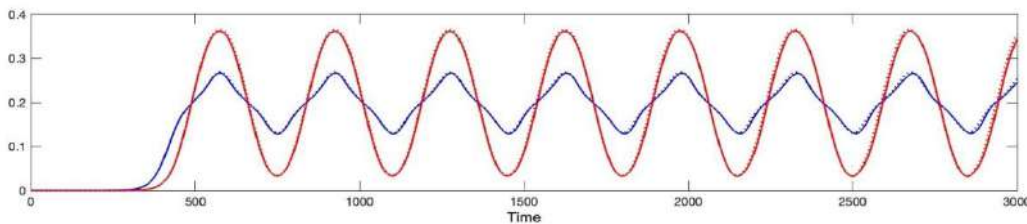


Рисунок 8. Входной сигнал с входной амплитудой $\bar{A} = 0,10$ мм мм представлен для линейного (синяя пунктирная линия) и нелинейного (синяя линия) режимов

Соответствующие выходные сигналы были протестированы при 25-й массе как линейной цепи (красная пунктирная линия), так и нелинейной цепи (красная линия).

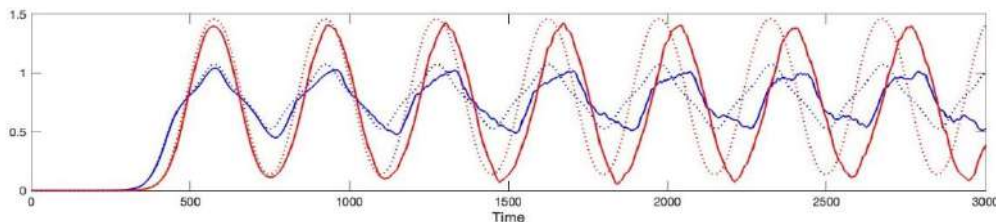


Рисунок 9. Входной сигнал с входной амплитудой $\bar{A} = 0,50$ мм мм представлен для линейного (синяя пунктирная линия) и нелинейного (синяя линия) режимов

Соответствующие выходные сигналы были протестированы при 25-й массе как линейной цепи (красная пунктирная линия), так и нелинейной цепи (красная линия).

Известно, что амплитудно-зависимые частотные сдвиги вблизи областей отсечки позволяют проектировать настраиваемые устройства на основе элементарных ячеек. Одним из таких устройств является амплитудно-зависимый частотный изолятор, использующий нелинейную цепь. Теперь мы рассмотрим модель устройства, состоящую из комбинации двух последовательно соединенных цепей, распространяющихся волн с частотным содержанием в узкой полосе, как показано на рисунке 10. В этой системе ширина распространяемой полосы зависит от амплитуды и, следовательно, настраиваема. Мы попытались спроектировать устройство, состоящее из комбинации нелинейной периодической структуры и линейной периодической структуры, как показано на рисунке 25. Мы использовали нелинейную структуру для обеспечения амплитудно-зависимого отклика падающей волны, чтобы нарушить принцип взаимности. В этой системе ширина распространяемой полосы зависит от амплитуды и, следовательно, настраиваема. Теоретический анализ показывает, что при соответствующей настройке параметров структуры примечательная амплитудная зависимость спектра пропускания в нелинейной системе может привести к асимметричному

распространению энергии, проходящей через систему, которое будет отличаться при изменении амплитуды или направления.

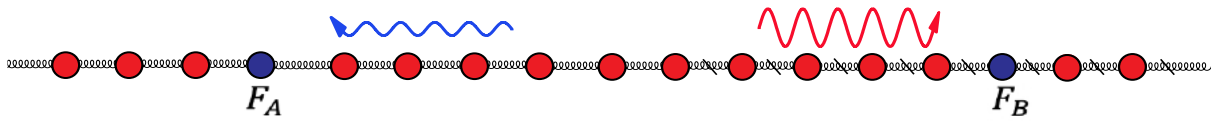


Рисунок 10. Распространение волн, вызванное силами, действующими в точках A, B и C. Волнистые стрелки указывают на распространение волн; цвета связаны с местами приложения сил

Рисунок 10 схематически показывает предлагаемую структуру эластичного метаматериала, который поддерживает невзаимную передачу, которая может быть реализована в предлагаемой структуре, которая состоит из нелинейной системы масса-пружина и линейной системы масса-пружина с хорошо настроенными параметрами, которые обсуждались ранее. Прямое направление устройства определяется как направление распространения падающей волны с левой стороны линейной системы масса-пружина, а противоположное направление определяется как обратное направление. Для изучения невзаимного эффекта модели мы численно вычисляем взаимную работу в соответствии с теоремой закона Максвелла-Бетти. Теорема о взаимном отклонении гласит, что работа силы в точке A из-за смещения в той же точке A, вызванного силой, приложенной в точке B, равна работе силы в точке B из-за смещения в той же точке B, вызванного силой, приложенной в точке A. Мы рассматриваем приложенные силы с одинаковыми и разными амплитудами и распределением времени в точках A, B, как показано на рисунке 10, а именно

$$F(t, v, \bar{F}) = \bar{F} \frac{1 + \tanh\left(\frac{t}{v}\right)}{2}$$

Согласно теореме о взаимности, взаимность можно отождествить с равенством взаимной работы, т. е.

$$F_A u_A^B = F_B u_B^A \quad (23)$$

Численные результаты взаимной работы $W_A^B \neq W_B^A$ когда приложенные силы одинаковы $F_A = F_B$, и различны, $F_A \neq F_B$, представлены на рисунках 11, 12 соответственно. Мы имеем невзаимность для всех случаев независимо от абсолютных и относительных направлений и значений сил. Различие взаимных работ связано с нелинейным конститутивным поведением системы при растяжении.

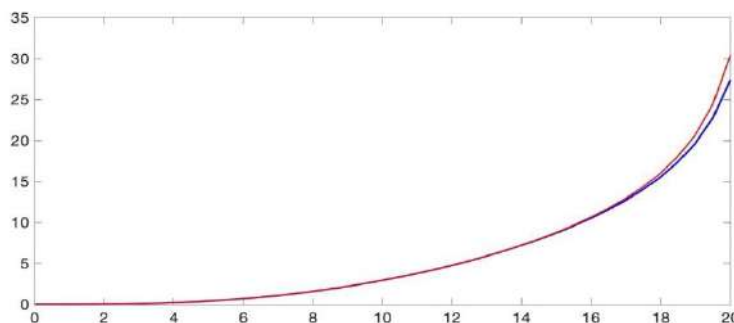


Рисунок 11. Взаимные работы W_A^B , W_B^A как функции времени между двумя силами для нелинейной цепи, когда $F_A = F_B$. Результаты описывают случаи, когда приложенные силы имеют одинаковые направления вправо

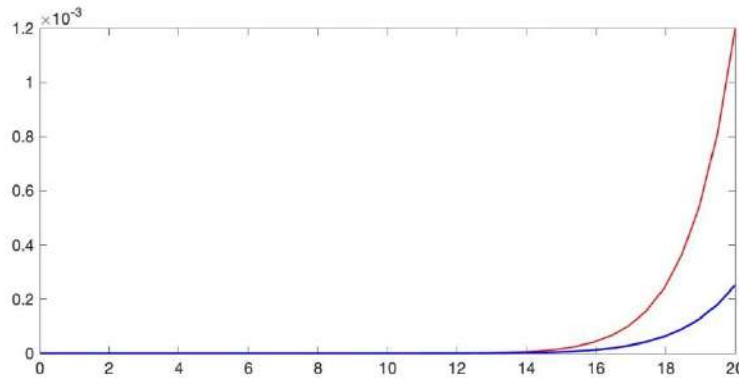


Рисунок 12. Взаимная работа взаимных работ W_A^B , W_B^A как функция времени между двумя силами для нелинейной цепи, когда $F_A \neq F_B$.

Результаты описывают случаи, когда приложенные силы имеют одинаковые направления вправо

Заключение

В этой работе мы сосредоточимся на свойствах передачи волн периодической системы масса-пружина. Мы рассматриваем одномерную одноатомную решетку с одинаковыми пружинами и другую, двухатомную модель цепи с разными массами и их характеристики дисперсионного соотношения. Поскольку линейность создает ограничения, мы изучаем одномерную решетку масса-пружина с квадратичной нелинейностью. Результаты показывают, что ширину запрещенной зоны можно регулировать с помощью соотношения масс, соотношения жесткостей, нелинейности и амплитуды смещения. Соотношение масс может увеличивать как верхнюю, так и нижнюю границу запрещенной зоны. Однако оно мало влияет на ширину запрещенной зоны. Линейное соотношение жесткостей мало влияет на верхнюю границу запрещенной зоны, но нижняя граница значительно уменьшается с увеличением соотношения жесткостей. Это означает, что ширина запрещенной зоны увеличивается. Линейное соотношение жесткостей мало влияет на верхнюю границу запрещенной зоны, но нижняя граница значительно уменьшается с увеличением соотношения жесткостей. Это означает, что ширина запрещенной зоны увеличивается. Изменяя нелинейность или амплитуду смещения, щель взрыва может быть смещена, а ширина запрещенной зоны заметно увеличивается. С увеличением нелинейных параметров максимальное значение затухания смещается выше линейной собственной частоты локальных резонаторов. Затем проводится численное моделирование для получения свойств передачи конечных решеток масса-пружина. В нашем исследовании подробно обсуждается влияние настройки различных параметров на упругие волны в нелинейных ЭМ, что обеспечивает потенциальное применение для снижения вибрации. Результаты новой микроструктурированной среды, представленные в этой статье, могут быть применены в различных областях, которые варьируются от управления механическими колебаниями в крупномасштабных структурах, таких как тонкие мосты, до фильтрации волн и передачи сигналов в микро- и наноэлектромеханических системах. Для таких приложений важно обобщить представленные здесь результаты, чтобы включить различные нагрузки и альтернативные гироупругие связи, что приведет к обнаружению новых динамических явлений в рассматриваемых решеточных системах. Это, следовательно, позволит разработать новые концепции структурированных материалов.

Список использованных источников

- [1] L. Vegni, F. Bilotti, A. Alù, and N. Engheta, "Application of Metamaterials to Microwave Patch and Leaky-Wave Antennas," in *Handbook of Artificial Materials: Applications of Metamaterials*, F. Capolino, ed., Taylor and Francis – CRC Press, Vol. 2, pp. 18.1-18.14, October 2009. <https://doi.org/10.1201/9781420054248>

- [2] Banerjee B. *An introduction to metamaterials and waves in composites*. – Taylor & Francis, 2011. <https://doi.org/10.1201/b11814>
- [3] Tong X. C. *Functional metamaterials and metadevices*. – Bolingbrook, IL : Springer, 2018. – Т. 262. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-66044-8>
- [4] Annamdas V. G. M., Soh C. K. *A perspective of non-fiber-optical metamaterial and piezoelectric material sensing in automated structural health monitoring //Sensors*. – 2019. – Т. 19. – №. 7. – С. 1490. <https://doi.org/10.3390/s19071490>
- [5] Brillouin L. *Wave Propagation in Periodic Structures: Electric Filters and Crystal Lattices / L. Brillouin*. — New York; London: McGraw-Hill, 1946. — 247p.
- [6] Hussein M. I., Leamy M. J., Ruzzene M. *Dynamics of phononic materials and structures: Historical origins, recent progress, and future outlook //Applied Mechanics Reviews*. – 2014. – Т. 66. – №. 4. – С. 040802. <https://doi.org/10.1115/1.4026911>
- [7] Engheta N., Ziolkowski R. W. (ed.). *Metamaterials: physics and engineering explorations*. – John Wiley & Sons, 2006. 414p. (Springer Series in Materials Science). — ISBN 978-0-471-76102-0. <https://doi.org/10.1002/0471784192>
- [8] Cui T. J., Smith D. R., Liu R. *Metamaterials*. – New York: springer, 2010. – С. 1. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0573-4>
- [9] D.J.Mead, “Wave propagation in continuous periodic structures: research contributions from Southampton, 1964–1995”, *Journal of Sound and Vibration*, 1996, Vol.190, No.3, pp.495–524. <https://doi.org/10.1006/jsvi.1996.0076>
- [10] Zheludev N. I., Kivshar Y. S. *From metamaterials to metadevices //Nature materials*. – 2012. – V. 11, No.11, pp. 917-924. <https://doi.org/10.1038/nmat3431>
- [11] Spadaccini C. M. *Additive manufacturing and processing of architected materials //MRS Bulletin*. – 2019. – Vol. 44, No. 10, pp. 782-788. <https://doi.org/10.1557/mrs.2019.234>
- [12] Del Vesco D., Giorgio I. *Dynamic Problems for Metamaterials: A Review of Existing Models and Ideas for Further Research // International Journal of Engineering Science*, 2014, Vol.80. – P.153–172.
- [13] Lakes R. *Foam structures with a negative Poisson's ratio //Science*. – 1987, Vol. 235, No. 4792, pp. 1038-1040. <https://doi.org/10.1126/science.235.4792.1038>
- [14] Y. Chen, T. Li, F. Scarpa u L. Wang. *Lattice metamaterials with mechanically tunable Poisson's ratio for vibration control. Physical Review Applied*, 7(2):024012, 2017. <https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.7.024012>
- [15] A. Spadoni u M. Ruzzene. *Elasto-static micropolar behavior of chiral auxetic grill. Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 60:156–171, 2012. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022509611001682?via%3Dihub>
- [16] Y. Wu, Y. Lai u Z.-Q. Zhang. *Elastic metamaterials with simultaneously negative effective shear modulus and mass density. Physical Review Letters*, 107(10):105506, 2011. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.107.105506>
- [17] D.J. Colquitt, I.S. Jones, N.V. Movchan, A.B. Movchan, M. Brun u R.C. McPhedran. *Making waves around a structured cloak: Lattices, negative refraction and fringes. The Royal Society Publishing*, 469:20130218, 2014. <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspa.2013.0218>
- [18] G. Carta, M. Brun, A.B. Movchan u T. Boiko. *Transmission and localisation in ordered and randomly-perturbed structured flexural systems. International Journal of Engineering Science*, 98:126–152, 2016. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0020722515001366>
- [19] R.S. Lakes, T. Lee, A. Bersie u Y.-C. Wang. *Extreme damping in composite materials with negative-stiff inclusions. Nature*, 410 (6828):565–567, 2001. <https://www.nature.com/articles/35069035>
- [20] A. Spadoni, M. Ruzzene, S. Gonella u F. Scarpa. *Phononic properties of hexagonal- chiral registries. Wave Motion*, 46(7):435–450, 2009. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165212509000122?via%3Dihub>
- [21] G. Carta, M.J. Nieves, I.S. Jones u A.B. Movchan N.V. Movchan. *Elastic chiral waveguides with gyro-hinges. The Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*, 71:157–185, 2018. DOI: <https://academic.oup.com/qjmam/article/71/2/157/4921177?login=false>
- [22] M. Garau, G. Carta, M. Nieves, I. S. Jones, N. V. Movchan u A. B. Movchan. *Interface Waveforms in Chiral Lattice with Gyroscopic Spinners. Proceeding of the Royal Society A-Mathematical Physical and Engineering Science*, 474:20180132, 2018. DOI: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspa.2018.0132>
- [23] B. Florijn, C. Coulais u M. van Hecke. *Programmable mechanical metamaterials. Physical Review Letters*, 113:175503, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.113.175503>
- [24] N.I. Zheludev u Y.S. Kivshar. *From Metamaterials to Metadevices. Nature materials*, 11:917–924, 2012. DOI: <https://www.nature.com/articles/nmat3431>

A.E. Alpysbayeva^{1*}, M.B. Murzambetova², A.R. Ryskan¹

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

²Nukus State Pedagogical Institute named after Ajiniyaz, Nukus, Uzbekistan

*e-mail: alpysbayeva13@mail.ru

MIXED-TYPE DIFFERENTIAL EQUATION WITH FRACTIONAL DERIVATIVE IN THE CAPUTO SENSE

Abstract

The purpose of this paper is to study boundary value problems for a mixed-type differential equation with fractional derivatives in the sense of Caputo and to demonstrate the existence and uniqueness of its solution. Such equations, including fractional derivatives, have significant potential to describe various physical processes in which the effects of memory and heredity are evident, such as abnormal diffusion, heat transfer, and relaxation phenomena. The paper presents an analytical approach to solving the problem based on the method of separating variables by representing the solution as a Fourier series. As a result, the conditions for the uniqueness of the solution were established and strictly proved, which, if certain conditions are met, ensure the ambiguity of the task. In addition, the uniform convergence of the obtained series of solutions is proved under the specified conditions. The results obtained can be used in the theory of differential equations and in further applied research.

Keywords: Caputo operator, uniqueness and existence of a solution, Fourier method, boundary value problem.

A.E. Алпысбаева¹, M.Мурзамбетова², A.P. Рысқан¹

¹ Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

² Ажинияз атындағы Нүкіс мемлекеттік педагогикалық институты, Нүкіс, Өзбекстан

КАПУТО МАҒЫНАСЫНДА БӨЛШЕК РЕТТІ ТУЫНДЫСЫ БАР АРАЛАС ТИПТІ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕНДЕУ

Аңдатпа

Бұл жұмыстың мақсаты – Капуто мағынасындағы бөлшек ретті туындылары бар аралас типті дифференциалдық теңдеу үшін шекаралық есептерді зерттеу және оның шешімінің бар болуы мен жалғыздығын көрсету. Мұндай теңдеулер, соның ішінде бөлшек ретті туындылар, есте сақтау және тұқым қуалаушылық әсерлері көрінетін әртүрлі физикалық процестерді сипаттау үшін маңызды әлеуетке ие, мысалы, аномальды диффузия, жылу беру және релаксация құбылыстары. Жұмыста шешімді Фурье қатары түрінде көрсету арқылы айнымалыларды ажырату әдісіне негізделген мәселені шешудің аналитикалық тәсілі ұсынылған. Нәтижесінде белгілі бір шарттарды сақтай отырып, қойылған мәселенің анық еместігін қамтамасыз ететін шешімнің жалғыздығының шарттары белгіленді және қатаң дәлелденді. Сонымен қатар, белгіленген шарттар орындалған кезде алынған шешімдер қатарының бірқалыпты жинақтылығы дәлелденді. Алынған нәтижелерді дифференциалдық теңдеулер теориясында және әрі қарай қолданбалы зерттеулерде қолдануға болады.

Түйін сөздер: Капуто операторы, шешімнің жалғыздығы және бар болуы, Фурье әдісі, шекаралық есеп.

А.Е. Алпысбаева¹, М.Мурзамбетова², А.Р. Рысқан¹

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

²Нукусский государственный педагогический институт имени Ажинияза, Нукус, Узбекистан

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ СМЕШАННОГО ТИПА С ПРОИЗВОДНОЙ ДРОБНОГО ПОРЯДКА В СМЫСЛЕ КАПУТО

Аннотация

Целью данной работы является исследование краевых задач для дифференциального уравнения смешанного типа с дробными производными в смысле Капуто и демонстрация существования и единственности его решения. Такие уравнения, включая производные дробного порядка, обладают значительным потенциалом для описания различных физических процессов, в которых очевидны эффекты памяти и наследственности, таких как аномальная диффузия, перенос тепла и явления релаксации. В работе представлен аналитический подход к решению задачи, основанный на методе разделения переменных путем представления решения в виде ряда Фурье. В результате были установлены и строго доказаны условия единственности решения, которые при соблюдении определенных условий обеспечивают однозначность поставленной задачи. Кроме того, доказана равномерная сходимость полученного ряда решений при выполнении указанных условий. Полученные результаты могут быть использованы в теории дифференциальных уравнений и в дальнейших прикладных исследованиях.

Ключевые слова: оператор Капуто, единственность и существование решения, метод Фурье, краевая задача.

Main provisions

In the paper we consider a boundary value problem for a differential equation of mixed type with fractional derivatives in the sense of Caputo and obtains its analytical solution in the form of a Fourier series. Sufficient conditions for the existence and uniqueness of a solution are determined, and uniform convergence of the obtained series is proved. It is shown that the analytical method allows one to effectively take into account the memory effects common in physical systems. The results obtained open the way to studying multidimensional and nonlinear cases and will serve as a basis for future studies of the dependence of the solution on parameters using numerical modeling.

Introduction

In recent years, interest in boundary value problems for fractional differential equations has grown due to their application in memory-intensive modeling processes such as wave propagation in inhomogeneous media, plasma theory, and biophysics, as well as the growing need for accurate models to describe processes with inhomogeneous dynamics.

Equations with fractional differential operators such as Caputo derivatives are particularly useful in modeling complex dynamic systems. These equations are used in porous media, in problems of fluid filtration in electromagnetic waves, and in studying wave propagation processes in weakly dispersed and cold plasma media [1].

A significant amount of research is devoted to the study of boundary value problems for fractional differential equations of mixed type, where methods and conditions ensuring the uniqueness and existence of a solution are considered. In addition, the use of the Fourier method and other numerical approaches allows one to effectively solve such problems and obtain exact solutions for various physical applications, including magnetohydrodynamics and processes in space plasma. Differential equations of mixed type have been studied in the works of many authors, in particular [2-4].

Research methodology

This theoretical study was conducted in 2024 at the Faculty of Mathematics, Physics and Informatics of the Abai Kazakh National Pedagogical University. The aim of the study is to analyze boundary value problems for a mixed-type differential equation with fractional derivatives in the Caputo sense.

The study uses analytical methods of mathematical analysis. The solution to the boundary value problem was constructed by expanding it into a Fourier series with separated variables. This allows us to express the solution as a sum of orthogonal eigenfunctions. The properties of the Caputo fractional derivative are used to take into account the effects of fractional differentiation. The study is carried out in a model domain consisting of two subdomains: parabolic and hyperbolic. This division reflects the mixed nature of the equation under consideration. Theorems of existence and uniqueness of solutions are established on the basis of special conditions. A criterion for the uniqueness of a solution is formulated and proven. In this paper, we consider a boundary value problem for a differential equation with fractional derivatives in the Caputo sense.

Let $0 < \alpha \leq 1$. The f fractional derivative of f in the Caputo sense up to order α is as follows:

$$D_t^\alpha f(t) = \int_0^t h_{1-\alpha}(t-s) \frac{d}{ds} f(s) ds, \quad h_\alpha(t) = \frac{t^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)},$$

Where $\Gamma(\alpha)$ is gamma function. Consider the following equation:

$$-u_{xx}(x,t) + D_t^\alpha u(x,t) = f(x), \quad 0 < x < l, \quad 0 < t < T. \quad (1)$$

For equation (1) there are boundary conditions:

$$u(0,t) = u(l,t) = 0, \quad 0 < x < l, \quad (2)$$

and the initial conditions:

$$\varphi(x,0) = \varphi(x), \quad 0 < x < l, \quad (3)$$

it is necessary to find a function $u(x,t)$ that satisfies equation. If $\alpha = 1$, then this problem corresponds to the usual classical problem.

Definition. The solution to problems (1)-(3) is the sum of all the conditions of the general problem and the following:

- 1) $D_t^\alpha u(x,t) \in C^2([0,l] \times [0,T]);$
- 2) $u_{xx}(x,t) \in C^2([0,l] \times [0,T]);$
- 3) $u(x,t) \in C^2([0,l] \times [0,T]);$

The function $u(x,t)$ is called satisfying the conditions. Here, $T > 0$ is a given real number.

We find the unknown function $u(x,t)$, which is a solution to problems (1)-(3), as follows [5]:

$$u(x,t) = \sum_{k=1}^{\infty} T_k(t) X_k(x). \quad (4)$$

In the following spectral problem, we denote the system of orthonormal functions in the space $L^2(0,l)$ by $\{X_k\}$ and the set of positive eigenvalues by $\{\sqrt{\lambda_k}\}$ [7]:

$$\begin{cases} -\frac{\partial^2 X_k(x)}{\partial x^2} = \lambda_k X_k(x), & 0 < x < l, \\ X(0) = X(l) = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Accordingly, we obtain the following differential equation:

$$\begin{cases} D_t^\alpha T_k(t) + \lambda_k T_k(t) = f_k(t), \\ \varphi(0) = \varphi_k. \end{cases} \quad (6)$$

The solution to the differential equation is as follows [7]:

$$T_k(t) = \varphi_k E_{\alpha,1}(-\lambda_k t^\alpha) + \int_0^t \xi^{\alpha-1} f_k E_{\alpha,\alpha}(-\lambda_k \xi^\alpha) d\xi.$$

The unknown function $u(x,t)$, which is a solution to problems (1)-(3), has the following form:

$$u(x,t) = \sum_{k=1}^{\infty} \left[\varphi_k E_{\alpha,1}(-\lambda_k t^\alpha) + \int_0^t \xi^{\alpha-1} f_k E_{\alpha,\alpha}(-\lambda_k \xi^\alpha) d\xi \right] \sin(\sqrt{\lambda_k} x). \quad (7)$$

The existence and uniqueness of the solution

Theorem 1. If the problem has a solution, then it is unique.

Proof. Let $u_1(x,t)$ and $u_2(x,t)$ be the solutions of problems (1)-(3). Let us prove that $u(x,t) = u_1(x,t) - u_2(x,t) \equiv 0$. To find the solution $u(x,t)$, we obtain the following homogeneous problem.

Problem statement.

Consider homogeneous equation

$$-\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} + D_t^\alpha u(x,t) = 0, \quad 0 < x < l, \quad 0 < t < T. \quad (8)$$

Find $u(x,t)$ a regular solution of equation (8), satisfying the boundary conditions (2) and initial conditions (3).

Let $u(x,t)$ satisfy all conditions of the homogeneous problem and let X_k be the eigenfunction corresponding to each eigenvalue $\sqrt{\lambda_k}$ of the spectral problem (5).

Consider the following function:

$$w_k(t) = \int_0^l T_k(t) \sin(\sqrt{\lambda_k} x) dx, \quad k = 1, 2, \dots \quad (9)$$

Here, $T_k(t)$ depends on t but not on x , so it is taken from the integral notation. However, the original formula implies integration over x without eliminating the function $T_k(t)$. We differentiate (9) with the integral notation over time t :

$$\frac{d}{dt} w_k(t) = \frac{d}{dt} \int_0^l T_k(t) \sin(\sqrt{\lambda_k} x) dx = \int_0^l \frac{d}{dt} T_k(t) \sin(\sqrt{\lambda_k} x) dx.$$

We consider the original differential equation (8) and the function (4) classified by eigenfunctions. When substituting into the equation, each term must satisfy the equation, and as a result, we obtain the differential equation:

$$D_t^\alpha w_k(t) - \lambda_k w_k(t) = 0$$

The solution to the resulting differential equation is as follows [6, Б. 17, (1.3.3)]:

$$w_k(t) = A_k E_{\alpha,1}(-\lambda_k t^\alpha), \quad k = 1, 2, \dots, \quad 0 < t < T, \quad (10)$$

Since $\varphi(0) = 0$ by the conditions, $A_k = 0$. Then the right side of the equation is zero. This means that $u(x,t)$ is completely orthogonal to the system $\{X_k\}$. Therefore, $u_1(x,t) = u_2(x,t)$, $u(x,t) \equiv 0$, $0 < x < l$. The theorem is proved. \square

We introduce some properties of the Mittag-Leffler function.

Lemma 1. For any $t \geq 0$ the following estimate is valid:

$$E_{\alpha,\mu}(-t) \leq \frac{C}{1+t}, \quad (13)$$

where C is a constant independent of t and μ .

Lemma 2. The classical Mittag-Leffler function of the negative argument of $E_\alpha(-t)$ is a monotonically decreasing function for all $0 < \alpha < 1$ and

$$0 < E_\alpha(-t) < 1, \quad E_\alpha(0) = 1 \quad (14)$$

is feasible.

Lemma 3. Let $0 < \alpha < 1$ and $\lambda > 0$ be such that for all positive t the following holds [8]:

$$\int_0^t \xi^{\alpha-1} E_{\alpha,\alpha}(-\lambda \xi^\alpha) d\xi = t^\alpha E_{\alpha,\alpha+1}(-\lambda t^\alpha). \quad (15)$$

Theorem 2. Let $f(x) \in C[0,l]$ be a continuously differentiable function. Then equations (1)-(3) have a solution $u(x,t)$ and are given by the series (6) uniformly and absolutely convergent on the interval $0 < x < l$ for all $t \in (0,T)$.

Proof. We differentiate the solution (6) twice with respect to

$$u_{xx}(x,t) = \sum_{k=1}^{\infty} -\lambda_k \left[\varphi_k E_{\alpha,1}(-\lambda_k t^\alpha) + \lambda_k \int_0^t \xi^{\alpha-1} f_k E_{\alpha,\alpha}(-\lambda_k \xi^\alpha) d\xi \right] \sin(\sqrt{\lambda_k} x).$$

Let's break this row into two parts:

$$\sum_{k=1}^{\infty} -\lambda_k \varphi_k E_{\alpha,1}(-\lambda_k t^\alpha), \quad (16)$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} -\lambda_k \int_0^t \xi^{\alpha-1} f_k E_{\alpha,\alpha}(-\lambda_k \xi^\alpha) d\xi. \quad (17)$$

If the function $\varphi(x)$ is four-times differentiable and the condition $\varphi(0) = \varphi(l) = 0$ is true, then the series (10) converges.

Using the estimate (13), we consider the modulus of the series (16).

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{\infty} \lambda_k \left| \varphi_k E_{\alpha,1}(-\lambda_k t^\alpha) \right| &\leq \sum_{k=1}^{\infty} \lambda_k \left| \varphi_k \frac{1}{1+\lambda_k t^\alpha} \right| \leq \\ &\leq \sum_{k=1}^{\infty} \lambda_k \frac{1}{\lambda_k t^\alpha} \left| \varphi_k \right| = \sum_{k=1}^{\infty} t^{-\alpha} \left| \varphi_k \right| = t^{-\alpha} \sum_{k=1}^{\infty} \left| \varphi_k \right|. \end{aligned}$$

Here,

$$\varphi_k = \frac{2}{l} \int_0^l \varphi(x) \sin(\sqrt{\lambda_k x}) dx = \frac{2}{(\pi k)^2} \int_0^l \varphi^{(4)}(x) \sin(\sqrt{\lambda_k x}) dx.$$

Then the series (16) converges absolutely and uniformly.

By following the same steps, we investigate the convergence of the series (17).

If the function $f(x)$ is four-times differentiable and the condition $f(0) = f(l) = 0$ is true, then the series (17) converges.

$$\sum_{k=1}^{\infty} \lambda_k^k f_k \left| t^\alpha \frac{1}{1+\lambda_k t^\alpha} \right| \leq \sum_{k=1}^{\infty} f_k \frac{1}{t^\alpha} \lambda_k \left| \frac{1}{\lambda_k} \right| = \frac{1}{t^\alpha} \sum_{k=1}^{\infty} f_k.$$

Here,

$$f_k = \frac{2}{l} \int_0^l f(x) \sin(\sqrt{\lambda_k x}) dx = \frac{2}{(\pi k)^2} \int_0^l f^{(4)}(x) \sin(\sqrt{\lambda_k x}) dx$$

Then the series (17) converges absolutely and uniformly.

If $u_{xx}(x,t) \in C^2([0,l] \times [0,T])$ is absolutely and uniformly convergent, then $u(x,t) \in C^2([0,l] \times [0,T])$ converges.

According to equation (1):

$$D_t^\alpha u(x,t) = f(x) + u_{xx}(x,t)$$

Therefore, $D_t^\alpha u(x,t) \in C([0,l] \times [0,T])$ is absolutely and uniformly convergent.

Theorem 2 is proved. \square

Results of the study

As a result of theoretical studies, sufficient conditions for the existence and uniqueness of a solution to a boundary value problem for a differential equation of mixed type with fractional derivatives in the sense of Caputo were established. The solution was given in the form of a Fourier series and its uniform convergence was proven when the formulated uniqueness conditions were met. The obtained results confirm the validity of the proposed hypothesis about the existence of a stable and unique solution in a limited region divided into hyperbolic and parabolic parts. An existence theorem was proven, and the uniqueness conditions showed its applicability to various sets of boundary conditions.

Discussion

As a result of this study, a boundary value problem for a differential equation of mixed type with fractional derivatives in the sense of Caputo is solved by a rigorous analytical method. Its solution is given in an exact form using a Fourier series, which allows one to express the solution clearly without using numerical methods. Below, the importance of this approach, its relation to memory effects in physical systems, and a comparison of this work with other modern studies using the work of Caputo are discussed, and future research directions are outlined. The analytical approach used in the study

allows one to obtain an exact solution to the equation and provides a deeper understanding of the behavior of the system. Unlike numerical approximation methods, the analytical solution completely describes the dependence of the problem on the parameters and initial conditions, eliminating approximation errors. Representing the solution as a Fourier series not only clearly shows the influence of each harmonic component of the solution, but also ensures that the solution approaches the true value as the number of terms in the series increases. The significance of this approach is that it allows one to analyze the influence of computational parameters (e.g., the order of the fractional derivative) and can serve as a benchmark for assessing the accuracy of approximate methods.

One of the unique features of this study is that the problem is solved purely analytically, without using numerical methods. Usually, fractional equations cannot be solved by simple analytical formulas, which forces us to resort to numerical methods. Therefore, the analytical solution in our work has significant value in this context. The analytical solution completely describes the behavior of the system and can serve as a basis for checking the correctness of other numerical results. This approach also allows one to study the boundary conditions of the solution.

Caputo's work is currently used in many studies. A special feature of our work is that we obtain an exact analytical solution for a mixed-type equation. In other studies, the solution is often specified by special functions and only general properties are considered (e.g., the existence and uniqueness of the solution). We will supplement this area with the specific solutions we obtained.

The results obtained allow us to continue research in several directions in the future. Firstly, by implementing numerical modeling, it is possible to study the stability and dependence of the parameters of the obtained solution. Secondly, the transition to multidimensional cases and, thirdly, the consideration of nonlinear variants of the problem are important and promising areas. These areas allow us to expand the scope of solving applied problems of physics and engineering by combining analytical and numerical methods.

Conclusion

In this study, an analytical solution to a boundary value problem for a differential equation of mixed type with a fractional derivative of Caputo order was obtained. It was verified that the obtained solution satisfies the equation and the boundary conditions, and it was proven that this is a unique solution. It was also shown that in the limiting case of fractional order (when the order of the derivative is 1), this solution becomes a solution to the classical equation.

Theoretically, the conclusions obtained in the work complement the theory of fractional differential equations. It is shown that for equations of mixed type it is possible to solve a boundary value problem using fractional derivatives, and the classical results are generalized to fractional order. From an applied point of view, the obtained results can contribute to the accurate modeling of complex processes in various fields. For example, fractional-order models are currently used to describe phenomena with memory properties, such as relaxation or anomalous diffusion in viscoelastic media. The analytical solutions obtained in the course of the study make it possible to increase the accuracy of such models and analyze their behavior.

The obtained solution is expressed in analytical form. The main advantage of such a specific solution is that the behavior of the solution can be analyzed directly by freely changing the parameters of the problem (for example, the value of the order of the fractional derivative). In this case, the analytical solution serves as a standard for checking the correctness of the results obtained using numerical methods, allowing one to evaluate the accuracy of numerical models. One of the directions of future research is the extension of the proposed method to similar problems in multidimensional areas. The second direction is a comprehensive consideration of the nonlinear case of the equation. In addition, an important direction for the future is the development of numerical modeling methods for complex problems that cannot be solved analytically.

References

- [1] Yan, R., Sun, S., Sun, Y. et al. (2013) Boundary value problems for fractional differential equations with nonlocal boundary conditions. *Adv Differ Equ*, 176. <https://doi.org/10.1186/1687-1847-2013-176>.
- [2] Мурзамбетова М. Прямая и обратная задача для уравнения смешанного типа с дробной производной в смысле Капуто // Бюлл. Инст. Мат., 2023, Изд.6, № 5, pp. 124-133
- [3] Джураев, Т.Д. Краевые задачи для уравнений параболо-гиперболического типа / Т. Д. Джураев, А. Сопуев, М. Мамажанов. – Ташкент: Фан, 1986. – 220 с.
- [4] Моисеев, Е.И. О разрешимости одной нелокальной краевой задачи / Е. И. Моисеев // Дифференциальные уравнения. – 2001. – Т. 37, No 11. – С. 1565–1567 <https://doi.org/10.1023/A:1017937403853>.
- [5] Ладыженская О.А. Нелокальная задача для уравнения параболо-гиперболического типа прямоугольной области. Книга, 1953. Москва: Гостехиздат
- [6] Псху А.В. Уравнение в частных производных дробного порядка. Книга. Наука. Москва (2005).
- [7] Ильин В.А. О разрешимости смешанных задач для гиперболического и параболического уравнений. *Успехи математических наук*, 15:2 (1960), 97-154. <https://doi.org/10.1070/RM1960v015n02ABEH004217>
- [8] Gorenflo R., Kilbas A.A., Mainardi F., Rogozin S.V. Mittag Leffler functions, Related topics and Applicatins // Book, London: Heidelberg. – 2014

References

- [1] Yan, R., Sun, S., Sun, Y. et al. (2013) Boundary value problems for fractional differential equations with nonlocal boundary conditions. *Adv Differ Equ*, 176. <https://doi.org/10.1186/1687-1847-2013-176>.
- [2] Murzambetova M. (2023) Pryanaya i obratnaya zadacha dlya uravneniy smeshannogo tipa s drobnou proizvodnoi v smysle Kaputo [Forward and inverse problem for the mixed-type equation with Caputo fractional derivative], *Bull. Inst. Math.*, Vol.6, No 5, pp. 124-133 (In Russian)
- [3] Dzhurayev, T.D. (1986) Kraevye zadachi dlya uravneniy parabola-giperbolicheskogo tipa [Boundary value problems for parabolic-hyperbolic]. Tashkent: Fun, 220. (In Russian)
- [4] Moiseev, E.I. (2001) O razreshimosti odnoi nelokal'noi kraevoi zadachi [On the solvability of one nonlocal boundary value problem]. T.37, No 11, 1565–1567. (In Russian) <https://doi.org/10.1023/A:1017937403853>.
- [5] Ladyzhenskaya O.A. (1953) Nelokal'naya zadacha dlya uravneniya parabolo-giperbolicheskogo tipa ptyamougol'noi oblasti [A non-local problem for a parabolic-hyperbolic equation of a rectangular area], Moskva: Gostehydat
- [6] Pshu A.V. (2005) Uravnenie v chastnykh proizvodnykh drobnogo poryadka [Partial differential equation of fractional order], Moskva: Nauka
- [7] Il'in V.A. (1960) O razreshimosti smeshannykh zadach dlya giperbolicheskogo i parabolicheskogo uravneniy [The solvability of mixed problems for hyperbolic and parabolic equations], *Russian Mathematical Surveys*, Vol. 15, Is. 2, 97-154 (In Russian) <https://doi.org/10.1070/RM1960v015n02ABEH004217>
- [8] Gorenflo R., Kilbas A.A., Mainardi F., Rogozin S.V. Mittag Leffler functions, Related topics and Applicatins // Book, London: Heidelberg. – 2014

А.У. Бекбауова

НАО Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, г. Актобе, Казахстан
*e-mail: mirra478@mail.ru

О РЕШЕНИЯХ В ШИРОКОМ СМЫСЛЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ В ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы существования и единственности периодических по части переменных решения в широком смысле нелинейной системы в частных производных первого порядка. Математические модели физических и иных процессов описываются с помощью дифференциальных уравнений в частных производных. В статье приведены определения решения в широком смысле нелинейной системы в частных производных первого порядка, основные свойства оператора дифференцирования. Применены метод характеристик, метод сжатых отображений, в шаре доказана теорема о существовании и единственности периодического по части переменных решения в широком смысле нелинейной системы уравнения в частных производных первого порядка. Доказано необходимое и достаточное условие периодичности по части переменных решения в широком смысле.

Ключевые слова: нелинейные системы, системы уравнения в частных производных, обыкновенные дифференциальные уравнения, решения в широком смысле, метод характеристик.

А.У. Бекбауова

Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті КеАҚ, Ақтөбе қ., Қазақстан
**СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС БІРІНШІ РЕТТІ ДЕРБЕС ТУЫНДЫЛЫ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ КЕҢ
МАҒЫНАДАҒЫ ШЕШІМІ ТУРАЛЫ**

Аңдатпа

Мақалада бірінші ретті сызықты емес дербес туындылы дифференциалдық тендеулер жүйесінің айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты кең мағынадағы шешімдерінің бар болуының жеткілікті шарттары қарастырылған. Физикалық және де басқа процесстер дербес туындылы дифференциалдық тендеулер көмегімен сипатталады. Мақалада сызықты емес бірінші ретті дербес туындылы дифференциалдық тендеулердің кең мағынадағы шешімінің анықтамасы берілген. Сипаттауыштар әдісі және сығушы оператор әдісі қолданылып, шарда сызықты емес дербес туындылы дифференциалдық тендеулер жүйесінің айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодты кең мағынадағы шешімдері бар және жалғыз болатыны дәлелденген. Кең мағынадағы шешімдердің айнымалылардың бір бөлігі бойынша периодтылығының қажетті және жеткілікті шарты көрсетілген.

Түйін сөздер: сызықты емес жүйелер, дербес туындылы дифференциалдық жүйелер, қарапайым дифференциалдық тендеулер, кең мағынадағы шешімдер, сипаттауыштар әдісі.

A.U. Bekbauova

Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan
**ABOUT SOLUTIONS IN THE BROAD SENSE OF NONLINEAR SYSTEMS IN PARTIAL
DERIVATIVES OF THE FIRST ORDER**

Abstract

The article addresses the issues of existence and uniqueness of periodic solutions in some variables in the generalized sense for a nonlinear system of first-order partial differential equations. Mathematical models of physical and other processes are described using partial differential equations. The article provides definitions of solutions in the generalized sense for a nonlinear system of first-order partial differential equations, as well as the main properties of the differentiation operator. The method of characteristics and the method of contraction mappings are applied. The theorem on the existence and uniqueness of a periodic solution in some variables in the generalized sense for a nonlinear system of first-order partial differential equations is proven

within a ball. The necessary and sufficient conditions for periodicity in some variables of the solution in the generalized sense are also proven.

Keywords: nonlinear system, system of partial derivative equations, ordinary differential equations, solutions in a broad sense, method of characteristics.

Основные положения

В данной статье проводится литературный обзор работ посвященной в общую теорию нелинейных, периодических, почти периодических колебаний.

В работе исследованы вопросы существования и единственности периодического по части переменных решения в широком смысле системы дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка. Рассмотрены линейные и нелинейные системы в частных производных первого порядка. Даны определения периодического по части переменных решения в широком смысле. Установлены достаточные условия существования и единственности периодического по части переменных решения в широком смысле, получено необходимое и достаточное условие периодичности по части переменных решения в широком смысле нелинейных систем в частных производных первого порядка.

Введение

Системы уравнения в частных производных часто применяется при решениях прикладных задач. Периодические решения широко используются в физике для описания колебательных процессов, описывать циклические процессы в биологии, в инженерии и электронике периодические решения соответствуют устойчивым режимам работы колебательных систем, таких как генераторы, фильтры и схемы с обратной связью [1-7].

Развития общей теории нелинейных колебаний взял свое начало в 90-х годов XIX столетия. Для построения периодических решений нелинейных систем дифференциальных уравнений, которые содержат малый параметр был предложен метод А. Пуанкаре и этот метод широко применен в области радиофизики. Наиболее содержательные и глубокие результаты по различным проблемам теории периодических и почти периодических колебаний были изложены в многих работах ученых. В работах В.Х.Харасахала многие вопросы, связанные с системами обыкновенных дифференциальных уравнений с квазипериодической правой частью, сведены к изучению систем уравнений в частных производных. Такой переход возможен благодаря связи между квазипериодическими функциями от одной переменной и периодическими функциями от многих переменных, установленных П.Болем, Г.Бором. [8-9]

Цель этой работы исследовать вопросы существования и единственности периодических по части переменных решения в широком смысле нелинейной системы в частных производных первого порядка. Применены метод характеристик, принцип сжатых отображения получены достаточные условия существования и единственности решения в широком смысле системы дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка, с периодическими условиями.

Методология исследования

Изучение самих уравнений в частных производных представляет определенный интерес, и находят применение в прикладных задачах. Изучению периодических по временной и пространственным переменным решений систем уравнений в частных производных посвящены следующие работы [9-15].

В прикладных проблемах, когда, исходя из требований нормального функционирования объекта, достаточно обеспечить многопериодичность по части переменных, естественным образом возникает задача об установлении периодических движений по отношению к части переменных (затухающие колебания, винтовое движение материальной точки; одноосная стабилизация спутника и др.) В работе [9-10] рассматривались почти многопериодические по части переменных решения квазилинейной системы гиперболического типа с переменными

матричными коэффициентами, у которой линейная часть распадается на самостоятельные скалярные однородные линейные уравнения. Построены классические решения системы в классе периодических по части переменных функций.

В большинстве физических задач определение обобщенного решения диктуется постановкой задачи (например, в газовой динамике основными физическими законами являются законы сохранения массы, импульса, энергии, а обобщенное решение определяется как течение, удовлетворяющее этим основным законам). Следуя Фридрихсу, обобщенное решение систем в частных производных называется решением в широком смысле.

Если не предполагать, что входные данные системы в частных производных первого порядка имеют непрерывные производные, то это уравнение может не иметь ни одного решения с непрерывными частными производными. Таким примером является пример Н.М. Гюнтера [16]. Рассмотрим уравнение

$$\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial y} = b(x - y) \quad (1)$$

где $b(\omega)$ - непрерывная функция Вейерштрасса, нигде не имеющая производной по ω . Чтобы доказать это, введем вместо x и y новые независимые переменные ϑ и ω положив $x + y = \vartheta$ и $x - y = \omega$, $z(x, y) = u(\vartheta, \omega)$.

Решением уравнения (1), называем функцию $z(x, y)$, которая имеет всюду в рассматриваемой области, частные производные по x и y , и удовлетворяет этому уравнению.

Допустим, что в некоторой области на плоскости существует решение $z(x, y)$ уравнения (1), имеющее непрерывные производные по x и y . Тогда, выразив по обычным формулам производные от z по x и y через производные от u по ϑ и ω , получим

$$\frac{\partial u}{\partial \vartheta} = \frac{1}{2} b(\omega) \quad (2)$$

Все решения этого уравнения даются формулой

$$u(\vartheta, \omega) = \frac{1}{2} b(\omega)\vartheta + c(\omega), \quad (3)$$

где $c(\omega)$ - любая функция от ω . Значит,

$$z(x, y) = \frac{1}{2}(x + y)b(x - y) + c(x - y) \quad (4)$$

Но легко показать, что нет такой области на плоскости (x, y) , где даваемая этой формулой функция z имеет производные по переменным x и y . Для этого заметим следующее: если бы эти производные существовали в точке (x, y) и $(x + \varepsilon, y + \varepsilon)$, то существовали бы также производные в точке (x, y) у функции

$$z(x + \varepsilon, y + \varepsilon) - z(x, y) = \varepsilon b(x - y),$$

что невозможно. Значит, функция $z(x, y)$ не может удовлетворять уравнению (2), и наше первоначальное предположение было неверно.

Можно показать, что всякое непрерывное решение уравнения (2), имеет вид (4), если даже не требовать, чтобы решение имело непрерывные производные. Тогда мы придем к выводу, что уравнение (2) ни в какой области не имеет непрерывного решения.

Решения в широком смысле квазилинейных гиперболических систем уравнений в частных производных с двумя независимыми переменными, решения в широком смысле систем уравнений в частных производных первого порядка построены в работах [17-20].

Результаты исследования

Рассмотрим следующую нелинейную систему в частных производных первого порядка

$$Du = P(t, x, y)u + F(t, x, y, u) \quad (5)$$

где $D = \frac{\partial}{\partial t} + \sum_{j=1}^m a_j(t, x, y) \frac{\partial}{\partial x_j} + \sum_{j=1}^k b_j(t, x, y) \frac{\partial}{\partial y_j}$ - оператор дифференцирования D по направлениям векторных полей, заданных вектор - функциями $a(t, \varphi, \psi)$ и $b(t, \varphi, \psi)$ в пространстве переменных $t \in (-\infty, +\infty) = R$, $x = (x_1, \dots, x_m) \in R^m$, $y = (y_1, \dots, y_k) \in R^k$, $a(t, x, y)$, $b(t, x, y)$ - непрерывные вектор - функции размерности соответственно m, k , обладающими свойствами периодичности, гладкости

$$\begin{aligned} a(t + \theta, x + q\omega, y) &= a(t, x, y) \in C_{t,x,y}^{(0,1,1)}(R \times R^m \times R^k), \\ b(t + \theta, x + q\omega, y) &= b(t, x, y) \in C_{t,x,y}^{(0,1,1)}(R \times R^m \times R^k), \end{aligned} \quad (6)$$

и ограниченности с нормой, максимизирующей евклидовую метрику вектор - функции

$$\begin{aligned} \|a\| \leq \alpha_0, \quad \left\| \frac{\partial a}{\partial x} \right\| \leq \alpha_1, \quad \left\| \frac{\partial a}{\partial y} \right\| \leq \alpha_2, \\ \|b\| \leq \beta_0, \quad \left\| \frac{\partial b}{\partial x} \right\| \leq \beta_1, \quad \left\| \frac{\partial b}{\partial y} \right\| \leq \beta_2, \end{aligned} \quad (7)$$

для всех $q = (q_1, \dots, q_m) \in Z^m$, Z - множество целых чисел. Периоды $\omega_0 = \theta$, $\omega_1, \dots, \omega_m$ - положительные несоизмеримые постоянные, $q\omega = (q_1\omega_1, q_2\omega_2, \dots, q_m\omega_m)$ - вектор кратных периодов, $\omega = (\omega_1, \dots, \omega_m)$, $\alpha_0, \beta_0, \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ - некоторые положительные постоянные, $u = (u_1, \dots, u_{n_1})$ - искомая вектор - функция, $P(t, x, y)$ - $-n_1 \times n_1$ - матрица, обладающая свойствами периодичности по части переменных и ограниченности:

$$\begin{aligned} \|P\| \leq k_0 = \text{const} > 0, \\ P(t + \theta, x + q\omega, y) = P(t, x, y) \in C(R \times R^m \times R^k), \quad q \in Z^m \end{aligned} \quad (8)$$

$F - n_1$ - вектор - функция, обладающая свойствами периодичности

$$F(t + \theta, x + q\omega, y, u) = F(t, x, y, u) \in C_{t,x,y,u}^{(0,0,0,1)}(R \times R^m \times R^k \times R^{n_1}), \quad (9)$$

$q \in Z^m$, условию Липшица относительно x .

Оператор дифференцирования D обладает следующими свойствами:

$$1^0. D(u_1 + u_2) = Du_1 + Du_2$$

где $u_1(t, x, y)$ и $u_2(t, x, y)$ - некоторые скалярные дифференцируемые функции

$$2^0. D(u_1 \cdot u_2) = u_1 \cdot Du_2 + u_2 \cdot Du_1$$

$$3^0. D(C \cdot u_1) = k \cdot Du_1, \text{ где } C = \text{const}.$$

4⁰. Если $u(t, x, y) = \{u_1(t, x, y), \dots, u_n(t, x, y)\}$ - дифференцируемая n - мерная вектор - функция, то $Du = \{Du_1, Du_2, \dots, Du_n\}$. Таким образом, оператор D действует на вектор - функцию $u(t, x, y)$ по координатам.

5⁰. Оператор D действует на матричную функцию поэлементно, т.е. если $U(t, x, y) = \{u_{jk}(t, x, y)\}$ ($j = \overline{1, m}, k = \overline{1, m}$), то положим

$$DU = \{Du_{jk}\}$$

8⁰. Для постоянной матрицы C имеем, $DC = 0$.

9⁰. Если $U(t, x, y)$ - неособенная матрица и $U^{-1}(t, x, y)$ - ее обратная матрица, то

$$DU^{-1} = -U^{-1}(DU)U^{-1}$$

Определение

Непрерывная в $R \times R^m \times R^k$ вектор функция $u(t, x, y)$ называется периодической по части переменных решением системы (5) в широком смысле, если она периодична по t, φ с вектор - периодом (θ, ω) , т.е. удовлетворяет следующую условию

$$u(t + \theta, x + q\hat{\omega}, y) = u(t, x, y), \quad (*)$$

ограничена по всем переменным и непрерывно дифференцируема по переменному t вдоль характеристики $\{\lambda(t, t_0, x_0, y_0), \xi(t, t_0, x_0, y_0)\}$ оператора дифференцирования D , причем для полных производных по t выполнены тождества

$$\frac{d\tilde{u}}{dt} = \tilde{P}\tilde{u} + \tilde{F} \quad (10)$$

где

$$\tilde{u} = u(t, \lambda(t, t_0, x_0, y_0), \xi(t, t_0, x_0, y_0)), \tilde{P} = P(t, \lambda(t, t_0, x_0, y_0), \xi(t, t_0, x_0, y_0)),$$

$$\tilde{F} = F(t, \lambda(t, t_0, x_0, y_0), \xi(t, t_0, x_0, y_0), \tilde{x}(t, \lambda(t, t_0, x_0, y_0), \xi(t, t_0, x_0, y_0)))$$

Характеристики $\{\lambda(t, t_0, x_0, y_0), \xi(t, t_0, x_0, y_0)\}$ оператора дифференцирования D удовлетворяет следующим интегральным уравнениям [21],

$$\begin{cases} \lambda(t, t_0, x_0, y_0) = x_0 + \int_{t_0}^t a[s, \lambda(s, t_0, x_0, y_0), \xi(s, t_0, x_0, y_0)] ds \\ \xi(t, t_0, x_0, y_0) = y_0 + \int_{t_0}^t b[s, \lambda(s, t_0, x_0, y_0), \xi(s, t_0, x_0, y_0)] ds \end{cases}$$

Теорема 1. Пусть матрицант системы (5) $U(t, x, y, t_0, \lambda(t_0, t, x, y), \xi(t_0, t, x, y))$ обладает свойством некритичности

$$|U(t, x, y, t_0, \lambda(t_0, t, x, y), \xi(t_0, t, x, y))| \leq B e^{-\gamma(t-t_0)}, t \geq t_0,$$

где $B = \text{const} \geq 1$, $\gamma > 0$, и выполнены условия (6)-(9). Тогда система (4) имеет единственное периодическое по части переменных решение в широком смысле.

Доказательство.

В силу условия (9), имеем оценку

$$|F(t, x, y, u)| \leq M + N|u| \quad (9_1)$$

Где $\|F\| = \sup_{R \times R^m \times R^k \times R^{n_1}} |F(t, x, y, 0)| = M, N > 0$ - постоянная Липшица, для всех $(t, x, y, u) \in R \times R^m \times R^k \times R^{n_1}$. Тогда решение системы (5) продолжаемо при всех $(t, x, y) \in R \times R^m \times R^k$.

В шаре $S_{\Delta}^{\theta, \omega}$ пространства (θ, ω) - периодических по t, x , ограниченных и непрерывных функций $u(t, x, y)$ с нормой $\|u\| = \sup_{R \times R^m \times R^k \times R_{n_1}} |u(t, x, y)| \leq \Delta_1 = \text{const} > 0$ рассмотрим интегральный оператор Q_1 :

$$Q_1 u(t, x, y) = \int_{-\infty}^t U(t, x, y, s, \lambda(s, t, x, y), \xi(s, t, x, y)) \times f(s, \lambda(s, t, x, y), \xi(s, t, x, y), x(s, \lambda(s, t, x, y), \xi(s, t, x, y))) ds$$

в предположении, что постоянные B, γ, N, M и Δ_1 связаны соотношениями

$$\frac{B}{\gamma}(M + N\Delta_1) < \Delta_1 \quad (11)$$

Тогда из (11) следует, что

$$\frac{BN}{\gamma} < 1. \quad (12)$$

В силу условия (9) и оценок (11), (9) и (12) оператор Q_1 отображает $S_{\Delta}^{\theta, \omega}$ в себя и является сжимающим оператором. Следовательно, по принципу сжатых отображений Q_1 оператор в пространстве $S_{\Delta}^{\theta, \omega}$ имеет единственную неподвижную точку $u^*(t, x, y) = (Q_1 u^*)(t, x, y)$.

Далее, покажем, что в силу наложенных выше условий на систему (1), неподвижная точка $u^*(t, x, y)$ непрерывно дифференцируема по t вдоль характеристик и является решением системы (5) в широком смысле.

Действительно, имеем тождество

$$u^*(t, x, y) = \int_{-\infty}^t U(t, x, y, s, \lambda(s, t, x, y), \xi(s, t, x, y)) \times f(s, \lambda(s, t, x, y), \xi(s, t, x, y), x(s, \lambda(s, t, x, y), \xi(s, t, x, y))) ds$$

которое вдоль характеристики $x = \lambda(t, t_0, x_0, y_0), y = \xi(t, t_0, x_0, y_0)$ переходит в соотношение

$$\begin{aligned} & u^*(t, \lambda(t, t_0, x_0, y_0), \xi(t, t_0, x_0, y_0)) = \\ & = \int_{-\infty}^t X(t, \lambda(s, t_0, x_0, y_0), \xi(s, t_0, x_0, y_0), s, x_0, y_0) \times \\ & \times F(s, x_0, y_0, u(s, x_0, y_0)) ds, \end{aligned}$$

с векторным параметром $x_0 = (x_1^0, \dots, x_m^0) \in R^m, y_0 = (y_1^0, \dots, y_k^0) \in R^k$.

Дифференцируемость решения по переменному t , полученного вольтероваго интегрального уравнения общеизвестна, в силу равномерной сходимости несобственного интеграла.

На основании теоремы о непрерывности решений обыкновенных дифференциальных уравнений по параметрам покажем непрерывность $\tilde{u}(t, x_0, y_0)$ по координатам x_0, y_0 . $\tilde{u}(t, x_0, y_0)$ является единственным ограниченным решением соответствующей системы обыкновенных дифференциальных уравнений (10).

Замена $x_0 = \lambda(t_0, t, x, y), y_0 = \xi(t_0, t, x, y)$ естественно не нарушают ее дифференцируемость, которая переводит это решение в решение $u^*(t, x, y)$ исследуемой нелинейной системы (5). Таким образом, имеем

$$u^*(t, x, y) \in S_{\Delta}^{\theta, \omega}.$$

Теперь покажем, что такое решение u системы (5) единственное. Действительно, разность $\rho(t, x, y)$ двух разных периодических по части переменных решений в широком смысле $u^*(t, x, y)$ и $u^{**}(t, x, y)$ системы (5) удовлетворяет линейной системе

$$D\rho = P(t, x, y)\rho + F(t, x, y, u^*) - F(t, x, y, u^{**})$$

имеет интегральное представление

$$u(t, x, y) = \int_{-\infty}^t U(t, x, y, s, \lambda(s, t, x, y), \xi(s, t, x, y)) \times \\ \times [F(s, \lambda(s, t, x, y), \xi(s, t, x, y), u^*(s, \lambda(s, t, x, y), \xi(s, t, x, y))) - \\ - F(s, \lambda(s, t, x, y), \xi(s, t, x, y), u^{**}(s, \lambda(s, t, x, y), \xi(s, t, x, y)))] ds$$

Оценивая ее, в силу (9), получим

$$\|\rho\| \leq \frac{BN}{\gamma} \|\rho\|$$

где $\frac{BN}{\gamma} < 1$. Отсюда имеем $\|\rho\| = 0$, т.е. периодическое по части переменных решение системы (1) единственное.

Установим необходимое и достаточное условие периодичности по части переменных решения в широком смысле системы (5).

Теорема 2. Для того чтобы решение в широком смысле $u(t, x, y)$ системы (5) было (θ, ω) -периодическим по части (t, x) переменных (t, x, y) необходимо и достаточно, чтобы выполнялось тождество

$$u(t_0, \lambda(t_0, t, x, y), \xi(t_0, t, x, y)) = u(t_0 + \theta, \lambda(t_0, t, x, y) + q\omega, \xi(t_0, t, x, y)) \quad (13)$$

Доказательство. Необходимость условия (13) следует из (θ, ω) периодичности по (t, x) решения в широком смысле системы (5). Если функция $u(t, x, y)$ периодическая по части переменных, то выполняется тождество (*) для всех $(t, x, y) \in R \times R^m \times R^k$. Заменим t на t_0 , x на $\lambda(t_0, t, x, y)$, y на $\xi(t_0, t, x, y)$, тогда получим тождество (*).

Для доказательства достаточности применяем свойства обратимости, периодичности характеристической вектор – функции $\{\lambda(t, t_0, x_0, y_0), \xi(t, t_0, x_0, y_0)\}$.

Допустим, что $u(t, x, y)$ - решение в широком смысле системы (1), удовлетворяющее условию (13).

Очевидно, что наряду с решением $u(t, x, y)$ в широком смысле системы (5) вектор – функция $u(t + \theta, x + q\omega, y)$ является также решением в широком смысле этой системы в силу (θ, ω) - периодичности системы по (t, ϕ) , причем, положив $t = t_0$ в условии (13) имеем

$$u(t_0 + \theta, x + q\omega, y) = u(t_0, x, y) \quad (*)$$

Далее, рассматривая эти решения вдоль характеристик имеем $u(t, \lambda(t, t_0, x_0, y_0), \xi(t, t_0, x_0, y_0))$ и $u(t + \theta, \lambda(t, t_0, x_0, y_0) + q\omega, \xi(t, t_0, x_0, y_0))$, которые являются решениями системы (1), причем при $t = t_0$ они в силу (13) совпадают, т.е.

$$u(t_0 + \theta, x_0 + q\omega, y_0) = u(t_0, x_0, y_0)$$

Следовательно, в силу единственности решений системы (5) эти решения тождественно равны:

$$u(t + \theta, \lambda(t, t_0, x_0, y_0) + q\omega, \xi(t, t_0, x_0, y_0)) = u(t, \lambda(t, t_0, x_0, y_0), \xi(t, t_0, x_0, y_0))$$

Отсюда заменой $x_0 = \lambda(t_0, t, x, y)$, $y_0 = \xi(t_0, t, x, y)$. в силу $\lambda[t_0, \tau, \lambda(\tau, t, x, y), \xi(\tau, t, x, y)] = \lambda(t_0, t, x, y)$, $\xi[t_0, \tau, \lambda(\tau, t, x, y), \xi(\tau, t, x, y)] = \xi(t_0, t, x, y)$. имеем определение периодичности решения:

$$u(t + \theta, x + q\omega, y) = u(t, x, y)$$

Теорема доказана.

Дискуссия

Классические решения нелинейных уравнений обладают свойством неограниченного возрастания величины производных, которое называют градиентной катастрофой. Смысл этого свойства состоит в том, что при сколь угодно гладких начальных значениях первые производные решения остаются ограниченными, лишь в течение конечного времени. При некотором $t_0 > 0$ они становятся неограниченными. При $t > t_0$ классического решения поставленной задачи Коши не существует (например, ударная волна, образованная из волны сжатия).

Исследуя решения в широком смысле с периодическими условиями нелинейной системы в частных производных первого порядка, показали, что есть возможность ослабить условия существования и построения классического решения нелинейной системы.

Заключение

Получены достаточные условия существования и единственности периодической по части переменных решения в широком смысле нелинейной системы дифференциальных уравнений первого порядка. Установлена необходимая и достаточная условие периодичности по части переменных решения в широком смысле системы.

Если предполагать, что вектор - функция F и матрица P имеют непрерывную и ограниченную производную первого порядка по координатам векторов x, y , и выполнены все условия теоремы 1, тогда построенное решение в широком смысле будет классическим решением системы (1).

Благодарность

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант AP19675358)

Список использованных источников

- [1] E.M. Abbasov, N.A. Agaeva, and S.A. Imamaliyev Modeling of Hydrodynamics of Liquid Motion in Complex Profile Pipeline // *Journal of Engineering Thermophysics*, Vol. 29, No. 3, 2020
- [2] Muhammad Bhatti, Pau IBracken, Nicholas Dimakis and Armando Herrera Solution of mathematical model for gas solubility using fractional order Bhatti polynomials // *J. Phys. Commun.*2(2018), 085013, P. 1-8, <https://doi.org/10.1088/2399-6528/aad2fc>
- [3] Calatayud J. et al. Constructing reliable approximations of the probability density function to the random heat PDE via a finite difference scheme / *Applied Numerical Mathematics*, 2020, T. 151, pp. 413-424. DOI 10.1016/j.apnum.2020.01.012.
- [4] Cebula A., Taler J., Ocloń P. Heat flux and temperature determination in a cylindrical element with the use of finite volume finite element method // *International journal of thermal sciences*, 2018, vol. 127, pp. 142-157, DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2018.01.022
- [5] M.J. Mardanov, Y.A. Sharifov, K.E. Ismayilova. Existence and uniqueness of solutions for the system of integro-differential equations with three-point and nonlinear integral boundary conditions, // *Bulletin of the Karaganda University Mathematics series*. № 3(99)/2020
- [6] Клер А.М. Метод динамических расчетов элементов теплоэнергетических установок, сводящий решение систем дифференциальных уравнений в частных производных к решению задач

линейного программирования / А.М. Клер, Д.В. Апанович // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2022. – № 3(27). – С. 148-161. – DOI: 10.38028/ESI.2022.27.3.014.

[7] [Imanchiyev, A.E.](#), [Assanova, A.T.](#), [Molybaikyzy, A.](#) Properties of a Nonlocal Problem for Hyperbolic Equations with Impulse Discrete Memory // *Lobachevskii Journal of Mathematics*, 2023, 44(10), P.4299–4309

[8] Харасахал В.Х. Почти периодические решения обыкновенных дифференциальных уравнений. – Алма-Ата: Наука, 1970.

[9] Умбетжанов Д.У. Почти многопериодические решения дифференциальных уравнений в частных производных. – Алма-Ата: Наука, 1979.

[10] Умбетжанов Д.У., Бержанов А.Б. О голоморфном почти многопериодическом решении одного интегро-дифференциального уравнения в частных производных // Известия АН КазССР. – 1977. - сер физ. - мат № 5., С.61-66

[11] T. K. Yuldashev and O. Kh. Abdullaev, Unique solvability of a boundary value problem for a loaded fractional parabolic-hyperbolic equation with nonlinear terms // *Lobachevskii J. Math.* 42, 2021, P.1113–1123

[12] G. M. Aitenova, Zh. A. Sartabanov, G. A. Abdikalikova, and A. Kerimbekov, ‘‘Bounded and multiperiodic solutions of the system of partial integro-differential equations // *Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series*, 95 (3), 8–18 (2019)

[13] Sartabanov Zh.A., Zhumagazyev A.Kh., Abdikalikova G.A Multiperiodic solution of linear hyperbolic in the narrow sense system with constant coefficients // *Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series*, 2020, 98(2), P.125–140

[14] Assanova, A.T., Bekbauova, A.U., Talipova, M.Z. On a non-local problem for system of partial differential equations of hyperbolic type in a specific domain // *International Journal of Mathematics and Physics*, 2023, 14(2), P. 36–41

[15] Zhumagazyev A.Kh., Sartabanov Zh.A., Sultanaev Ya.T On a new method for investigation of multiperiodic solutions of quasilinear strictly hyperbolic system // *Azerbaijan Journal of Mathematics*, 2022, Vol. 12, No1, P. 32-48. WOS: 000824351800003.

[16] Петровский И.Г. Лекции об уравнениях с частными производными. – М. Наука, 1965.

[17] Rozhdestvensky B. L., Yanenko N. N., Quasi-linear systems equations and their applications to gas dynamics, Nauka, M., 1978, 687 p.

[18] ZHestkov S.V. O postroenii mnogoperiodicheskikh reshenij polulinejnyh giperbolicheskikh sistem uravnenij v chastnyh proizvodnyh s pomoshch'yu harakteristik /S.V.ZHestkov // *Differencial'nye uravneniya*. - 1984. - T.20. - №9. -S.1630-1632.

[19] Abdikalikova G.A. Research of a nonlocal boundary value problem by the parameterization method // *International Journal of Information and Communication Technologies. Volume 1, Issue 2, June 2020. P.12-16.*

[20] A.U.Bekbauova, M.ZH.Talipova, A.E.Imanchiev, E.K.Kurmangaliev, N.ZH.Uteuova, Derbes tuyndyly differencialdyq teñdeuler zhyjesiniñ keñ mazynadaғы sheshimderin тырғызу // *VESTNIK KazNPU im. Abaya, seriya «Fiziko-matematicheskie nauki»*, N3(83), 2023g, S. 7-15

Referens

[1] E.M. Abbasov, N.A. Agaeva, and S.A. Imamaliev Modeling of Hydrodynamics of Liquid Motion in Complex Profile Pipeline // *Journal of Engineering Thermophysics*, Vol. 29, No. 3, 2020

[2] Muhammad Bhatti, Pau IBracken, Nicholas Dimakis and Armando Herrera Solution of mathematical model for gas solubility using fractional order Bhatti polynomials // *J. Phys. Commun.*2(2018), 085013, P. 1-8, <https://doi.org/10.1088/2399-6528/aad2fc>

[3] Calatayud J. et al. Constructing reliable approximations of the probability density function to the random heat PDE via a finite difference scheme / *Applied Numerical Mathematics*, 2020, T. 151, pp. 413-424. DOI 10.1016/j.apnum.2020.01.012.

[4] Cebula A., Taler J., Ocloń P. Heat flux and temperature determination in a cylindrical element with the use of finite volume finite element method // *International journal of thermal sciences*, 2018, vol. 127, pp. 142-157, DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2018.01.022

[5] M.J. Mardanov, Y.A. Sharifov, K.E. Ismayilova. Existence and uniqueness of solutions for the system of integro-differential equations with three-point and nonlinear integral boundary conditions, // *Bulletin of the Karaganda University Mathematics series. № 3(99)/2020*

[6] Kler A.M. Metod dinamicheskikh raschetov elementov teploenergeticheskikh ustanovok, svodyashchij reshenie sistem differencial'nyh uravnenij v chastnyh proizvodnyh k resheniyu zadach linejnogo

programmirovaniya / A.M. Kler, D.V. Apanovich // *Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii*. – 2022. – № 3(27). – S. 148-161. – DOI: 10.38028/ESI.2022.27.3.014.

[7] Imanchiyev, A.E., Assanova, A.T., Molybaikyzy, A. *Properties of a Nonlocal Problem for Hyperbolic Equations with Impulse Discrete Memory* // *Lobachevskii Journal of Mathematics.*, 2023, 44(10), P.4299–4309

[8] Harasahal V.H. *Almost periodic solutions of ordinary differential equations*. Alma-Ata: Science, 1970.

[9] Umbetzhhanov D.U. *Almost multi-period solutions of partial differential equations*. Alma-Ata: Science, 1979.

[10] Umbetzhhanov D.U., Berzhanov A.B. *On the holomorphic almost multi-periodic solution of one integro-differential partial differential equation* // *Izvestia AN KazSSR*. – 1977. - ser physical. - mat No. 5., S.61-66

[11] T. K. Yuldashev and O. Kh. Abdullaev, ‘‘Unique solvability of a boundary value problem for a loaded fractional parabolic-hyperbolic equation with nonlinear terms // *Lobachevskii J. Math.* 42, 2021, P.1113–1123

[12] G. M. Aitenova, Zh. A. Sartabanov, G. A. Abdikalikova, and A. Kerimbekov, ‘‘Bounded and multiperiodic solutions of the system of partial integro-differential equations // *Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series*, 95 (3), 8–18 (2019)

[13] Sartabanov Zh.A, Zhumagazyev A.Kh., Abdikalikova G.A *Multiperiodic solution of linear hyperbolic in the narrow sense system with constant coefficients* // *Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series*, 2020, 98(2), P.125–140

[14] Assanova, A.T., Bekbauova, A.U., Talipova, M.Z. *On a non-local problem for system of partial differential equations of hyperbolic type in a specific domain* // *International Journal of Mathematics and Physics*, 2023, 14(2), P. 36–41

[15] Zhumagazyev A.Kh., Sartabanov Zh.A., Sultanaev Ya.T *On a new method for investigation of multiperiodic solutions of quasilinear strictly hyperbolic system* // *Azerbaijan Journal of Mathematics*, 2022, Vol. 12, No1, P. 32-48. WOS: 000824351800003.

[16] Petrovskij I.G. *Lekcii ob uravneniyah s chastnymi proizvodnymi*. – M. Nauka, 1965.

[17] Rozhdestvensky B. L., Yanenko N. N., *Quasi-linear systems equations and their applications to gas dynamics*, Nauka, M., 1978, 687 p.

[18] ZHestkov S.V. *O postroenii mnogoperiodicheskikh reshenij polulinejnyh giperbolicheskikh sistem uravnenij v chastnyh proizvodnyh s pomoshch'yu harakteristik* /S.V.ZHestkov // *Differencial'nye uravneniya*. - 1984. - T.20. - №9. -S.1630-1632.

[19] Abdikalikova G.A. *Research of a nonlocal boundary value problem by the parameterization method* // *International Journal of Information and Communication Technologies*. Volume 1, Issue 2, June 2020. R.12-16.

[20] A.U.Bekbauova, M.ZH.Talipova, A.E.Imanchiev, E.K.Kurmangaliev, N.ZH.Uteuova, *Derbes tuyndyly differencialdyq teñdeuler zhyjesiniñ keñ mazynadaғы sheshimderin tǵrǵyzu* // *VESTNIK KazNPU im. Abaya, seriya «Fiziko-matematicheskie nauki»*, N3(83), 2023g, S. 7-15

С.В. Быстрова^{1*}, Б.Г. Джужбаева¹, Т.Б. Акишев¹, А.Б. Кыдырбаева¹, В.И. Чердаков¹

¹Екибастузский инженерно-технический институт имени академика К.Сатпаева,
г. Экибастуз, Казахстан

*e-mail: bystrova-s-v@eiti.edu.kz

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПАРА В КОТЛОАГРЕГАТЕ

Аннотация

В работе исследуются процессы регулирования давления пара в котлоагрегате с целью повышения эффективности и надежности его работы. Основная цель исследования - разработка математической модели, позволяющей точно описывать динамические процессы в системе и определять оптимальные параметры работы регулятора давления. К задачам исследования относятся разработка модели динамических процессов, анализ существующих методов регулирования и подбор оптимальных параметров для минимизации отклонений давления. Методология исследования включает моделирование процессов настройки ПИ-регулятора (Пропорционально-интегральный регулятор) инженерными методами, сравнительный анализ и оценку результатов, полученных при синтезе САУ (Системы автоматического регулирования) с ПИ-регулятором. Проведя настройку и оценив качественные характеристики рассматриваемого регулятора, был сделан вывод о влиянии этого регулятора на эффективность системы автоматического регулирования давления в барабане. С учетом полученных численных значений критериев качества можно сделать вывод о том, что выбранные настроечные коэффициенты и структура ПИ-регулятора гарантируют необходимые свойства системы регулирования давления и соответствуют всем требованиям, предъявляемым к промышленным регуляторам. Данные результаты являются важными для повышения эффективности эксплуатации тепловых электростанций и сокращения их энергетических и эксплуатационных затрат, что имеет значение для энергетической области и автоматизированных систем управления.

Ключевые слова: математическое моделирование, автоматическое регулирование, автоматизированные системы управления, ПИ-регулятор, методы настройки, тепловые электростанции.

С.В. Быстрова^{1*}, Б.Г. Джужбаева¹, Т.Б. Акишев¹, А.Б. Кыдырбаева¹, В.И. Чердаков¹

¹Қ.И. Сәтбаев атындағы Екібастұз инженерлік-техникалық институты, Екібастұз қ., Қазақстан

ҚАЗАНДЫҚ ҚОНДЫРҒЫСЫНДАҒЫ БУ ҚЫСЫМЫН РЕТТЕУ ПРОЦЕСІН МОДЕЛЬДЕУ

Аңдатпа

Бұл зерттеуде қазандықтың тиімділігі мен сенімділігін арттыру мақсатында бу қысымын реттеу үрдістері қарастырылған. Зерттеудің басты мақсаты – жүйедегі динамикалық процестерді дәл сипаттайтын және қысым реттегішінің оңтайлы параметрлерін анықтауға мүмкіндік беретін математикалық модель құру. Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды: динамикалық процестердің моделін әзірлеу; қолданыстағы реттеу әдістерін талдау; қысымның ауытқуын азайтатын оңтайлы параметрлерді таңдау. Зерттеу барысында пропорционалды-интегралды (ПИ) реттегішті инженерлік әдістер арқылы теңшеу, модельдеу, сондай-ақ автоматты реттеу жүйесінің (АРЖ) синтезі нәтижелерін салыстырмалы талдау жүргізілді. Алынған нәтижелер негізінде қарастырылған реттегіштің сапалық сипаттамалары бағаланып, оның барабандағы қысымды автоматты реттеу жүйесіне әсері туралы қорытынды жасалды. Сапа критерийлерінің сандық көрсеткіштерін ескере отырып, тандалған реттеу коэффициенттері мен ПИ-реттегіш құрылымы қысымды реттеу жүйесінің қажетті сипаттамаларын қамтамасыз ететіні және өнеркәсіптік талаптарға сай келетіні анықталды. Бұл нәтижелер жылу электр станцияларының тиімділігін арттыруға, энергетикалық және пайдалану шығындарын азайтуға елеулі үлес қоса алады. Сонымен қатар, олар энергетикалық сектор мен автоматтандырылған басқару жүйелері үшін маңызды болып табылады.

Түйін сөздер: математикалық модельдеу, автоматты реттеу, автоматтандырылған басқару жүйелері, ПИ- реттегіш, баптау әдістері, жылу электр станциялары.

S.V. Bystrova^{1*}, B.G. Djuzbayeva¹, T.B. Akishev¹, A.B. Kydyrbayeva¹, V.I. Cherdakov¹

¹Ekibastuz Engineering and Technical Institute named after Academician K. Satpayev,
Ekibastuz, Kazakhstan

MODELING THE PROCESS OF STEAM PRESSURE CONTROL IN A BOILER UNIT

Abstract

The paper investigates the processes of steam pressure regulation in a boiler unit in order to increase the efficiency and reliability of its operation. The main purpose of the study is to develop a mathematical model that allows to describe the dynamic processes in the system accurately and determine optimal parameters of the pressure regulator. The objectives of the research include development of a model of dynamic processes, analysis of existing control methods and selection of optimal parameters to minimize pressure deviations. The research methodology includes modeling the processes of setting up a PI-controller (Proportional integral controller) by engineering methods, comparative analysis and evaluation of the results obtained during the synthesis of ACS (Automatic control systems) with a PI controller. After setting up and evaluating the qualitative characteristics of the regulator in question, it was concluded that this regulator had an effect on the effectiveness of automatic pressure control system in the drum. Taking into account the obtained numerical values of the quality criteria, it can be concluded that the selected tuning coefficients and the structure of the PI regulator guarantee the necessary properties of the pressure control system and meet all the requirements for industrial regulators. These results are important for improving the efficiency of operation of thermal power plants and reducing their energy and operating costs, which is important for energy sector and automated control systems.

Keywords: mathematical modeling, automatic regulation, automated control systems, PI-controller, tuning methods, thermal power plants.

Основные положения

В ходе исследования были разработаны и протестированы математическая модель и методы оптимизации для регулирования давления пара в котлоагрегате. Основная идея работы заключается в использовании численных методов для повышения точности и стабильности работы системы управления. Результаты показали, что оптимизация параметров регулятора приводит к значительному снижению отклонений давления, что повышает эффективность работы котлоагрегата и снижает энергозатраты. Выводы исследования подчеркивают важность адаптации современных технологий в области управления для повышения надежности и конкурентоспособности энергетических систем.

Введение

Эффективное и стабильное регулирование давления пара является важной задачей для обеспечения надежной и экономичной работы котлоагрегатов на тепловых электростанциях. Колебания давления пара могут приводить к снижению эффективности работы оборудования, увеличению энергозатрат и сокращению срока его службы. В связи с этим была исследована система регулирования давления пара с целью разработки методов и моделей, которые позволят повысить точность и надежность регулирования давления пара.

Цель данного исследования – создать математическую модель процессов регулирования давления пара в котлоагрегате и оптимизировать параметры системы управления, чтобы минимизировать отклонения и обеспечить стабильность работы агрегата. В рамках исследования были проверены следующие гипотезы:

1. Существующие регуляторы давления пара могут быть улучшены путем применения численных методов оптимизации.

2. Моделирование динамических процессов в котлоагрегате позволяет выявить ключевые параметры, влияющие на точность регулирования.

3. Оптимизация этих параметров приводит к повышению стабильности работы системы и снижению энергозатрат.

Данное исследование направлено на решение актуальной задачи повышения эффективности и надежности работы котлоагрегатов и автоматизированных систем управления ими, что имеет значение для развития энергетической отрасли.

Методология исследования

Для проведения исследований использовалась материально-техническая база филиала кафедры «Автоматизация и информационные системы» Екибастузского инженерно-технического института имени академика К. Сатпаева, расположенного на базе производственного предприятия ТОО «ЭГРЭС-1 имени Б. Нуржанова». В рамках исследования использовался типовой котлоагрегат, который распространен на современных тепловых электростанциях и соответствует стандартам промышленного оборудования. Это позволило обеспечить репрезентативность и практическую применимость результатов эксперимента.

Основной объект моделирования: типовой пылеугольный котлоагрегат, использующий угольную пыль в качестве топлива. В исследовании учитывались следующие процессы:

1. Подготовка топлива и сжигание угольной пыли.
2. Нагрев воды и преобразование ее в пар.
3. Регулирование давления пара в системе.

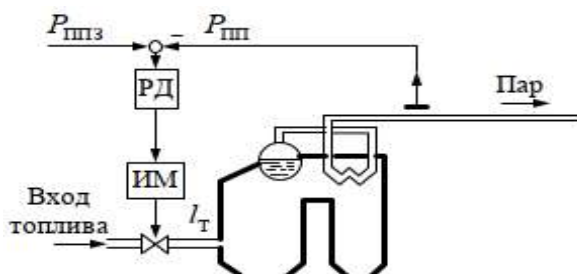
Таким образом, пылеугольный парогенератор осуществляет преобразование энергии, содержащейся в угольной пыли, в тепловую энергию, которая затем используется для производства пара и генерации электроэнергии [1].

Давление пара, вырабатываемого котлом, находится в прямой зависимости от расхода топлива, подаваемого для сжигания в топку. Чем больше расход топлива, тем более высокое давление пара можно поддерживать в котле при неизменной его паропроизводительности. И, наоборот, при постоянном давлении пара за счет изменения расхода топлива можно изменять паропроизводительность котла. Таким образом, регулирование давления пара сводится к регулированию подачи топлива в топку котла.

Для регулирования давления пара использовался замкнутый контур управления, включающий:

- Объект управления (топка и барабан котлоагрегата) с управляющим воздействием в виде расхода топлива и возмущением в виде расхода пара.
- Датчик давления пара.
- Пропорционально-интегральный регулятор (ПИ-регулятор).
- Исполнительный механизм и регулирующий орган [2].

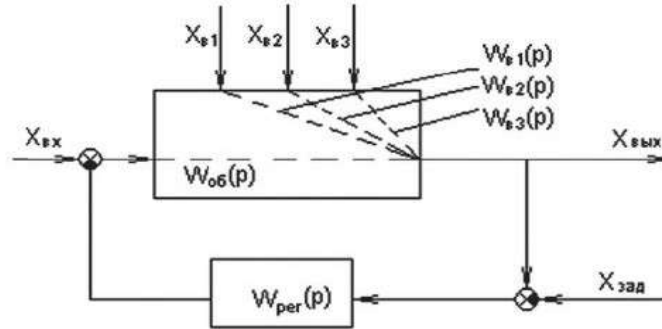
Замкнутый контур управления давлением пара показан на рисунке 1.



*ИМ – Исполнительный механизм, РД – Регулятор давления,
 $P_{ПЗ}$ – Задание давления пара за барабаном, $P_{П}$ – Давление пара за барабаном,
 I_T – сигнал управления регулирующим органом*

Рисунок 1. Функциональная схема системы регулирования давлением пара

В качестве исходных данных предлагается замкнутая одноконтурная система автоматического управления, структурная схема которой приведена на рисунке 2. Объект управления является одноканальным, передаточная функция по каналу известна.



$W_{об}(p)$ – Передаточная функция объекта по управляющему воздействию,

$W_{рег}(p)$ – Передаточная функция регулятора,

$W_{в1}(p), W_{в2}(p), W_{в3}(p)$ – Передаточные функции объектов по каналам возмущающих воздействий,

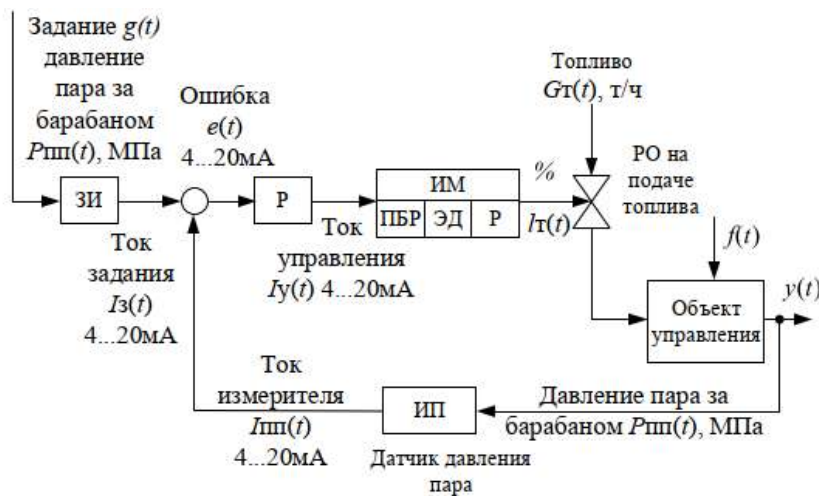
$X_{вх}$ – Входной параметр, $X_{вых}$ – Выходной параметр регулирования,

$X_{зад}$ – Заданное значение регулируемого параметра,

$X_{в1}, X_{в2}, X_{в3}$ – Входные сигналы возмущающего воздействия

Рисунок 2. Структурная схема системы автоматического управления с одноканальным объектом управления

На рисунке 3 представлена структурно-аналитическая схема регулирования по каналу «расход топлива - давление пара».



$g(t)$ – Уставочное значение давления пара, $P_{пп}(t)$ – Давление пара за барабаном котла,

$e(t)$ – Ошибка регулирования, $G_t(t)$ – Массовый расход топлива, ЗИ – Задатчик интенсивности,

P – регулятор, ИМ – Исполнительный механизм, РО – Регулирующий орган,

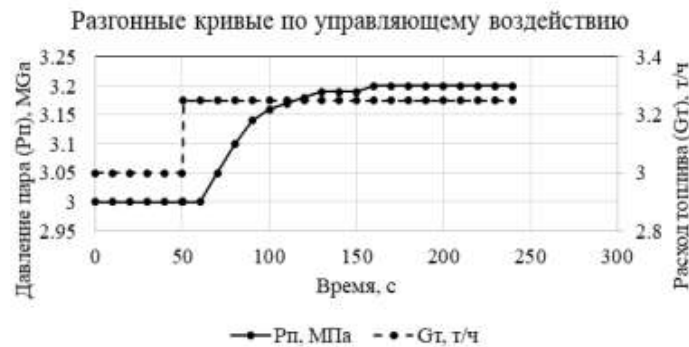
ПБР – Пускатель бесконтактный реверсивный, ЭД – Электрический двигатель, Р – Редуктор,

$I_з(t)$ – Ток задания, $I_у(t)$ – Ток управления, $I_т(t)$ – Ток управления регулирующим органом подачи топлива, $I_{пп}(t)$ – Ток измерительного преобразователя (ИП), ИП – Измерительный преобразователь,

$f(t)$ – Сигнал возмущающего воздействия, $y(t)$ – Регулируемый параметр

Рисунок 3. Алгоритмическая схема системы регулирования

Математическая модель представлена в форме передаточной функции для объекта управления, учитывающей воздействие через управляющий канал. График зависимости давления пара от изменения расхода топлива представлен на рисунке 4.



R_p – Давление пара, G_T – Расход топлива
 Рисунок 4. Экспериментальная кривая объекта

Полученная по экспериментальной кривой передаточная функция статического объекта управления по каналу регулирующего воздействия, $W_{0y}(p)$, будет выглядеть следующим образом:

$$W_{0y}(p) = \frac{R_{пб}(p)}{G_T(p)} = \frac{K_{об} \cdot e^{-p \cdot \tau}}{T_{об} \cdot p + 1} = \frac{0.8 \cdot e^{-10 \cdot p}}{30 \cdot p + 1}$$

где $R_{пб}(p)$ – давление пара за барабаном,
 $G_T(p)$ – расход топлива,
 $K_{об}$ – коэффициент усиления,
 $T_{об}$ – постоянная времени,
 τ – время запаздывания.

При настройке системы автоматического управления, как при помощи приближенных инженерных методов, так и с применением точных классических методов технического анализа, необходимо учитывать два основных аспекта: обеспечение устойчивости и достижение желаемых показателей качества [3].

Перед началом определения параметров регулятора, включая его пропорциональную и интегральную составляющие, важно определить требования к качеству регулирования, учитывая особенности технологического процесса. Основными показателями, определяющими переходные процессы, являются следующие:

- максимальное динамическое отклонение регулируемой величины от заданного значения,
- перерегулирование,
- остаточное отклонение регулируемой величины от заданного значения,
- интегральная оценка качества переходного процесса регулирования [4].

В связи с тем, что критерии качества регулирования могут различаться в зависимости от конкретной задачи, существует множество разнообразных инженерных методов настройки [5].

Для исследования были выбраны три метода настройки ПИ-регулятора:

1. Аналитический метод Копеловича - применяется для получения приближенных решений и расчета параметров ПИ-регулятора на основе аналитических формул. Этот метод позволяет быстро определить начальные значения настроек регулятора.

2. Метод Циглера-Никольса - основан на экспериментальном подходе с использованием метода незатухающих колебаний. Он был выбран, так как широко используется для настройки ПИ-регуляторов в промышленности и позволяет получить значения параметров с учетом динамических характеристик системы.

3. Автоматизированный метод с использованием пакета Simulink Design Optimization - применяется для оптимизации настроек регулятора с использованием численных методов и инструментального пакета MATLAB/Simulink. Данный метод обеспечивает точные значения параметров регулятора на основе имитационного моделирования [6,7].

Каждый из методов был протестирован на замкнутой системе управления котлоагрегатом, моделирующей реальную работу оборудования. Для каждой настройки ПИ-регулятора оценивались показатели качества регулирования, такие как время переходного процесса, динамическое отклонение, степень перерегулирования и статическая ошибка.

Основные критерии оценки качества регулирования:

- Время переходного процесса (*t_{рег}*).
- Максимальное динамическое отклонение (*X_{дин}*).
- Установившееся значение (*X_{ст}*).
- Колебательность и степень перерегулирования (*ψ*).

Приведем ключевые результаты каждого из методов и их влияние на показатели качества регулирования системы.

Аналитический метод Копеловича предполагает использование математических формул и расчетов для настройки ПИ-регулятора. В нашей работе этот метод используется с помощью программного обеспечения Mathcad, что позволяет автоматизировать и упростить вычислительные процессы, а также уменьшить вероятность ошибок. Такой подход обеспечивает более точное и быстрое определение оптимальных настроек регулятора, что выгодно отличает его от методов, требующих ручных расчетов или экспериментального подбора параметров.

На рисунке 5 показаны расчеты настройки ПИ-регулятора (среда Mathcad) для двух видов переходных процессов (апериодического и колебательного) и полученные переходные характеристики системы.

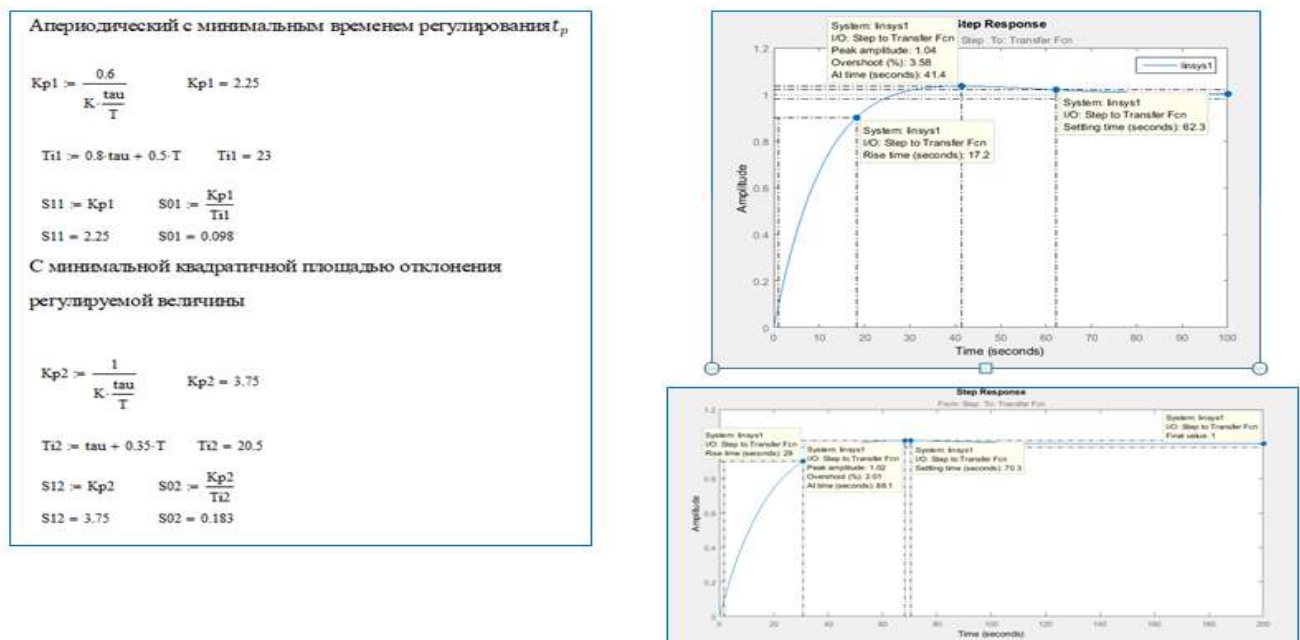


Рисунок 5. Расчет настроек ПИ-регулятора и переходные характеристики системы при методе Копеловича

Сравнительный анализ полученных характеристик переходного процесса количественным значениям показателей качества регулирования сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Показатели регулирования при аналитическом методе Колеловича

Регулятор	τ, c	$t_{рег}$	$X_{ст}$	$X_{дин}$	ψ
ПИ (Апериодич.)	0	70.3	0	0.02	не определяется
ПИ (Кол)	0	62.3	0	0.04	не определяется

Метод Циглера-Никольса (метод незатухающих колебаний) заключается в том, чтобы привести систему автоматического управления к колебательной границе устойчивости с использованием пропорционального регулятора. Затем, опираясь на найденные критические настройки и период колебаний, вычисляются параметры настройки ПИ-регулятора. Для вывода объекта на колебательную границу используется имитационное моделирование в среде Simulink.

На рисунке 6 представлена схема замкнутой системы в среде Simulink для вывода системы на колебательную границу устойчивости.

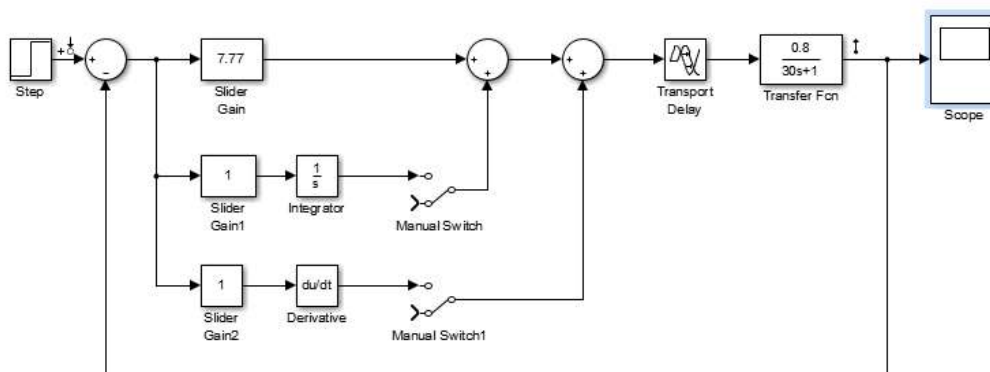


Рисунок 6. Схема замкнутой системы в среде Simulink

На рисунке 7 показаны расчеты настроек ПИ-регулятора и полученные переходные характеристики системы при методе Циглера-Никольса.

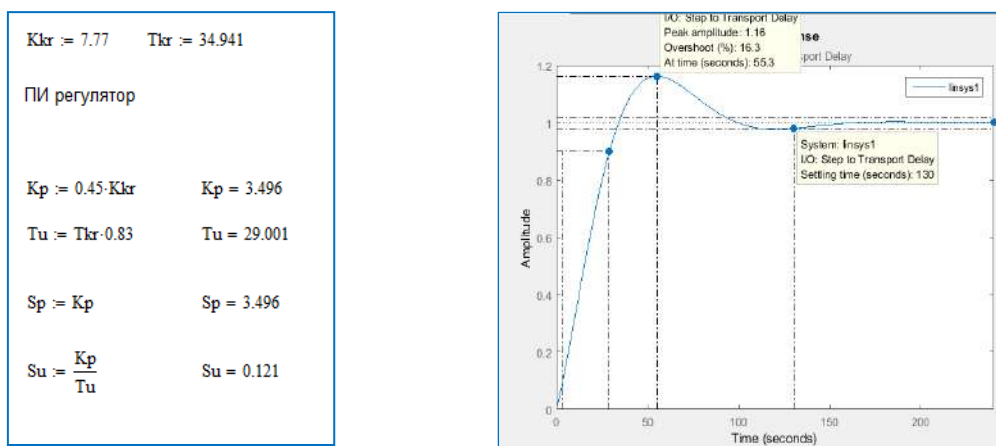


Рисунок 7. Расчет настроек ПИ-регулятора и переходные характеристики системы при методе Циглера-Никольса

Значения полученных показателей качества сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Показатели качества САУ с ПИ – регулятором по методу Циглера-Никольса

Канал управления					
Регулятор	τ, c	$t_{рег}$	$X_{ст}$	$X_{дин}$	ψ
ПИ	0	130	0	0.16	не определяется

Анализируя таблицу, можно сделать следующие выводы. Настройка, методом Циглера - Никольса в системе с ПИ-регулятором по рассмотренному результату исследования показала, что время регулирования и динамическая ошибка стали больше, перерегулирование увеличилось в четыре раза, а длительность процесса в два раза.

Автоматизированный метод с использованием пакета Simulink Design Optimization позволяет найти оптимальные параметры настройки для нелинейной модели системы в Simulink, которые обеспечат требуемый переходной процесс по заданным графически ограничениям в окне временной области. Ход оптимизации контролируется на экране с помощью отображения графика контролируемого процесса и текущих значений минимизируемой функции.

На рисунке 8 показана схема одноконтурной САР (Система автоматического регулирования), составленная из стандартных блоков. Одноконтурная САР в исследовании применяется для разработки и тестирования методов регулирования, что позволяет минимизировать колебания давления и повысить надежность работы тепловых электростанций.

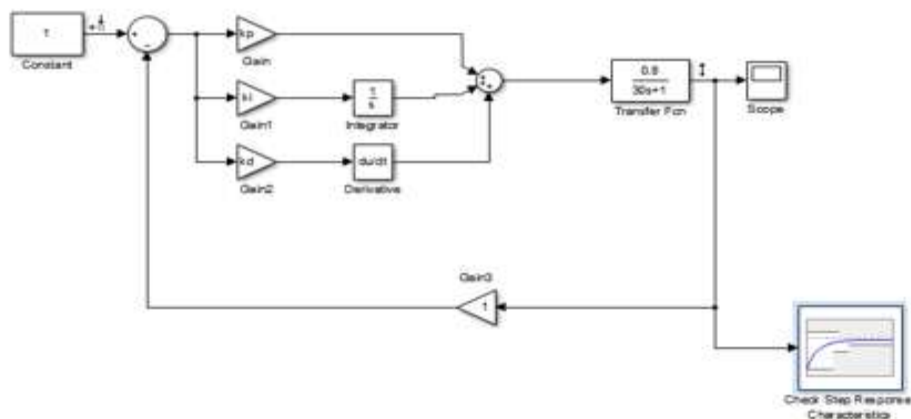


Рисунок 8. Блок-схема одноконтурной САР

Оптимизация переходных процессов и оптимальная переходная характеристика представлены на рисунке 9.

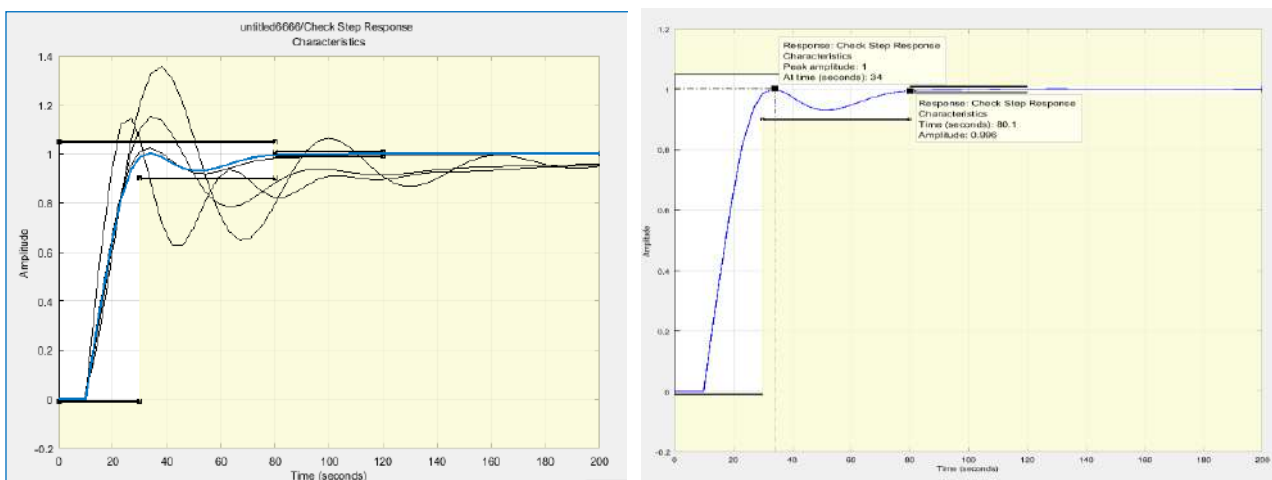


Рисунок 9. Оптимизация переходных процессов и оптимальная переходная характеристика с использованием пакета Simulink Design Optimization

Значения полученных показателей качества сведены в таблицу 3.

Таблица 3. Показатели качества САУ с ПИ – регулятором

Канал управления					
Регулятор	τ, c	$t_{рег}$	$X_{ст}$	$X_{дин}$	ψ
ПИ	10	80	0	0	не определяется

На основе проведенных исследований в результате введения в систему ПИ регулятора и расчета оптимальных значений параметров по различным методикам (приближенная аналитическая, экспериментальная и с помощью автоматизированного расчёта в специализированном программном приложении System Identification Toolbox пакета MATLAB) были получены следующие показатели качества системы:

- время переходного процесса (Setting time) уменьшилось с 130 до 70,3 с;
- установившееся значение выходной величины (Final value) -1;
- перерегулирование (Overshoot) уменьшилось с 16,3 до 0 %.

Результаты исследования

В результате проведенного исследования мы выполнили все поставленные задачи, а именно: провели моделирование процессов настройки ПИ-регулятора с использованием инженерных методов: формульного подхода Копеловича, и экспериментального метода незатухающих колебаний через имитационное моделирование системы автоматического управления в среде MATLAB, а так же с привлечением инструментального пакета Simulink Design Optimization из библиотеки Simulink. Выполнили анализ переходных процессов в замкнутой системе и оценили показатели качества.

Полученные показатели качества регулирования с ПИ-регулятором, настроенного инженерными методами представлены в сводной таблице 4.

Таблица 4. Сводная таблица показателей регулирования

Метод	Вид переходного процесса	Параметры настройки регуляторов			Показатели качества регулирования			
		P	I	D	$t_{рег}$	$X_{ст}$	$X_{дин}$	ψ
Аналитический	Апериодический	2,25	0,098	-	70.3	0	0.02	не определяется
	$\min \int_0^{\infty} e_p^2 dt$	3,75	0,183	-	62.3	0	0.04	
Циглера-Никольса		3,496	0,121	-	130	0	0.16	
Автоматизированный расчет инструментальным пакетом Simulink		2,01184	0,0641	-	80	0	0	

Разные методы настройки регулятора привели к похожим результатам, что подтверждает их надежность и применимость для регулирования давления пара в котлоагрегате. Особенно хорошо совпали результаты аналитического метода и автоматизированного моделирования, что говорит о высокой точности этих подходов. С учетом полученных численных значений критериев качества можно сделать вывод о том, что выбранные настроечные коэффициенты и структура ПИ регулятора гарантируют необходимые свойства системы регулирования давления и соответствуют всем требованиям, предъявляемым к промышленным регуляторам:

- система обеспечивает заданное качество процессов управления вблизи рабочей точки (время переходного процесса, перерегулирование и колебательность),

- обеспечена заданная точность регулирования в установившемся режиме,
- в процессе настройки параметров регулятора получена нулевая статическая ошибка регулирования.

Анализируя все изложенное, можно сделать вывод, что при работе замкнутых САУ с ПИ регулятором показатели качества переходных процессов в системе улучшаются по каналу управления. Из рассмотренных характеристик контура автоматического регулирования давления, видно, что система имеет оптимальную структуру регулятора, которая позволяет формировать определенный заданный вид динамических процессов.

Проведя настройку и оценив качественные характеристики рассматриваемого регулятора, можно сделать вывод о влиянии этого регулятора на эффективность системы автоматического регулирования давления в барабане.

Дискуссия

Результаты проведенного исследования продемонстрировали значительное улучшение точности и стабильности регулирования давления пара в котлоагрегате благодаря внедрению разработанной математической модели и оптимизированных параметров регулятора. Достигнутая минимизация отклонений давления подтверждает гипотезу о том, что оптимизация настроек регулятора с использованием численных методов приводит к более эффективной работе котлоагрегата. Эти результаты имеют значение для энергетической отрасли, так как они способствуют снижению энергозатрат и увеличению срока службы оборудования.

Тематика регулирования давления пара в котлоагрегатах и разработка методов оптимизации этих процессов является актуальной. Интерес к этой тематике обусловлен стремлением повысить эффективность работы котлоагрегатов, снизить энергетические и эксплуатационные затраты и улучшить устойчивость работы систем. Анализ существующих публикаций позволил нам выделить основные направления в проводимых исследованиях:

1. Адаптивные и интеллектуальные системы управления: Исследования направлены на разработку и внедрение алгоритмов адаптивного управления, которые позволяют регулировать параметры системы в реальном времени на основе данных, поступающих с датчиков (Апсеметов, А. Т. Разработка адаптивной системы регулирования давления пара на выходе парового котла) [8].

2. Моделирование и оптимизация процессов с использованием специализированного ПО: Множество исследований посвящены моделированию процессов котлоагрегатов в программных средах, таких как MATLAB/Simulink, CoDeSys и других. Это позволяет исследовать динамические процессы, разрабатывать и тестировать регуляторы до их внедрения в реальные системы (Чжан Шухэ Моделирование системы регулирования парокотельной установки в среде MATLAB) [9].

3. Инженерные и экспериментальные методы настройки регуляторов: Разработаны и широко используются различные инженерные методики для настройки регуляторов (методы Циглера-Никольса, аналитический метод Копеловича и т.д.). Эти методы продолжают улучшаться и адаптироваться для применения в современных энергетических системах (Воробьев, В.Ю., Саблина, Г.В. Расчет и оптимизация параметров дискретного ПИД-регулятора методом Циглера-Николса) [10].

В отличие от других исследований, приведенных по данной тематике, наша работа не ограничивается использованием только одного метода настройки ПИ-регулятора, как это делается в других исследованиях (например, только метод Циглера-Никольса). Вместо этого, исследование применяет и сравнивает несколько методов, включая аналитический метод Копеловича и инструментальный пакет Simulink Design Optimization. Это позволяет детально оценить каждый метод и подобрать наиболее эффективные параметры регулятора. Сравнение с работами других исследователей показало, что наша методология и результаты согласуются

с современными тенденциями в области автоматизации и оптимизации процессов управления. В частности, многие исследователи также подчеркивают необходимость адаптации и модернизации систем регулирования для повышения их эффективности. Однако наша работа добавляет новый аспект, связанный с применением конкретных моделей динамических процессов в котлоагрегате, что может служить основой для дальнейших разработок и исследований.

Перспективы для будущих исследований включают дальнейшую адаптацию модели для различных типов котлоагрегатов, а также изучение влияния других факторов, таких как качество топлива и эксплуатационные условия, на работу систем регулирования. Это позволит создать более универсальные и надежные системы управления, что особенно актуально в условиях повышения требований к экологии и эффективности энергопроизводства.

Заключение (выводы)

В результате проведенного исследования были достигнуты значительные успехи в области моделирования и оптимизации процессов регулирования давления пара в котлоагрегате. Разработанная математическая модель позволила не только улучшить точность регулирования, но и повысить стабильность работы системы в условиях изменяющихся параметров.

Основные выводы исследования заключаются в следующем:

1. Оптимизация параметров регулятора давления пара с использованием численных методов значительно снижает отклонения от заданных значений, что положительно сказывается на эффективности работы котлоагрегата.

2. Моделирование динамических процессов в котлоагрегате позволяет более точно учитывать влияние различных факторов, что способствует улучшению системы управления.

3. Внедрение разработанных подходов может привести к снижению энергозатрат и повышению надежности оборудования, что имеет большое значение для повышения конкурентоспособности и устойчивости энергетической отрасли.

Данное исследование подчеркивает важность интеграции современных методов моделирования и оптимизации в практику управления котлоагрегатами. В будущем планируется расширение работы, включая изучение новых технологий и методов, направленных на дальнейшее улучшение процессов регулирования в энергетике.

Полученные результаты проведенных исследований по настройке регуляторов и определению оптимальных значений параметров по различным методикам позволяют обеспечить стабильную работу системы, снизить переходные процессы и достичь необходимого уровня давления пара. Результаты проведенных исследований рекомендуется внедрить в учебный процесс в рамках изучения таких дисциплин, как: «Линейные системы автоматического регулирования», «Автоматизация и управление объектов тепловых электрических станций», «Проектирование автоматизированных систем управления», «Автоматизированные информационно-управляющие системы».

Список использованных источников

[1] Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Артёменко К.И. Параметрическая оптимизация системы автоматического управления мощностью энергоблоков 300 МВт в режиме переменного давления пара перед турбиной. // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2018. № 61(6). С.539-551. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-6-539-551>

[2] Christian Dufour, Jean Mahseredjian, Jean Bélanger. A Combined State-Space Nodal Method for the Simulation of Power System Transients. // IEEE Transactions on Power Delivery. 2011. №26(2). С. 928 – 935 DOI:10.1109/TPWRD.2010.2090364

[3] Ковалев Д.А., Шаряков В.А., Шарякова О.Л., Труханова И.А. Теория автоматического управления: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию // ВШТЭ СПбГУИТД. – СПб., 2020. – 65 с.

[4] Abdygali Jandigulov, Korgaubek Rauan, Svetlana Bystrova. Simplified topological algorithm for forming a steady mode of electric power system. // E3S Web of Conferences 461, 01025 (2023), RSES 2023.

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346101025>

[5] Демин И.О., Саблина Г.В. Исследование методов настройки параметров ПИД-регулятора. // Автоматика и программная инженерия, 2020, №1 (31), с.174-176.

[6] Bokizhanova Alina, Bokizhanov Gasis, Taranov Alexandr, Dvuzhilova Svetlana, Almussin Gali. Using the State Space Method for Calculating Electromechanical Transients. // Труды университета.2024. №1 (94). С.530-534. https://doi.org/10.52209/1609-1825_2024_1_530

[7] Воронцов Е. Ю., Лисиенко В.Г., Пономарев Н. Н. Исследование методов настройки ПИД-регулятора на примере моделирования объекта второго порядка с запаздыванием // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве: сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных с международным участием, 2013, с. 37-41.

[8] Ансметов А. Т. Разработка адаптивной системы регулирования давления пара на выходе парового котла // Технические науки в России и за рубежом: материалы II Междунар. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2012 г.). Москва: Буки-Веди, 2012. С. 41-43. URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/55/2660/>

[9] Чжан Шухэ. Моделирование системы регулирования парокотельной установки в среде MATLAB // Магистерская диссертация. Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2021

[10] Воробьев В.Ю., Саблина Г.В. Расчет и оптимизация параметров дискретного ПИД-регулятора методом Циглера-Николса. // Автоматика и программная инженерия, 2019, №1 (27), с.9-13.

References

[1] Kulakov G.T., Kulakov A.T., Artsiomenka K.I. (2018) Parametrizatsionnaya optimizatsiya tsistemy avtomaticheskogo upravleniya moshnoct'ju jenergeblokov 300 MWt v rezhime peremennogo dawlenija para perez turbinu [Parametric Optimization for Automatic Control System of Power Units of 300 MW for the Mode of Variable Pressure of Turbine Inlet Steam]. ENERGETIKA. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations. №61(6):539-551. (In Russian) <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-6-539-551>

[2] Christian Dufour, Jean Mahseredjian, Jean Bélanger. A Combined State-Space Nodal Method for the Simulation of Power System Transients. // IEEE Transactions on Power Delivery. 2011. №26(2), 928 – 935 DOI:10.1109/TPWRD.2010.2090364

[3] Kowalew D.A., Scharjakow W.A., Scharjakowa O.L., Truchanowa I.A. (2020) Teorija awtomaticheskogo upravlenija: utschebno-metoditschekoe pocobie po kurcowomu proektirowaniju [The theory of automatic control: an educational and methodological guide to course design] // WSchTJe CPbGUPTD. – CPb., 65. (In Russian)

[4] Abdygali Jandigulov, Korgaubek Rauan, Svetlana Bystrova. Simplified topological algorithm for forming a steady mode of electric power system. // E3S Web of Conferences 461, 01025 (2023), RSES 2023.

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346101025>

[5] Demin I.O., Cablina G.W. (2020) Issledowanie metodow nastrojki parametrow PID-reguljatora [Investigation of methods for setting the parameters of the PID controller]. Awtomatika i programnaja inzhenerija, №1 (31), 174-176. (In Russian)


[6] Bokizhanova Alina, Bokizhanov Gasis, Taranov Alexandr, Dvuzhilova Svetlana, Almussin Gali. Using the State Space Method for Calculating Electromechanical Transients. // Trudy uniwersiteta.2024. №1 (94), 530-534. https://doi.org/10.52209/1609-1825_2024_1_530

[7] Woronzow E. Ju., Licienko W.G., Ponomarew N. N. (2013) Issledowanie metodow nastrojki PID-reguljatora na primere modelirowanija ob#ekta wtorgo porjadka s sapasdywanjem [Investigation of PID controller tuning methods using the example of modeling a second-order object with a delay]. Teplotehnika i inwomatika w obrasowanii, nauke i proiswodctwe: cbornik dokladow II Wceroccijckoj nautschno-praktitschekoj konwercenzii ctudentow, acpirantow i molodych utschjonych c mezhdunarodnym utschactiem, 37-41. (In Russian)

[8] Apcemetow A. T. (2012) Rasrabortka adaptiwnoj cistemy regulirowanija dawlenija para na wychode parowogo kotla [Development of an adaptive steam pressure control system at the steam boiler outlet]. Technitschekie nauki w Roccii i sa rubezhom: materialy II Mezhdunar. nautsch. konv. (g. Mockwa, nojabr' 2012 g.). — Mockwa: Buki-Wedi, 41-43. — URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/55/2660/> (In Russian)

[9] Tschzhan Schuchje (2021) Modelirowanie cistemy regulirowanija parokotel'noj uctanowki w crede MATLAB [Simulation of the steam boiler control system in the MATLAB environment]. Magicterckaja diccertazija. Nazional'nyj iccledowatel'ckij Tomckij politehnitschekij uniwerscite (In Russian)

[10] Worob'ew W.Ju., Cablina G.W. (2019) Ractschet i optimizatsija parametrow dickretnogo PID-reguljatora metodom Ziglera-Nikolca [Calculation and optimization of parameters of a discrete PID controller by the Ziegler-Nichols method]. Awtomatika i programnaja inzhenerija, , №1 (27), 9-13. (In Russian)

A.A. Jumabayeva¹ , A.E. Zhetpisbayeva^{1*} 

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

*e-mail: akniet-1978@mail.ru

INEQUALITY OF THE BEST ANGULAR APPROXIMATION

Abstract

The aim of the study is to analyze the best angular approximations of functions of many variables and to estimate these approximations from above. This allows one to better understand the applicability limits of these methods and optimize their use in problems of mathematical modeling and data analysis. In this paper, the properties of functions of several variables were studied and approaches to their approximation using angular approximations were proposed. Generalized Liouville–Weyl derivatives, which are used instead of classical mixed Weyl derivatives, are considered. The concept of general monotone sequences plays an important role in the study. The methodology includes the use of functional analysis, approximation theory, and analysis of parameters affecting the accuracy of approximation. The main results of the work are to obtain upper bounds for angular approximations for generalized Liouville–Weyl derivatives depending on the characteristics of the approximated functions. The results obtained are of interest to theorists working in the field of multivariate data analysis and mathematical modeling. The topic discussed in the article is closely related to the articles by A.A. Konyushkov, S.B. Stechkin, M.F. Timan, M.K. Potapova, B. Simonov, S. Tikhonov.

Keywords: Lebesgue space, best approximation with multidimensional angle, trigonometric polynomial, generalized Liouville-Weil derivative, general monotone sequences.

А.А. Джумабаева¹, А.Е. Жетписбаева¹

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан

ЕҢ ЖАҚЫН БҰРЫШТЫҚ ЖУЫҚТАУДЫҢ ТЕҢСІЗДІГІ

Аңдатпа

Зерттеудің мақсаты – көпт айнымалы функциялардың ең жақсы бұрыштық жуықтауларын талдау және осы жуықтаулардың жоғарыдан бағалау. Бұл осы әдістердің қолданылу шегін жақсырақ түсінуге және оларды математикалық модельдеу және деректерді талдау мәселелерінде пайдалануды оңтайландыруға мүмкіндік береді. Жұмыстың бір бөлігі ретінде көп айнымалы функцияларының қасиеттері зерттелді және бұрыштық жуықтауларды қолдану арқылы оларды жуықтау тәсілдері ұсынылды. Классикалық дербес Weyl туындыларының орнына қолданылатын жалпыланған Лиувиль-Вейль туындылары қарастырылады. Зерттеуде жалпы монотонды тізбектер туралы түсінік маңызды рөл атқарады. Әдістеме функционалдық талдауды қолдануды, жуықтау теориясын және жуықтау дәлдігіне әсер ететін параметрлерді талдауды қамтиды. Жұмыстың негізгі нәтижелері жуықталатын функциялардың сипаттамаларына байланысты жалпыланған Лиувиль-Вейль туындылары үшін бұрыштық жуықтаулардың жоғарғы шекараларын алудан тұрады. Алынған нәтижелер көпөлшемді деректерді талдау және математикалық модельдеу саласында жұмыс істейтін теоретиктерді қызықтырады. Мақалада қарастырылған тақырып А.А. Конюшков, С.Б. Стечкин, М.Ф. Тиман, М.К. Потапов, Б.Симонов, С.Тихонов мақалаларымен тығыз байланысты.

Түйін сөздер: Лебег кеңістігі, көп өлшемді бұрышпен ең жақын жуықтау, тригонометриялық көпмүшелік, жалпыланған Лиувиль-Вейль туындысы, жалпы монотонды тізбек.

А.А. Джумабаева¹, А.Е. Жетписбаева¹

¹Евразийский Национальный Университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

НЕРАВЕНСТВО НАИЛУЧШЕГО УГЛОВОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ

Аннотация

Целью исследования является анализ наилучших угловых приближений функций многих переменных и оценить эти приближения сверху. Это позволяет лучше понять границы применимости

данных методов и оптимизировать их использование в задачах математического моделирования и анализа данных. В рамках работы были изучены свойства функций многих переменных и предложены подходы к их аппроксимации с использованием угловых приближений. Рассматриваются обобщенные производные Лиувилля–Вейля, которые используются вместо классических смешанных производных Вейля. Важную роль в исследовании играет понятие общих монотонных последовательностей. Методология включает применение функционального анализа, теории приближений и анализа параметров, влияющих на точность аппроксимации. Основные результаты работы заключаются в получении верхних оценок для угловых приближений для обобщенных производных Лиувилля–Вейля в зависимости от характеристик аппроксимируемых функций. Полученные результаты представляют интерес для теоретиков, работающих в области анализа многомерных данных и математического моделирования. Тема, обсуждаемая в статье, тесно связана со статьями А.А. Конюшкова, С.Б. Стечкина, М.Ф. Тимана, М.К. Потаповой, Б. Симонова, С. Тихонова.

Ключевые слова: пространство Лебега, наилучшее приближение с многомерным углом, тригонометрический полином, обобщенная производная Лиувилля–Вейля, общие монотонные последовательности.

Basic provisions

Theories of approximation by "angle" of functions of many variables. This approximation method gave an answer to the topical question about the constructive characteristics of classes of functions that have a given mixed smoothness. The method was greatly developed and applied in the works of other mathematicians. Estimating the best approximation by an angle in a multidimensional case is related to the theory of approximation of functions and the geometry of vector spaces. The problem of best approximation by angle is related to principal component analysis, machine learning methods and optimization problems in convex sets.

Introduction

Modern approximation theory of functions of many variables plays an important role in mathematics and its applications, including data processing, modeling of physical processes and machine learning. The study of optimal approximations of functions is an important task, since it allows not only to reduce computing resources, but also to increase the accuracy of solving problems in various fields of science and technology.

In the context of a growing number of multidimensional problems requiring computational approaches, the study of angular approximations of functions is especially relevant. Such approximations provide an effective representation of complex objects with minimal deviations, which is important for analysis, forecasting and optimization. However, many issues related to the accuracy and limits of angular approximations remain insufficiently studied.

In this paper, an analysis of the best angular approximations of functions of many variables is carried out using modern methods of functional analysis. Upper estimates of the best angular approximations for the generalized Liouville-Weyl derivatives are obtained. The main goal of the study is to develop a theoretical basis for estimating angular approximations of functions of many variables and to identify factors affecting the effectiveness of these methods. The following hypotheses were tested in the study: The best angular approximations for a class of functions of many variables can be presented with upper bounds that depend on the parameters of the function. This study lays a theoretical basis for further study of angular approximations and also offers practical recommendations for their application in real problems.

Let $f \in L_p([0, 2\pi]^n)$ be the set of measurable functions of n variables $f(x_1, \dots, x_n)$, 2π -periodic in each variable, for which

$$\|f\|_p = \left(\int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} |f(x_1, \dots, x_n)|^p dx_1 \dots dx_n \right)^{\frac{1}{p}} < \infty, \quad 1 \leq p < \infty.$$

Let L_p^0 be the space of functions $f \in L_p([0, 2\pi]^n)$ such that $\int_0^{2\pi} f(x_1, \dots, x_n) dx_i = 0$ for almost all $x_1, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n$ and for all $i = 1, 2, \dots, n$.

Let $Y_{l_{i_1} \dots l_{i_m}}(f)_p$ be the best approximation of the m -dimensional angle of the function f in variables x_{i_1}, \dots, x_{i_m} [1],

$$Y_{l_{i_1} \dots l_{i_m}}(f)_p = \inf_{T_{l_{i_j}}} \|f - \sum_{j=1}^m T_{l_{i_j}}\|_p, \quad l_{i_j} = 0, 1, 2, \dots,$$

where $T_{l_{i_j}}$ is a trigonometric polynomial of order at most l_{i_j} ($l_{i_j} \in \mathbb{N} \cup \{0\}$) with respect to x_{i_j} and such that $T_{l_{i_j}} \in L_p([0, 2\pi]^n)$, $1 \leq i_j \leq n$, $1 \leq j \leq m \leq n$.

The work is devoted to obtaining new upper bounds on the norm and best angular approximations of functions of several variables with a generalized Liouville–Weil derivative through the best angular approximations of the original functions.

In the one-dimensional case, inequalities for norms and best approximations were studied by many authors, such as Konyushkov [2], Stechkin [3], Timan [4]. In [5], [6], and [7], the authors obtained inequalities for the norms and best approximations for the generalized Liouville-Weil derivatives. In [8], the authors proved the inequality for the best approximation by a twodimensional angle. Our main goal is to obtain an inequality for the best approximation by an n dimensional angle.

Let $\sigma(f)$ be the Fourier series of the functions $f \in L_p([0, 2\pi]^n)$ i.e.

$$\sigma(f) := \sum_{v_1=-\infty}^{\infty} \dots \sum_{v_n=-\infty}^{\infty} c_{v_1 \dots v_n} e^{i \sum_{j=1}^n v_j x_j}, \tag{1}$$

where

$$c_{v_1 \dots v_n} = \frac{1}{(2\pi)^n} \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} f(t_1 \dots t_n) e^{-i \sum_{j=1}^n t_j v_j} dt_1 \dots dt_n.$$

The transformed Fourier series of $\sigma(f)$ is given by

$$\sigma(f, \lambda, \beta_1 \dots \beta_n) \equiv \sum_{v_1=-\infty}^{\infty} \dots \sum_{v_n=-\infty}^{\infty} \lambda_{v_1 \dots v_n} c_{v_1 \dots v_n} e^{i(\sum_{j=1}^n v_j x_j + \beta_j \frac{\pi}{2})} |v_1|^{\beta_1} \dots |v_n|^{\beta_n}, \tag{2}$$

where $\beta_1, \dots, \beta_j \in \mathbb{R}^n$, $\lambda = \{\lambda_{v_1 \dots v_n}\}_{v_1 \dots v_n \in \mathbb{N}}$ is a sequence of positive numbers.

Let $f^{(\alpha)}(x_1 \dots x_n)$ be the Weyl derivative of the function $f(x)$ of order $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$, ($\alpha_1 \geq 0, \dots, \alpha_n \geq 0$).

Let $f(x) \in L_p$ and

$$f^\alpha(x) \sim \sum c_k (ik)^\alpha e^{ikx},$$

where $(ik)^\alpha = (ik_1)^{\alpha_1} \dots (ik_n)^{\alpha_n}$. If $\alpha_j = 0$ for some j , then this means that x_j differentiation is not performed and the corresponding factor in this product is equal to $(ik_j)^0 = 1$. When $k_j \neq 0$ this automatically takes place. If $k_j = 0$, then in this case it is assumed to be equal to $0^0 = 1$. With non-integer numbers α the expression $(it)^\alpha$, where t is a real value, is understood as follows: $(it)^\alpha = |t|^\alpha \exp\{\frac{i\pi\alpha}{2} \text{sign } t\}$. Thus the transformed Fourier series (2) is a generalization of the Weyl fractional derivative.

Let's determine the difference

$$\Delta_i \lambda_{k_1, \dots, k_i, \dots, k_n} = \lambda_{k_1, \dots, k_{i+1}, \dots, k_n} - \lambda_{k_1, \dots, k_i, \dots, k_n}.$$

Let us define a generalized monotonic sequence in the n -dimensional case.

Definition 1. [9,10] A sequence $\lambda := \{\lambda_n\}_{n=1}^{\infty}$ is said to be general monotone, written $\lambda \in GM^n$, if the relations

$$\begin{aligned} \sum_{m_1=k_1}^{2k_1} |\Delta_1 \lambda_{m_1, k_1, k_2, \dots, k_n}| \leq C |\lambda_{m_1, k_1, k_2, \dots, k_n}|, \dots, \sum_{m_1=k_n}^{2k_n} |\Delta_1 \lambda_{m_1, k_1, k_2, \dots, m_n}| \leq C |\lambda_{m_1, k_1, k_2, \dots, k_n}|, \\ \sum_{m_{n-1}=k_1}^{2k_{n-1}} \sum_{m_1=k_n}^{2k_n} |\Delta_{n-1}(\Delta_n \lambda_{k_1, \dots, m_{n-1}, m_n})| \leq C |\lambda_{k_1, k_2, \dots, k_n}|, \dots \\ \sum_{m_1=k_1}^{2k_1} \dots \sum_{m_n=k_n}^{2k_n} |\Delta_1(\Delta_2 \dots (\Delta_n \lambda_{m_1, \dots, m_n}))| \leq C |\lambda_{k_1, k_2, \dots, k_n}| \end{aligned}$$

hold for all integer k_1, k_2, \dots, k_n where the constant C is independent of k_1, k_2, \dots, k_n .

For non-negative functionals $F(f, \delta)$ and $G(f, \delta)$ we write that $F(f, \delta) \lesssim G(f, \delta)$, if there exists a positive constant C , independent of f and δ such that $F(f, \delta) \leq CG(f, \delta)$. If $F(f, \delta) \lesssim G(f, \delta)$ and $G(f, \delta) \lesssim F(f, \delta)$, then we will write that $F(f, \delta) \asymp G(f, \delta)$.

Research methodology

The research was conducted at the Faculty of Mechanics and Mathematics of the Eurasian National University, specializing in mathematical research and approximation theory. The results of previous studies were used in the course of the work, including the works of Potopov, as well as modern approaches to estimating the best approximations of multidimensional functions. Particular attention was paid to generalized derivatives in the sense of Liouville-Weyl and generalized monotone sequences. The research methods included the use of various inequalities from the theory of functional analysis, which are written as a lemma from below. These methods made it possible to establish upper bounds for the angular best approximations of functions of several variables.

In this section, we give some notations and lemmas which will be used in the proof of our main results. Let $\bar{l} = (l_1, \dots, l_n)$ be an element of n -dimensional space with positive coordinates and a non-empty set $e \in e_n$. Let

$$G_{\bar{l}}(e) = \{\bar{k} = (k_1, \dots, k_n) \in Z^n: |k_j| \leq l_j, j \in e, |k_j| > l_j, j \notin e\}.$$

Let us consider the partial sums of the Fourier series of the function $f \in L_p(\mathbb{T}^d)$ in various variables $S_l(f, \bar{x}) = S_{l_1, \dots, l_n}(f, \bar{x}) = \sum_{|v_1| \leq l_1} \dots \sum_{|v_n| \leq l_n} c_{\bar{v}}(f) e^{i\langle \bar{v}, \bar{x} \rangle}$ is the partial sum over all variables, $S_{l_1, \infty}(f, \bar{x}) = \sum_{|v_1| \leq l_1} \sum_{v_2=-\infty}^{+\infty} \dots \sum_{v_n=-\infty}^{+\infty} c_{\bar{v}}(f) e^{i\langle \bar{v}, \bar{x} \rangle}$ is the partial sum over the variable x_1 . In a more general case

$$S_{l^e, \infty}(f, \bar{x}) = \sum_{\substack{v \in \Pi \\ j \in e: [-l_j, l_j] \times R^{n-|e|}}} c_{\bar{v}}(f) e^{i\langle \bar{v}, \bar{x} \rangle}$$

is the partial sum over variables x_j for $j \in e$. For a given subset $e \in e_n$ we set

$$U_{\bar{i}}(f, \bar{x}) = \sum_{e \in e_n, e \neq \emptyset} \sum_{\bar{k} \in G_{\bar{i}}(e)} c_{\bar{v}}(f) e^{i \langle \bar{v}, \bar{x} \rangle}.$$

In particular, for $n = 2$ [1] we have $U_{(l_1, l_2)}(f, \bar{x}) = S_{l_1, \infty}(f, \bar{x}) + S_{\infty, l_2}(f, \bar{x}) - S_{l_1, l_2}(f, \bar{x})$. For $\mu \in Z^n$, we set $\rho(\mu) = \{v \in Z^n: [2^{\mu_j-1}] \leq |v_j| < 2^{\mu_j}\}$, where $[a]$ denotes an integer a and

$$D_{\mu}(f) := \sum_{v \in \rho(\mu)} c_{\bar{v}}(f) e^{i \langle \bar{v}, \bar{x} \rangle}.$$

Lemma 1. [11-13] A sequences $\{\lambda_m\} \in GM$ if and only if there exists $C > 0$, such that

(i) $|\lambda_m| \leq C |\lambda_k|$ for $k \leq m \leq 2k$,

(ii) $\sum_{m=k}^N |\Delta \lambda_m| \leq C (|\lambda_k| + \sum_{m=k+1}^N \frac{|\lambda_m|}{m})$ for any $k < N$.

From [11,12] it follows that if $\{\lambda_{m_1, \dots, m_n}\} \in GM^n$, then $|\lambda_{m_1, \dots, m_n}| \leq C |\lambda_{k_1, \dots, k_n}|$ for $k_i \leq m_i \leq 2k_i, i = 1, \dots, n$.

Lemma 2. [14] Let $a_n \geq 0, 0 < \alpha \leq \beta < \infty$. Then

$$\left(\sum_{v=1}^{\infty} a_v^{\beta}\right)^{\frac{1}{\beta}} \leq \left(\sum_{v=1}^{\infty} a_v^{\alpha}\right)^{\frac{1}{\alpha}}.$$

Lemma 3. (Minkowski inequality, [14]) Let $1 \leq p < \infty$ and $a_{vk} \geq 0$. Then

(a) $\left(\sum_{k=1}^{\infty} \left(\sum_{v=1}^k a_{vk}\right)^p\right)^{\frac{1}{p}} \leq \sum_{v=1}^{\infty} \left(\sum_{k=v}^{\infty} a_{vk}^p\right)^{\frac{1}{p}}$,

(b) $\left(\sum_{k=1}^{\infty} \left(\sum_{v=k}^{\infty} a_{vk}\right)^p\right)^{\frac{1}{p}} \leq \sum_{v=1}^{\infty} \left(\sum_{k=1}^v a_{vk}^p\right)^{\frac{1}{p}}$.

Lemma 4. [14] For a function $f(u, y)$ defined on a measurable set $E = E_1 \times E_2 \subset \mathbb{R}_n$, where $x = (u, y), u = (x_1, \dots, x_m), y = (x_{m+1}, \dots, x_n)$, the following inequality holds

$$\left(\int_{E_1} \left|\int_{E_2} f(u, y) dy\right|^p du\right)^{\frac{1}{p}} \leq \int_{E_2} \left(\int_{E_1} |f(u, y)|^p du\right)^{\frac{1}{p}} dy.$$

Lemma 5. [15] Let $f \in L_p(\mathbb{T}^n), 1 < p < \infty, m_i \in \mathbb{N} \cup 0 (i = 1, 2)$. Then

$$Y_{2^{k_1-1}, \dots, 2^{k_m-1}}(f)_p \leq \|f - U_{2^{k_1-1}, \dots, 2^{k_m-1}}\|_p \leq \sum_{v_m=k_m}^{\infty} \dots \sum_{v_1=k_1}^{\infty} \left\| \sum_{s_m=2^{v_m+1}}^{2^{v_m+1}} \dots \sum_{s_1=2^{v_1+1}}^{2^{v_1+1}} D_s(f) \right\|_p.$$

Lemma 6. [14]

Let $1 < p < \infty$ and (1) the Fourier series for $f \in L_{p^0}(\mathbb{T}^n)$, then

$$C_1 \|f\|_p \leq \left\| \sum_{s \in Z_+^m} |D_s(x)|^2 \right\|_p^{\frac{1}{2}} \leq C_2 \|f\|_p,$$

generalizing the Littlewood-Paley inequalities to the multidimensional case, where $C_1, C_2 > 0$ are independent of f .

Results of the study

Let us formulate the main results.

Theorem 1. Let $1 < p < \infty$, $0 < \theta \leq \min(p, 2)$, $\lambda := \{\lambda_{k_1, k_2, \dots, k_n}\}_{k_1, k_2, \dots, k_n \in \mathbb{N}}$ be sequence of positive numbers satisfying $\lambda \in GM^n$, $\alpha_i \in \mathbb{R}_+$, $r_i \in \mathbb{R}_+ \cup \{0\}$ and $\beta_i \in \mathbb{R} (i = 1, 2)$. If for $f \in L_p^0(\mathbb{T}^n)$ and

$$\begin{aligned} & \sum_{k_1=1}^{\infty} (\Delta_1 \lambda_{k_1, 1, 1, \dots, 1}^\theta) Y_{k_1, 0, \dots, 0}^\theta(f)_p + \dots + \sum_{k_n=1}^{\infty} (\Delta_n \lambda_{1, 1, \dots, k_n}^\theta) Y_{0, 0, \dots, k_n}^\theta(f)_p \\ & + \sum_{k_1=1}^{\infty} \sum_{k_n=1}^{\infty} (\Delta_{n-1} (\Delta_n \lambda_{1, \dots, k_{n-1}, k_n}^\theta)) Y_{0, 0, \dots, k_{n-1}, k_n}^\theta(f)_p \\ & + \dots + \sum_{k_1=1}^{\infty} \dots \sum_{k_n=1}^{\infty} (\Delta_1 (\Delta_2 \dots (\Delta_n \lambda_{k_1, \dots, k_n}^\theta))) Y_{k_1, \dots, k_n}^\theta(f)_p < \infty, \end{aligned} \tag{3}$$

then there exists a function $\varphi \in L_p^0(\mathbb{T}^n)$ with the Fourier series $\sigma(f, \lambda, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ and

$$\begin{aligned} \|\varphi\|_p & \lesssim (\lambda_{1, 1, \dots, 1}^\theta \|f\|_p^\theta + \sum_{v_1=2}^{\infty} |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{v_1-1}, 1, \dots, 1}^\theta| Y_{2^{v_1-1}, 0, \dots, 0}^\theta(f)_p + \dots + \\ & + \sum_{v_n=1}^{\infty} |\Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{1, \dots, 2^{v_n-1}}^\theta| Y_{0, 0, \dots, 2^{v_n-1}}^\theta(f)_p + \sum_{v_2=1}^{\infty} \sum_{v_1=1}^{\infty} |\Delta^{\varepsilon_2} \Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{v_1-1}, 2^{v_2-1}, \dots, 1}^\theta| Y_{2^{v_1-1}, 2^{v_2-1}, \dots, 0}^\theta(f)_p + \\ & + \dots + \sum_{v_n=1}^{\infty} \dots \sum_{v_1=1}^{\infty} |\Delta^{\varepsilon_n} \dots \Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{v_1-1}, 2^{v_2-1}, \dots, 2^{v_n-1}}^\theta| Y_{2^{v_1-1}, 2^{v_2-1}, \dots, 2^{v_n-1}}^\theta(f)_p)^{\frac{1}{\theta}} \end{aligned}$$

And

$$\begin{aligned} Y_{2^{m_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_n-1}}(\varphi)_p & \lesssim (\lambda_{2^{m_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_n-1}}^\theta Y_{2^{m_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_n-1}}(f)_p + \\ & + \sum_{v_1=m_1}^{k_1} |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{v_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_n-1}}^\theta| Y_{2^{v_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_n-1}}^\theta(f)_p + \dots + \\ & + \sum_{v_1=1}^{k_1} \sum_{v_2=1}^{k_2} |\Delta^{\varepsilon_1} \Delta^{\varepsilon_2} \lambda_{2^{v_1-1}, 2^{v_2-1}, \dots, 2^{m_n-1}}^\theta| Y_{2^{v_1-1}, 2^{v_2-1}, \dots, 2^{m_n-1}}^\theta(f)_p \\ & + \dots + \sum_{v_1=1}^{k_1} \dots \sum_{v_n=1}^{k_n} |(\Delta^{\varepsilon_{n-1}} (\Delta^{\varepsilon_n} \dots (\Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{2^{v_1}, \dots, 2^{v_n}}^\theta)))| Y_{2^{v_1-1}, 2^{v_2-1}, \dots, 2^{v_n-1}}^\theta(f)_p)^{\frac{1}{\theta}}, \end{aligned}$$

where

$$\Delta^{\varepsilon_i} \lambda_{2^{k_1}, \dots, 2^{k_i}, \dots, 2^{k_n}} = \lambda_{2^{k_1}, \dots, 2^{k_{i+1}}, \dots, 2^{k_n}} - \lambda_{2^{k_1}, \dots, 2^{k_i}, \dots, 2^{k_n}}$$

Proof. Let series (3) be convergent, and $f \in L_p^0(\mathbb{T}^n)$. We use the following inequality

$$\begin{aligned} \lambda_{2^{k_1-1}, 2^{k_2-1}, \dots, 2^{k_n-1}}^\theta &\leq \lambda_{1,1,\dots,1}^\theta + \sum_{m_1=2}^{k_1} |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{m_1-2}, 1, \dots, 1}^\theta| + \dots + \\ &+ \dots + \sum_{m_n=2}^{k_n} |\Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{1,1,\dots, 2^{m_n-2}}^\theta| + \\ &+ \dots + \sum_{m_1=2}^{k_1} \dots \sum_{m_n=2}^{k_n} |\Delta^{\varepsilon_1} (\Delta^{\varepsilon_2} \dots (\Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{2^{m_1-1}, \dots, 2^{m_n-1}}^\theta))|. \end{aligned} \tag{4}$$

Using inequality (4), we get

$$\begin{aligned} I_1 &= \left\{ \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \left[\sum_{k_1=1}^\infty \dots \sum_{k_n=1}^\infty \lambda_{2^{k_1-1}, 2^{k_2-1}, \dots, 2^{k_n-1}}^2 D_{k_1, \dots, k_n}^2 \right]^{\frac{p}{2}} dx_1, \dots, dx_n \right\}^{\frac{1}{p}} = \\ &= \left\| \left[\sum_{k_1=1}^\infty \dots \sum_{k_n=1}^\infty \lambda_{2^{k_1-1}, \dots, 2^{k_n-1}}^2 D_{k_1, \dots, k_n}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\|_p = \\ &= \left\| \left[\lambda_{1,1,\dots,1}^2 D_{1,1,\dots,1}^2 + \sum_{k_1=2}^\infty \lambda_{2^{k_1-1}, 1, \dots, 1}^2 D_{k_1, 1, \dots, 1}^2 + \sum_{k_2=2}^\infty \lambda_{1, 2^{k_2-1}, 1, \dots, 1}^2 D_{1, k_2, \dots, 1}^2 + \dots \right. \right. \\ &+ \sum_{k_n=2}^\infty \lambda_{1, 1, \dots, 2^{k_n-1}}^2 D_{1, 1, \dots, 2^{k_n-1}}^2 + \sum_{k_1=2}^\infty \sum_{k_2=2}^\infty \lambda_{2^{k_1-1}, 2^{k_2-1}, \dots, 1}^2 D_{k_1, k_2, \dots, 1}^2 + \dots + \\ &+ \sum_{k_1=2}^\infty \sum_{k_n=2}^\infty \lambda_{2^{k_1-1}, 1, \dots, 2^{k_n-1}}^2 D_{k_1, 1, \dots, k_n}^2 + \sum_{k_1=2}^\infty \sum_{k_2=2}^\infty \sum_{k_3=2}^\infty \lambda_{2^{k_1-1}, 2^{k_2-1}, 2^{k_3-1}, 1, \dots, 1}^2 D_{k_1, k_2, k_3, \dots, 1}^2 + \\ &+ \dots + \left. \sum_{k_1=2}^\infty \dots \sum_{k_n=2}^\infty \lambda_{2^{k_1-1}, 2^{k_2-1}, \dots, 2^{k_n-1}}^2 D_{k_1, k_2, \dots, k_n}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\|_p \\ &\leq \left\| \left(\lambda_{1,1,\dots,1}^2 D_{1,1,\dots,1}^2 + \sum_{k_1=2}^\infty D_{k_1, 1, 1, \dots, 1}^2 \left[\lambda_{1,1,\dots,1}^\theta + \sum_{v_1=2}^{k_1} |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{v_1-2}, 1, \dots, 1}^\theta| \right]^{\frac{2}{\theta}} + \right. \right. \\ &+ \dots + \sum_{k_n=2}^\infty D_{1,1,\dots,k_n}^2 \left[\lambda_{1,1,\dots,1}^\theta + \sum_{v_n=2}^{k_n} |\Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{1,1,\dots, 2^{v_n-2}}^\theta| \right]^{\frac{2}{\theta}} + \\ &+ \sum_{k_1=2}^\infty \sum_{k_2=2}^\infty D_{k_1, k_2, \dots, 1}^2 \left[\lambda_{1,1,\dots,1}^\theta + \sum_{v_1=2}^{k_1} |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{v_1-2}, \dots, 1}^\theta| + \sum_{v_2=2}^{k_2} |\Delta^{\varepsilon_2} \lambda_{1, 2^{v_1-2}, 1, \dots, 1}^\theta| + \right. \\ &+ \left. \left. \sum_{v_1=2}^{k_1} \sum_{v_n=2}^{k_n} |\Delta^{\varepsilon_1} \Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{2^{v_1-2}, 1, \dots, 2^{v_n-2}}^\theta| \right]^{\frac{2}{\theta}} + \right. \\ &+ \sum_{k_1=2}^\infty \sum_{k_2=2}^\infty \dots \sum_{k_n=2}^\infty D_{k_1, k_2, \dots, k_n}^2 \left[\lambda_{1, \dots, 1, 1}^\theta + \sum_{v_1=2}^{k_1} |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{v_1-2}, 1, \dots, 1}^\theta| + \right. \\ &+ \sum_{v_2=2}^{k_2} |\Delta^{\varepsilon_2} \lambda_{1, 2^{v_2-2}, 1, \dots, 1}^\theta| + \dots + \sum_{v_n=2}^{k_n} |\Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{1, 1, \dots, 2^{v_2-2}}^\theta| + \left. \sum_{v_1=2}^{k_1} \sum_{v_2=2}^{k_2} |\Delta^{\varepsilon_1} \Delta^{\varepsilon_2} \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{v_2-2}, 1, \dots, 1}^\theta| + \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \dots + \sum_{v_{n-1}=2}^{k_{n-1}} \sum_{v_n=2}^{k_n} |\Delta^{\varepsilon_{n-1}} \Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{1, \dots, 2^{v_{n-1}-2}, 2^{v_n-2}}^\theta| + \\
 & + \dots + \sum_{v_1=2}^{k_1} \sum_{v_2=2}^{k_2} \dots \sum_{v_n=2}^{k_n} |\Delta^{\varepsilon_1} \Delta^{\varepsilon_2} \dots \Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{v_2-2}, \dots, 2^{v_n-2}}^\theta| \Big]_{\theta}^{\frac{2}{\theta}} \|p.
 \end{aligned}$$

Then we open the bracket and collect the expression of similar indices

$$\begin{aligned}
 I_1 \leq & \|(\lambda_{1,1,\dots,1}^2 D_{1,1,\dots,1}^2 + \lambda_{1,1,\dots,1}^2 \sum_{k_1=2}^{\infty} D_{k_1,1,\dots,1}^2 + \lambda_{1,1,\dots,1}^2 \sum_{k_2=2}^{\infty} D_{1,k_2,\dots,1}^2 + \dots \\
 & + \lambda_{1,1,\dots,1}^2 \sum_{k_n=2}^{\infty} D_{1,1,\dots,k_n}^2 + \lambda_{1,1,\dots,1}^2 \sum_{k_1=2}^{\infty} \sum_{k_2=2}^{\infty} D_{k_1,k_2,1,\dots,1}^2 + \dots + \lambda_{1,1,\dots,1}^2 \sum_{k_1=2}^{\infty} \sum_{k_n=2}^{\infty} D_{k_1,1,\dots,k_n}^2 + \dots \\
 & + \lambda_{1,1,\dots,1}^2 \sum_{k_1=2}^{\infty} \sum_{k_2=2}^{\infty} \sum_{k_3=2}^{\infty} D_{k_1,k_2,k_3,\dots,1}^2 + \dots + \lambda_{1,1,\dots,1}^2 \sum_{k_1=2}^{\infty} \sum_{k_2=2}^{\infty} \dots \sum_{k_n=2}^{\infty} D_{k_1,k_2,\dots,k_n}^2 + \\
 & \sum_{k_1=2}^{\infty} D_{k_1,1,\dots,1}^2 \left[\sum_{v_1=2}^{k_1} |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{v_1-2}, 1, \dots, 1}^\theta| \Big]_{\theta}^{\frac{2}{\theta}} + \sum_{k_2=2}^{\infty} D_{1,k_2,\dots,1}^2 \left[\sum_{v_2=2}^{k_2} |\Delta^{\varepsilon_2} \lambda_{1, 2^{v_2-2}, \dots, 1}^\theta| \Big]_{\theta}^{\frac{2}{\theta}} + \dots + \\
 & \sum_{k_n=2}^{\infty} D_{1,1,\dots,k_n}^2 \left[\sum_{v_n=2}^{k_n} |\Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{1,1,\dots,2^{v_n-2}}^\theta| \Big]_{\theta}^{\frac{2}{\theta}} + \sum_{k_1=2}^{\infty} \sum_{k_2=2}^{\infty} D_{k_1,k_2,\dots,1}^2 \left[\sum_{v_1=2}^{k_1} |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{v_1-2}, \dots, 1}^\theta| + \right. \\
 & \left. + \sum_{v_2=2}^{k_2} |\Delta^{\varepsilon_2} \lambda_{1, 2^{v_2-2}, 1, \dots, 1}^\theta| + \sum_{v_1=2}^{k_1} \sum_{v_2=2}^{k_2} |\Delta^{\varepsilon_1} \Delta^{\varepsilon_2} \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{v_2-2}, 1, \dots, 1}^\theta| \Big]_{\theta}^{\frac{2}{\theta}} + \dots \\
 & + \dots + \sum_{k_1=2}^{\infty} \sum_{k_2=2}^{\infty} \dots \sum_{k_n=2}^{\infty} D_{k_1,k_2,\dots,k_n}^2 \left[\sum_{v_1=2}^{k_1} |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{v_1-2}, 1, \dots, 1}^\theta| + \dots + \sum_{v_n=2}^{k_n} |\Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{1, \dots, 2^{v_n-2}}^\theta| + \right. \\
 & \left. + \dots + \sum_{v_1=2}^{k_1} \dots \sum_{v_n=2}^{k_n} |\Delta^{\varepsilon_1} \dots \Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{v_2-2}, \dots, 2^{v_n-2}}^\theta| \Big]_{\theta}^{\frac{2}{\theta}} \Big]_{\theta}^{\frac{2}{\theta}} \|p.
 \end{aligned}$$

Next, we collect using similar indexes for all λ

$$\begin{aligned}
 I_1 \lesssim & \lambda_{1,1,\dots,1} \left[\left\| \sum_{k_1=1}^{\infty} \sum_{k_2=1}^{\infty} \dots \sum_{k_n=1}^{\infty} D_{k_1,k_2,\dots,k_n}^2 \right\|_{\theta}^{\frac{1}{2}} \right]_{\theta}^{\frac{2}{\theta}} \|p + \\
 & + \left\| \left(\sum_{k_1=2}^{\infty} \sum_{k_2=1}^{\infty} \sum_{k_3=1}^{\infty} \dots \sum_{k_n=1}^{\infty} D_{k_1,k_2,\dots,k_n}^2 \left[\sum_{v_1=2}^{k_1} |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{v_1-2}, 1, \dots, 1}^\theta| \right]_{\theta}^{\frac{2}{\theta}} \right)^{\frac{1}{2}} \right\|_{\theta}^{\frac{2}{\theta}} \|p + \\
 & + \left\| \left(\sum_{k_1=2}^{\infty} \sum_{k_2=2}^{\infty} \sum_{k_3=1}^{\infty} \dots \sum_{k_n=1}^{\infty} D_{k_1,k_2,\dots,k_n}^2 \left[\sum_{v_1=2}^{k_1} \sum_{v_2=2}^{k_2} |\Delta^{\varepsilon_1} \Delta^{\varepsilon_2} \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{v_2-2}, \dots, 1}^\theta| \right]_{\theta}^{\frac{2}{\theta}} \right)^{\frac{1}{2}} \right\|_{\theta}^{\frac{2}{\theta}} \|p + \dots + \\
 & + \left\| \left(\sum_{k_1=2}^{\infty} \sum_{k_2=2}^{\infty} \dots \sum_{k_n=2}^{\infty} D_{k_1,k_2,\dots,k_n}^2 \left[\sum_{v_1=2}^{k_1} \sum_{v_2=2}^{k_2} \dots \sum_{v_n=2}^{k_n} |\Delta^{\varepsilon_1} \Delta^{\varepsilon_2} \dots \Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{v_2-2}, \dots, 2^{v_n-2}}^\theta| \right]_{\theta}^{\frac{2}{\theta}} \right)^{\frac{1}{2}} \right\|_{\theta}^{\frac{2}{\theta}} \|p \\
 =: & J_0 + J_{\varepsilon_1} + \dots + J_{\varepsilon_n} + J_{\varepsilon_1, \varepsilon_2} + \dots + J_{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n}.
 \end{aligned}$$

Let us estimate J_0 . Applying Lemma 6, we have $J_0 \leq C \lambda_{1,1,\dots,1} \|f\|_p < \infty$.

Now let's estimate J_{ε_1} :

$$J_{\varepsilon_1} = \left\{ \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \left[\sum_{k_1=2}^{\infty} \sum_{k_2=1}^{\infty} \dots \sum_{k_n=1}^{\infty} D_{k_1, k_2, \dots, k_n}^2 \left[\sum_{\nu_1=2}^{k_1} |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{\nu_1-2}, 1, \dots, 1}^\theta| \right]^{\frac{2}{\theta}} \right]^{\frac{p}{2}} dx_1, \dots, dx_n \right\}^{\frac{1}{p}}.$$

Using the Minkowski inequality for $\frac{2}{\theta} \geq 1$ several times, we obtain

$$\begin{aligned} & \sum_{k_n=1}^{\infty} \dots \sum_{k_2=1}^{\infty} \sum_{k_1=2}^{\infty} D_{k_1, k_2, \dots, k_n}^2 \left[\sum_{\nu_1=2}^{k_1} |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{\nu_1-2}, 1, \dots, 1}^\theta| \right]^{\frac{2}{\theta}} = \\ & = \sum_{k_1=2}^{\infty} \sum_{k_2=1}^{\infty} \dots \left(\sum_{k_n=1}^{\infty} \left[\sum_{\nu_1=2}^{k_1} |D_{k_1, k_2, \dots, k_n}|^\theta |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{\nu_1-2}, 1, \dots, 1}^\theta| \right]^{\frac{2}{\theta}} \right)^{\frac{2}{\theta}} \leq \\ & \leq \dots \leq \sum_{k_1=2}^{\infty} \left(\sum_{\nu_1=2}^{k_1} \left[\sum_{k_2=1}^{\infty} \dots \sum_{k_n=1}^{\infty} |D_{k_1, k_2, \dots, k_n}|^2 |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{\nu_1-2}, 1, \dots, 1}^\theta| \right]^{\frac{2}{\theta}} \right)^{\frac{2}{\theta}} \leq \\ & \leq \left(\sum_{\nu_1=2}^{\infty} |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{\nu_1-2}, 1, \dots, 1}^\theta| \left(\sum_{k_1=\nu_1}^{\infty} \sum_{k_2=1}^{\infty} \dots \sum_{k_n=1}^{\infty} |D_{k_1, k_2, \dots, k_n}|^2 \right)^{\frac{\theta}{2}} \right)^{\frac{2}{\theta}}. \end{aligned}$$

Now we substitute the obtained inequalities into our main integral, yielding the following expression

$$\begin{aligned} J_{\varepsilon_1} & \leq \left\{ \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \left[\sum_{\nu_1=2}^{\infty} |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{\nu_1-2}, 1, \dots, 1}^\theta| \left(\sum_{k_1=\nu_1}^{\infty} \sum_{k_2=1}^{\infty} \dots \sum_{k_n=1}^{\infty} |D_{k_1, k_2, \dots, k_n}|^2 \right)^{\frac{\theta}{2}} \right]^{\frac{2}{\theta}} dx_1 \dots dx_n \right\}^{\frac{1}{p}} \\ & = \left(\int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \left(\sum_{\nu_1=2}^{\infty} |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{\nu_1-2}, 1, \dots, 1}^\theta| \left(\sum_{k_1=\nu_1}^{\infty} \sum_{k_2=1}^{\infty} \dots \sum_{k_n=1}^{\infty} |D_{k_1, k_2, \dots, k_n}|^2 \right)^{\frac{\theta}{2}} \right)^{\frac{p}{\theta}} dx_1 \dots dx_n \right)^{\frac{1}{p}}. \end{aligned}$$

Next we use the Minkowski inequality for $\frac{p}{\theta} \geq 1$, Lemmas 5 and 6, we have

$$\begin{aligned} J_{\varepsilon_1} & \leq \left(\sum_{\nu_1=2}^{\infty} |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{\nu_1-2}, 1, \dots, 1}^\theta| \left\{ \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \left(\sum_{k_1=\nu_1}^{\infty} \sum_{k_2=1}^{\infty} \dots \sum_{k_n=1}^{\infty} |D_{k_1, k_2, \dots, k_n}|^2 \right)^{\frac{\theta}{2}} dx_1 \dots dx_n \right\}^{\frac{1}{p}} \right)^{\frac{1}{\theta}} \\ & = \left(\sum_{\nu_1=2}^{\infty} |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{\nu_1-2}, 1, \dots, 1}^\theta| \left\| \left(\sum_{k_1=\nu_1}^{\infty} \sum_{k_2=1}^{\infty} \sum_{k_3=1}^{\infty} |D_{k_1, k_2, \dots, k_n}|^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right\|_p \right)^{\frac{1}{\theta}} \\ & \lesssim \left(\sum_{\nu_1=2}^{\infty} |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{\nu_1-1}, 1, \dots, 1}^\theta| |Y_{2^{\nu_1-1}, 0, \dots, 0}(f)_p| \right)^{\frac{1}{\theta}}. \end{aligned}$$

Thus we get

$$J_{\varepsilon_1} \lesssim \left(\sum_{\nu_1=2}^{\infty} |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{\nu_1-1}, 1, \dots, 1}^\theta| |Y_{2^{\nu_1-1}, 0, \dots, 0}(f)_p| \right)^{\frac{1}{\theta}}.$$

From (3) it follows that $J_{\varepsilon_1} < \infty$. Then $J_{\varepsilon_2}, \dots, J_{\varepsilon_n}$ can be estimated similarly to J_{ε_1} and we have

$$J_{\varepsilon_2} \lesssim \left(\sum_{\nu_2=1}^{\infty} |\Delta^{\varepsilon_2} \lambda_{1, 2^{\nu_2-1}, \dots, 1}^\theta| |Y_{0, 2^{\nu_2-1}, \dots, 0}(f)_p| \right)^{\frac{1}{\theta}}, \dots,$$

$$J_{\varepsilon_n} \lesssim (\sum_{v_n=1}^{\infty} |\Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{1,1,\dots,2^{v_n-1}}^{\theta} | Y_{0,0,\dots,2^{v_n-1}}^{\theta}(f)_p)^{\frac{1}{\theta}}.$$

To estimate $J_{\varepsilon_1, \varepsilon_2}$, we first obtain an upper bound for the following sum. Applying Lemma 3 for $\frac{2}{\theta} \geq 1$, we obtain

$$\begin{aligned} & \sum_{k_1=1}^{\infty} \sum_{k_2=2}^{\infty} \dots \sum_{k_n=2}^{\infty} D_{k_1, k_2, \dots, k_n}^2 \left[\sum_{v_1=2}^{k_1} \sum_{v_2=2}^{k_2} |\Delta^{\varepsilon_1} \Delta^{\varepsilon_2} \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{v_2-2}, \dots, 1}^{\theta}| \right]^{2/\theta} \\ \leq & \sum_{k_2=2}^{\infty} \dots \sum_{k_n=1}^{\infty} \left(\sum_{v_1=2}^{\infty} \left\{ \sum_{k_1=v_1}^{\infty} \left[\sum_{v_2=2}^{k_2} |D_{k_1, k_2, \dots, k_n}|^{\theta} |\Delta^{\varepsilon_2} \Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{v_2-2}, \dots, 1}^{\theta}| \right]^{\frac{2}{\theta}} \right\}^{\frac{2}{\theta}} \right)^{\frac{2}{\theta}} \\ \leq & \left(\sum_{v_2=2}^{\infty} \sum_{v_1=2}^{\infty} |\Delta^{\varepsilon_2} \Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{v_2-2}, \dots, 1}^{\theta}| \left(\sum_{k_1=v_1}^{\infty} \sum_{k_2=v_2}^{\infty} \dots \sum_{k_n=1}^{\infty} |D_{k_1, k_2, \dots, k_n}|^2 \right)^{\frac{\theta}{2}} \right)^{\frac{2}{\theta}} \end{aligned}$$

Hence, employing the inequalities derived above, let us now estimate $J_{\varepsilon_1, \varepsilon_2}$.

Applying Lemma 4, $\frac{p}{\theta} \geq 1$ it follows that

$$\begin{aligned} J_{\varepsilon_1, \varepsilon_2} &= \left\{ \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \left[\sum_{k_1=2}^{\infty} \sum_{k_2=2}^{\infty} \dots \sum_{k_n=1}^{\infty} D_{k_1, k_2, \dots, k_n}^2 \times \right. \right. \\ & \times \left. \left. \left[\sum_{v_1=2}^{k_1} \sum_{v_2=2}^{k_2} |\Delta^{\varepsilon_1} \Delta^{\varepsilon_2} \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{v_2-2}, \dots, 1}^{\theta}| \right]^{\frac{2}{\theta}} dx_1, dx_2, dx_3 \right]^{\frac{1}{p}} \right\} \\ &\leq \left\{ \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \left[\sum_{v_2=2}^{\infty} \sum_{v_1=2}^{\infty} |\Delta^{\varepsilon_2} \Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{v_2-2}, \dots, 1}^{\theta}| \times \right. \right. \\ & \times \left. \left. \left(\sum_{k_1=v_1}^{\infty} \sum_{k_2=v_2}^{\infty} \dots \sum_{k_n=1}^{\infty} |D_{k_1, k_2, \dots, k_n}|^2 \right)^{\frac{\theta}{2}} \right]^{\frac{2}{\theta}} dx_1, dx_2, \dots, dx_n \right\}^{\frac{1}{p}} \\ &\leq \left(\sum_{v_2=2}^{\infty} \sum_{v_1=2}^{\infty} |\Delta^{\varepsilon_2} \Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{v_2-2}, \dots, 1}^{\theta}| \times \right. \\ & \times \left. \left\{ \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \left[\sum_{k_1=v_1}^{\infty} \sum_{k_2=v_2}^{\infty} \dots \sum_{k_n=1}^{\infty} |D_{k_1, k_2, \dots, k_n}|^2 \right]^{\frac{p}{\theta}} dx_1, dx_2, \dots, dx_n \right\}^{\frac{1}{p}} \right)^{\frac{1}{\theta}} \end{aligned}$$

By Lemmas 5 and 6, we get

$$J_{\varepsilon_1, \varepsilon_2} \lesssim (\sum_{v_2=1}^{\infty} \sum_{v_1=1}^{\infty} |\Delta^{\varepsilon_2} \Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{v_1-1}, 2^{v_2-1}, \dots, 1}^{\theta} | Y_{2^{v_1-1}, 2^{v_2-1}, \dots, 0}^{\theta}(f)_p)^{\frac{1}{\theta}}.$$

From (3) it follows that $J_{\varepsilon_1, \varepsilon_2} < \infty$. $J_{\varepsilon_1, \varepsilon_3}, \dots, J_{\varepsilon_{n-1}, \varepsilon_n}$ can be estimated similarly to $J_{\varepsilon_1, \varepsilon_2}$

and we have

$$J_{\varepsilon_1, \varepsilon_3} \lesssim (\sum_{v_3=1}^{\infty} \sum_{v_1=1}^{\infty} |\Delta^{\varepsilon_3} \Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{v_1-1}, 1, 2^{v_3-1}, \dots, 1}^{\theta} | Y_{2^{v_1-1}, 0, 2^{v_3-1}, \dots, 0}^{\theta}(f)_p)^{\frac{1}{\theta}}, \dots,$$

$$J_{\varepsilon_{n-1}, \varepsilon_n} \lesssim (\sum_{v_{n-1}=1}^{\infty} \sum_{v_n=1}^{\infty} |\Delta^{\varepsilon_n} \Delta^{\varepsilon_{n-1}} \lambda_{1, 1, \dots, 2^{v_{n-1}-1}, 2^{v_n-1}}^{\theta} | Y_{0, \dots, 2^{v_{n-1}-1}, 2^{v_n-1}}^{\theta}(f)_p)^{\frac{1}{\theta}}.$$

To estimate $J_{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n}$, we first obtain an upper bound for the following sum.

Applying Lemmas 3 and 4 for $\frac{2}{\theta} \geq 1$, we derive

$$\begin{aligned} & \sum_{k_1=2}^{\infty} \sum_{k_2=2}^{\infty} \dots \sum_{k_n=2}^{\infty} D_{k_1, k_2, \dots, k_n}^2 \left[\sum_{v_1=2}^{k_1} \sum_{v_2=2}^{k_2} \dots \sum_{v_n=2}^{k_n} \left| \prod_{i=1}^n \Delta^{\varepsilon_i} \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{v_2-2}, \dots, 2^{v_n-2}} \right| \right]^{\frac{2}{\theta}} \leq \\ & \leq \left(\sum_{v_n=2}^{\infty} \sum_{v_{n-1}=2}^{\infty} \dots \sum_{v_1=2}^{\infty} \left[\sum_{k_1=v_1}^{\infty} \sum_{k_2=1}^{\infty} \dots \sum_{k_n=1}^{\infty} |D_{k_1, k_2, \dots, k_n}|^{\theta} \right. \right. \\ & \left. \left| \prod_{i=1}^n \Delta^{\varepsilon_i} \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{v_2-2}, \dots, 2^{v_n-2}} \right|^{\frac{2}{\theta}} \right]^{\frac{2}{\theta}} = \left(\sum_{v_n=2}^{\infty} \sum_{v_{n-1}=2}^{\infty} \dots \sum_{v_1=2}^{\infty} \right. \\ & \left. \left| \prod_{i=1}^n \Delta^{\varepsilon_i} \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{v_2-2}, \dots, 2^{v_n-2}} \right| \left[\sum_{k_1=v_1}^{\infty} \dots \sum_{k_n=v_n}^{\infty} |D_{k_1, k_2, \dots, k_n}|^2 \right]^{\frac{\theta}{2}} \right)^{\frac{2}{\theta}} \end{aligned}$$

Therefore, from Lemma 4 ($\frac{p}{\theta} \geq 1$) it follows that

$$\begin{aligned} J_{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n} &= \left\{ \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \left[\sum_{k_1=2}^{\infty} \dots \sum_{k_n=2}^{\infty} D_{k_1, \dots, k_n}^2 \left[\sum_{v_1=2}^{\infty} \dots \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \left. \sum_{v_n=2}^{\infty} \left| \prod_{i=1}^n \Delta^{\varepsilon_i} \lambda_{2^{v_1-2}, \dots, 2^{v_n-2}} \right|^{\frac{2}{\theta}} \right]^{\frac{p}{\theta}} dx_1 \dots dx_n \right]^{\frac{1}{p}} \leq \\ & \leq \left(\sum_{v_n=2}^{\infty} \sum_{v_1=2}^{\infty} \left| \prod_{i=1}^n \Delta^{\varepsilon_i} \lambda_{2^{v_1-2}, \dots, 2^{v_n-2}} \right| \left\{ \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \left[\left(\sum_{k_1=v_1}^{\infty} \dots \right. \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \left. \sum_{k_n=v_n}^{\infty} |D_{k_1, \dots, k_n}|^2 \right]^{\frac{p}{\theta}} dx_1 \dots dx_n \right\}^{\frac{1}{p}} \right)^{\frac{1}{\theta}} \end{aligned}$$

Taking into account Lemmas 5 and 6, we obtain

$$J_{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n} \lesssim \sum_{v_n=2}^{\infty} \dots \sum_{v_1=2}^{\infty} \left| \prod_{i=1}^n \Delta^{\varepsilon_i} \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{v_2-2}, \dots, 2^{v_n-2}} \right| Y_{2^{v_1-1}, 2^{v_2-1}, \dots, 2^{v_n-1}}^{\theta}(f)_p)^{\frac{1}{\theta}}.$$

From (3), we get $J_{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n} < \infty$. By collecting estimates $J_0, J_{\varepsilon_1}, J_{\varepsilon_2}, \dots, J_{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n}$, we obtain $I_1 < \infty$. Hence, by Lemma 6 there exists a function $g(x_1, x_2, \dots, x_n) \in L_p^0$ with the Fourier series

$$\sum_{k_1=1}^{\infty} \sum_{k_2=1}^{\infty} \dots \sum_{k_n=1}^{\infty} \lambda_{2^{k_1-1}, 2^{k_2-1}, \dots, 2^{k_n-1}} D_{k_1, k_2, \dots, k_n}, \tag{5}$$

and

$$\|g\|_p \leq C(p)I_1. \tag{6}$$

We rewrite series (5) in the form of

$$\sum_{k_1=1}^{\infty} \sum_{k_2=1}^{\infty} \cdots \sum_{k_n=1}^{\infty} \gamma_{k_1, k_2, \dots, k_n} A_{k_1, k_2, \dots, k_n}(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

Where

$$\gamma_{1,1,\dots,1} = \lambda_{1,1,\dots,1}, \gamma_{v_1,1,\dots,1} = \lambda_{2^{k_1-1},1,\dots,1} \text{ for } 2^{k_1-1} \leq v_1 \leq 2^{k_1} - 1 \text{ (} k_1 = 2,3,\dots),$$

$$\gamma_{1,v_2,\dots,1} = \lambda_{1,2^{k_2-1},\dots,1} \text{ for } 2^{k_2-1} \leq v_2 \leq 2^{k_2} - 1, (k_2 = 2,3,\dots), \dots,$$

$$\gamma_{v_1,v_2,\dots,1} = \lambda_{2^{k_1-1},2^{k_2-1},\dots,1} \text{ for } 2^{k_1-1} \leq v_1 \leq 2^{k_1} - 1, 2^{k_2-1} \leq v_2 \leq 2^{k_2} - 1, (k_1, k_2 = 2,3,\dots),$$

$$\gamma_{v_1,v_2,\dots,v_n} = \lambda_{2^{k_1-1},2^{k_2-1},\dots,2^{k_n-1}} \text{ for } 2^{k_1-1} \leq v_1 \leq 2^{k_1} - 1, 2^{k_2-1} \leq v_2 \leq 2^{k_2} - 1, \dots,$$

$$2^{k_n-1} \leq v_n \leq 2^{k_n} - 1 (k_1, k_2, \dots, k_n = 2,3,\dots).$$

Let us consider the following series

Where

$$\begin{aligned} & \sum_{k_1=1}^{\infty} \sum_{k_2=1}^{\infty} \cdots \sum_{k_n=1}^{\infty} \lambda_{k_1, k_2, \dots, k_n} A_{k_1, k_2, \dots, k_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ & = \sum_{k_1=1}^{\infty} \sum_{k_2=1}^{\infty} \cdots \sum_{k_n=1}^{\infty} \gamma_{k_1, k_2, \dots, k_n} \Lambda_{k_1, k_2, \dots, k_n} A_{k_1, k_2, \dots, k_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{aligned} \tag{7}$$

$$\Lambda_{1,1,\dots,1} = 1,$$

$$\Lambda_{v_1,1,\dots,1} = \frac{\lambda_{v_1,1,\dots,1}}{\gamma_{v_1,1,\dots,1}} = \frac{\lambda_{v_1,1,\dots,1}}{\lambda_{2^{k_1-1},1,\dots,1}} \text{ for } 2^{k_1-1} \leq v_1 \leq 2^{k_1} - 1, \quad (k_1 = 2,3,\dots),$$

$$\Lambda_{1,1,\dots,v_n} = \frac{\lambda_{1,1,\dots,v_n}}{\gamma_{1,1,\dots,v_n}} = \frac{\lambda_{1,1,\dots,v_n}}{\lambda_{1,1,\dots,2^{k_n-1}}} \text{ for } 2^{k_n-1} \leq v_n \leq 2^{k_n} - 1, \quad (k_n = 2,3,\dots),$$

$$\Lambda_{v_1,v_2,\dots,1} = \frac{\lambda_{v_1,v_2,\dots,1}}{\gamma_{v_1,v_2,\dots,1}} = \frac{\lambda_{v_1,v_2,\dots,1}}{\lambda_{2^{k_1-1},2^{k_2-1},\dots,1}} \text{ for } 2^{k_1-1} \leq v_1 \leq 2^{k_1} - 1, \\ 2^{k_2-1} \leq v_2 \leq 2^{k_2} - 1, (k_1, k_2 = 2,3,\dots)$$

$$\Lambda_{v_1,v_2,\dots,v_n} = \frac{\lambda_{v_1,v_2,\dots,v_n}}{\gamma_{v_1,v_2,\dots,v_n}} = \frac{\lambda_{v_1,v_2,\dots,v_n}}{\lambda_{2^{k_1-1},2^{k_2-1},\dots,2^{k_n-1}}} \text{ for } 2^{k_i-1} \leq v_i \leq 2^{k_i} - 1,$$

$$i = 1,2, \dots, n, (k_2, \dots, k_n = 2,3,\dots).$$

Since the sequence $\{\lambda_{k_1, k_2, \dots, k_n}\} = \lambda \in GM^n$, the sequence $\{\Lambda_{k_1, k_2, \dots, k_n}\}_{k_1=1, \dots, k_n=1}^{\infty, \dots, \infty}$ satisfies the conditions of Marcinkiewicz multiplier theorem, then series (7) is the Fourier series of a function $\varphi(x_1, x_2, x_2) \in L_p$ and $\|\varphi\|_p \leq C(\rho, \lambda)\|g\|_p$.

Applying (6) and estimates $J_0, J_{\varepsilon_1}, J_{\varepsilon_2}, \dots, J_{\varepsilon_n}, J_{\varepsilon_1, \varepsilon_2}, \dots, J_{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n}$, we have

$$\begin{aligned} \|\varphi\|_p &\lesssim (\lambda_{1,1,\dots,1}^\theta \|f\|_p^\theta + \sum_{\nu_1=2}^\infty |\Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{\nu_1-1},1,\dots,1}^\theta| Y_{2^{\nu_1-1},0,\dots,0}^\theta(f)_p + \\ &+ \sum_{\nu_2=1}^\infty |\Delta^{\varepsilon_2} \lambda_{1,2^{\nu_2-1},\dots,1}^\theta| Y_{0,2^{\nu_2-1},\dots,0}^\theta(f)_p + \dots + \sum_{\nu_n=1}^\infty |\Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{1,\dots,2^{\nu_n-1}}^\theta| Y_{0,0,\dots,2^{\nu_n-1}}^\theta(f)_p + \\ &+ \sum_{\nu_2=1}^\infty \sum_{\nu_1=1}^\infty |\Delta^{\varepsilon_2} \Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{\nu_1-1},2^{\nu_2-1},\dots,1}^\theta| Y_{2^{\nu_1-1},2^{\nu_2-1},\dots,0}^\theta(f)_p + \\ &+ \dots + \sum_{\nu_n=1}^\infty \dots \sum_{\nu_1=1}^\infty |\Delta^{\varepsilon_n} \dots \Delta^{\varepsilon_1} \lambda_{2^{\nu_1-1},2^{\nu_2-1},\dots,2^{\nu_n-1}}^\theta| Y_{2^{\nu_1-1},2^{\nu_2-1},\dots,2^{\nu_n-1}}^\theta(f)_p). \end{aligned}$$

Further, we estimate $Y_{2^{k_1-1},\dots,2^{k_n-1}}(\varphi)_p$. Using Lemma 5, we derive

$$\begin{aligned} Y_{2^{k_1-1},\dots,2^{k_n-1}}(\varphi)_p &\leq \|\varphi - U_{2^{k_1-1},\dots,2^{k_n-1}}(\varphi)\|_p \\ &\leq \sum_{\nu_n=k_n}^\infty \dots \sum_{\nu_1=k_1}^\infty \left\| \sum_{s_n=2^{\nu_n+1}}^{2^{\nu_n+1}} \dots \sum_{s_1=2^{\nu_1+1}}^{2^{\nu_1+1}} D_s(\varphi) \right\|_p. \end{aligned}$$

We consider the series (7)

$$\begin{aligned} &\sum_{k_1=1}^\infty \sum_{k_2=1}^\infty \dots \sum_{k_n=1}^\infty \lambda_{k_1,k_2,\dots,k_n} A_{k_1,k_2,\dots,k_n}^*(x_1, x_2, \dots, x_n) = \\ &= \sum_{k_1=1}^\infty \sum_{k_2=1}^\infty \dots \sum_{k_n=1}^\infty \gamma_{k_1,k_2,\dots,k_n} \Lambda_{k_1,k_2,\dots,k_n} A_{k_1,k_2,\dots,k_n}^*(x_1, x_2, \dots, x_n), \end{aligned}$$

where $A_{k_1,k_2,\dots,k_n}^*(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$, if $k_1 \leq 2^{m_1} - 1$ and $k_2 \leq 2^{m_2} - 1, \dots, k_n \leq 2^{m_n} - 1$, also in other cases $A_{k_1,k_2,\dots,k_n}^*(x_1, x_2, \dots, x_n) = A_{k_1,k_2,\dots,k_n}(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Since the sequence $\{\Lambda_{k_1,k_2,\dots,k_n}\}$ satisfies the conditions of Marcinkiewicz multiplier theorem, then

$$\begin{aligned} &\|\sum_{k_1=1}^\infty \sum_{k_2=1}^\infty \dots \sum_{k_n=1}^\infty \lambda_{k_1,k_2,\dots,k_n} A_{k_1,k_2,\dots,k_n}^*(x_1, x_2, \dots, x_n)\|_p \leq \\ &\leq C \left\| \sum_{k_1=1}^\infty \sum_{k_2=1}^\infty \dots \sum_{k_n=1}^\infty \lambda_{2^{n_1-1},2^{n_2-1},\dots,2^{k_n-1}} D_{k_1,k_2,\dots,k_n}^* \right\|_p \end{aligned}$$

where $D_{k_1,k_2,\dots,k_n}^* = 0$, if $k_1 \leq m_1, k_2 \leq m_2, \dots, k_n \leq m_n$ and in other cases $D_{k_1,k_2,\dots,k_n}^* = D_{k_1,k_2,\dots,k_n}$.

By Lemma 6, we get

$$\begin{aligned} Y_{2^{m_1-1},2^{m_2-1},\dots,2^{m_n-1}}(\varphi)_p &\lesssim \left\{ \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} [\right. \\ &[\sum_{k_1=m_1+1}^\infty \sum_{k_2=m_2+1}^\infty \dots \sum_{k_n=m_n+1}^\infty \lambda_{2^{k_1-1},2^{k_2-1},\dots,2^{k_n-1}}^2 D_{k_1,k_2,\dots,k_n}^2]^{p/2} dx_1 dx_2 \dots dx_n \left. \right\}^{1/p}. \end{aligned} \tag{8}$$

It's easy to see

$$\lambda_{2^{k_1-1},2^{k_2-1},\dots,2^{k_n-1}}^\theta \leq \lambda_{2^{m_1-1},2^{m_2-1},\dots,2^{m_n-1}}^\theta +$$

$$\begin{aligned}
 & + \sum_{v_1=m_1+1}^{k_1} |\lambda_{2^{v_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta - \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta| + \\
 & + \sum_{v_{n-1}=m_{n+1}}^{k_{n-1}} \sum_{v_n=m_{n+1}}^{k_n} |\lambda_{2^{m_{n-1}}, \dots, 2^{v_{n-1}-1}, 2^{v_{n-1}}}^\theta - \lambda_{2^{m_{n-1}}, \dots, 2^{v_{n-1}-2}, 2^{v_{n-1}}}^\theta - \lambda_{2^{m_{n-1}}, \dots, 2^{v_{n-1}-1}, 2^{v_{n-2}}}^\theta + \\
 & + \lambda_{2^{m_{n-1}}, \dots, 2^{v_{n-1}-2}, 2^{v_{n-2}}}^\theta| + \sum_{v_1=m_1+1}^{k_1} \dots \sum_{v_n=m_{n+1}}^{k_n} |\Delta^{\varepsilon_1}(\Delta^{\varepsilon_2} \dots (\Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{2^{v_1-1}, \dots, 2^{v_{n-1}}}^\theta))|.
 \end{aligned}$$

Substituting this estimate into (2), we obtain

$$\begin{aligned}
 & Y_{2^{m_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}(\varphi)_p \leq \\
 & \leq \left\{ \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \left[\sum_{k_1=m_1+1}^{\infty} \sum_{k_2=m_2+1}^{\infty} \dots \sum_{k_n=m_{n+1}}^{\infty} (\lambda_{2^{m_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta + \right. \right. \\
 & + \sum_{v_1=m_1+1}^{k_1} |\lambda_{2^{v_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta - \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta| + \\
 & + \sum_{v_1=m_1+1}^{k_1} \sum_{v_2=m_2+1}^{k_2} |\lambda_{2^{v_1-1}, 2^{v_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta - \\
 & - \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{v_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta - \lambda_{2^{v_1-1}, 2^{v_2-2}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta + \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{v_2-2}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta| + \\
 & + \dots + \sum_{v_1=m_1+1}^{k_1} \dots \sum_{v_n=m_{n+1}}^{k_n} |\Delta^{\varepsilon_1}(\Delta^{\varepsilon_2} \dots (\Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{2^{v_1-1}, \dots, 2^{v_{n-1}}}^\theta))| \left. \right\}^{\frac{2}{\theta}} D_{k_1, k_2, \dots, k_n}^2 \left[\int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} dx_1 dx_2 \dots dx_n \right]^{\frac{1}{p}} \\
 & \approx (\lambda_{2^{m_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta \left\{ \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \left[\sum_{k_1=m_1+1}^{\infty} \sum_{k_2=m_2+1}^{\infty} \dots \right. \right. \\
 & \dots \sum_{k_n=m_{n+1}}^{\infty} D_{k_1, k_2, \dots, k_n}^2 \left. \right\}^{\frac{2}{\theta}} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} dx_1 dx_2 \dots dx_n \left. \right\}^{\frac{1}{p}} \\
 & + \left\{ \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \left[\sum_{k_1=m_1+1}^{\infty} \sum_{k_2=m_2+1}^{\infty} \dots \sum_{k_n=m_{n+1}}^{\infty} D_{k_1, k_2, \dots, k_n}^2 \right. \right. \\
 & \left. \left(\sum_{v_1=m_1+1}^{k_1} |\lambda_{2^{v_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta - \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta| \right)^{\frac{2}{\theta}} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} dx_1 dx_2 \dots dx_n \right]^{\frac{1}{p}} + \\
 & + \left\{ \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \left[\sum_{k_1=m_1+1}^{\infty} \sum_{k_2=m_2+1}^{\infty} \dots \sum_{k_n=m_{n+1}}^{\infty} D_{k_1, k_2, \dots, k_n}^2 \left(\sum_{v_1=m_1+1}^{k_1} \sum_{v_2=m_2+1}^{k_2} |\lambda_{2^{v_1-1}, 2^{v_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. - \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{v_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta - \lambda_{2^{v_1-1}, 2^{v_2-2}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta + \lambda_{2^{v_1-2}, 2^{v_2-2}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta \right) \right]^{\frac{2}{\theta}} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} dx_1 dx_2 \dots dx_n \left. \right\}^{\frac{1}{p}} + \\
 & + \left\{ \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \left[\sum_{k_1=m_1+1}^{\infty} \sum_{k_2=m_2+1}^{\infty} \sum_{k_3=m_3+1}^{\infty} D_{k_1, k_2, \dots, k_n}^2 \right. \right. \\
 & \left. \left(\sum_{v_1=m_1+1}^{k_1} \dots \sum_{v_n=m_{n+1}}^{k_n} |\Delta^{\varepsilon_1}(\Delta^{\varepsilon_2} \dots (\Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{2^{v_1-1}, \dots, 2^{v_{n-1}}}^\theta))| \right)^{\frac{2}{\theta}} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} dx_1 dx_2 \dots dx_n \right]^{\frac{1}{p}} \\
 & =: L_0 + L_{\varepsilon_1} + \dots + L_{\varepsilon_n} + L_{\varepsilon_1, \varepsilon_2} + \dots + L_{\varepsilon_{n-1}, \varepsilon_n} + \dots + L_{\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n}.
 \end{aligned}$$

We estimate L_0 as J_0 , to get

$$L_0 \leq \lambda_{2^{m_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta \left\{ \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \left[\sum_{k_1=m_1+1}^\infty \dots \sum_{k_n=m_n+1}^\infty D_{k_1, k_2, \dots, k_n}^2 \right]^{\frac{p}{2}} dx_1, dx_2, \dots, dx_n \right\}^{\frac{1}{p}} \\ \lesssim \lambda_{2^{m_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta Y_{2^{m_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta (f)_p.$$

Using an estimation method similar to the J_{ε_1} method, we obtain the estimate L_{ε_1}

$$L_{\varepsilon_1} = \left\{ \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \left[\sum_{k_1=m_1+1}^\infty \sum_{k_2=m_2+1}^\infty \dots \sum_{k_n=m_n+1}^\infty D_{k_1, k_2, \dots, k_n}^2 \right. \right. \\ \left. \left. \left(\sum_{\nu_1=m_1+1}^{k_1} |\lambda_{2^{\nu_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta - \lambda_{2^{\nu_1-2}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta|^{\frac{2}{\theta}} \right)^{\frac{p}{2}} dx_1 dx_2 \dots dx_n \right]^{\frac{1}{p}} \right\} \\ \lesssim \left(\sum_{\nu_1=m_1+1}^{k_1} |\lambda_{2^{\nu_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta - \lambda_{2^{\nu_1-2}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta| \right. \\ \left. \left\{ \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \left[\sum_{k_1=\nu_1}^\infty \sum_{k_2=m_2+1}^\infty \dots \sum_{k_n=m_n+1}^\infty D_{k_1, k_2, \dots, k_n}^2 \right]^{\frac{p}{2}} dx_1 dx_2 \dots dx_n \right\}^{\frac{1}{p}} \right)^{\frac{1}{\theta}} \\ \lesssim \left(\sum_{\nu_1=m_1+1}^{k_1} |\lambda_{2^{\nu_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta - \lambda_{2^{\nu_1-2}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta| Y_{2^{\nu_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_{n-1}}}^\theta (f)_p \right)^{\frac{1}{\theta}}.$$

In the case where $L_{\varepsilon_2}, L_{\varepsilon_3}$ and so on L_{ε_n} we estimate as L_{ε_1} .

We estimate $L_{\varepsilon_{n-1}, \varepsilon_n}$ as follows

$$L_{\varepsilon_{n-1}, \varepsilon_n} = \left\{ \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \left[\sum_{k_1=m_1+1}^\infty \sum_{k_2=m_2+1}^\infty \dots \sum_{k_n=m_n+1}^\infty D_{k_1, k_2, \dots, k_n}^2 \times \right. \right. \\ \left. \left. \left(\sum_{\nu_{n-1}=m_{n-1}+1}^{k_{n-1}} \sum_{\nu_n=m_n+1}^{k_n} |\lambda_{2^{m_1-1}, \dots, 2^{\nu_{n-1}-1}, 2^{\nu_n-1}}^\theta - \lambda_{2^{m_1-1}, \dots, 2^{\nu_{n-1}-2}, 2^{\nu_n-1}}^\theta - \lambda_{2^{m_1-1}, \dots, 2^{\nu_{n-1}-1}, 2^{\nu_n-2}}^\theta \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \lambda_{2^{m_1-1}, \dots, 2^{\nu_{n-1}-2}, 2^{\nu_n-2}}^\theta \right|^{\frac{2}{\theta}} \right)^{\frac{p}{2}} dx_1 dx_2 \dots dx_n \right]^{\frac{1}{p}} \right\} \\ \lesssim \left(\sum_{\nu_{n-1}=m_{n-1}+1}^{k_{n-1}} \sum_{\nu_n=m_n+1}^{k_n} |\lambda_{2^{m_1-1}, \dots, 2^{\nu_{n-1}-1}, 2^{\nu_n-1}}^\theta - \lambda_{2^{m_1-1}, \dots, 2^{\nu_{n-1}-2}, 2^{\nu_n-1}}^\theta - \lambda_{2^{m_1-1}, \dots, 2^{\nu_{n-1}-1}, 2^{\nu_n-2}}^\theta \right. \right. \\ \left. \left. + \lambda_{2^{m_1-1}, \dots, 2^{\nu_{n-1}-2}, 2^{\nu_n-2}}^\theta \right| Y_{2^{m_1-1}, \dots, 2^{\nu_{n-1}-1}, 2^{\nu_n-1}}^\theta (f)_p \right)^{\frac{1}{\theta}}.$$

Similarly, we obtain estimates for $L_{\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n}$

$$L_{\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n} = \left\{ \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \left[\sum_{k_1=m_1+1}^\infty \sum_{k_2=m_2+1}^\infty \dots \sum_{k_n=m_n+1}^\infty D_{k_1, k_2, \dots, k_n}^2 \right] \right\}$$

$$\begin{aligned} &\lesssim \left(\sum_{v_1=m_1+1}^{k_1} \sum_{v_n=m_n+1}^{k_n} |\Delta^{\varepsilon_1}(\Delta^{\varepsilon_2} \dots (\Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{2^{v_1-1}, \dots, 2^{v_n-1}}^\theta))| \right)^{\frac{2}{\theta} p} dx_1 dx_2 \dots dx_n \Big)^{\frac{1}{p}} \lesssim \\ &\lesssim \left(\sum_{v_1=m_1+1}^{k_1} \dots \sum_{v_n=m_n+1}^{k_n} |\Delta^{\varepsilon_1}(\Delta^{\varepsilon_2} \dots (\Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{2^{v_1-1}, \dots, 2^{v_n-1}}^\theta))| Y_{2^{v_1-1}, 2^{v_2-1}, \dots, 2^{v_n-1}}^\theta(f)_p \right)^{\frac{1}{\theta}}. \end{aligned}$$

Now we collect estimates $L_0, L_{\varepsilon_1}, \dots, L_{\varepsilon_n}, L_{\varepsilon_1, \varepsilon_2}, \dots, L_{\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n}$, we derive

$$\begin{aligned} Y_{2^{m_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_n-1}}(\varphi)_p &\lesssim (\lambda_{2^{m_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_n-1}}^\theta Y_{2^{m_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_n-1}}(f)_p \\ &+ \sum_{v_1=m_1}^{k_1} |\lambda_{2^{v_1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_n-1}}^\theta - \lambda_{2^{v_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_n-1}}^\theta| Y_{2^{v_1-1}, 2^{m_2-1}, \dots, 2^{m_n-1}}^\theta(f)_p + \dots + \\ &+ \sum_{v_1=1}^{k_1} \sum_{v_2=1}^{k_2} |\lambda_{2^{v_1}, 2^{v_2}, \dots, 2^{m_n-1}}^\theta - \lambda_{2^{v_1-1}, 2^{v_2}, \dots, 2^{m_n-1}}^\theta \\ &- \lambda_{2^{v_1}, 2^{v_2-1}, \dots, 2^{m_n-1}}^\theta + \lambda_{2^{v_1-1}, 2^{v_2-1}, \dots, 2^{m_n-1}}^\theta| Y_{2^{v_1-1}, 2^{v_2-1}, \dots, 2^{m_n-1}}^\theta(f)_p \\ &+ \dots + \sum_{v_{n-1}=1}^{k_{n-1}} \sum_{v_n=1}^{k_n} |\lambda_{2^{m_1-1}, \dots, 2^{v_{n-1}-1}, 2^{v_n}}^\theta - \lambda_{2^{m_1-1}, \dots, 2^{v_{n-1}-1}, 2^{v_n-1}}^\theta - \lambda_{2^{m_1-1}, \dots, 2^{v_{n-1}}, 2^{v_n}}^\theta \\ &+ \lambda_{2^{m_1-1}, \dots, 2^{v_{n-1}-1}, 2^{v_n-1}}^\theta| Y_{2^{m_1-1}, \dots, 2^{v_{n-1}-1}, 2^{v_n-1}}^\theta(f)_p \\ &+ \sum_{v_1=1}^{k_1} \dots \sum_{v_n=1}^{k_n} |\Delta^{\varepsilon_1}(\Delta^{\varepsilon_2} \dots (\Delta^{\varepsilon_n} \lambda_{2^{v_1}, \dots, 2^{v_n}}^\theta))| Y_{2^{v_1-1}, 2^{v_2-1}, \dots, 2^{v_n-1}}^\theta(f)_p \Big)^{\frac{1}{\theta}}. \end{aligned}$$

The proof of Theorem is complete.

Discussion

In this paper, estimates of the best angular approximations of functions are obtained, generalizing the previously known results of Potapov [1], and extending them to the case of multidimensional generalized monotone sequences and generalized derivatives in the Liouville-Weyl sense. In [5], the one-dimensional case is considered and upper approximation estimates are established based on the characteristics of functions, such as their smoothness and singularities. In [8], in turn, these results are extended to the two-dimensional case, which significantly expands the scope of their application. Based on these theorems, a methodology for multidimensional analysis of angular approximations is developed, taking into account not only the main parameters of functions, but also their complex structure in multidimensional spaces. The results obtained show that approximation of functions in the multidimensional case requires more complex estimates associated with additional parameters, such as the relationships between variables and the features of their interaction. Thus, the proposed methods and estimates not only generalize the known results, but also provide a new approach to the study of angular approximations in the multidimensional case, which is an important contribution to the development of approximation theory.

Conclusion

In this paper, optimal angular approximations of multivariable functions were investigated, which allowed for the derivation of upper bounds for these approximations. The main results showed that the quality of function approximation significantly depended on the characteristics of the functions, including their smoothness, dimensionality, and presence of singularities. The developed methods and obtained estimates provided a powerful tool for analyzing multivariate functions, offering both theoretical significance. Thus, this work made a significant contribution to the theory of multivariate approximations, opening new opportunities for solving problems in mathematics and related fields.

Acknowledgments

This research was partially funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP22686170).

References

- [1] Potapov M.K. On Approximation by "angle" // in Proc. Conf. on Constructive Theory of Functions. (Approximation Theory), Budapest, (Akad. Kiad'o}, Budapest, 1972), 1969, P. 371-399. https://www.mathnet.ru/php/person.phtml?option_lang=rus&personid=18894
- [2] Konyushkov A.A. Best approximations by trigonometric polynomials and Fourier coefficients // Mat. Sb. (N.S.), 1958, №1(86), 44, P.53-84. <https://www.mathnet.ru/links/a5f54bd939f7a4031518b9ae44acc576/sm4934.pdf>
- [3] Steckin S.B. On best approximation of conjugate functions by trigonometric polynomials // Izv. Akad. Nauk SSSR, 1956, №20, P. 197-206. <https://www.mathnet.ru/links/57e2457a4738a1adb46238058f5b3109/im3708.pdf>
- [4] Timan M.F. The imbedding of the $L(p_k)$, classes of functions // Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Mat., 1974, №10, P. 61-74. <https://www.mathnet.ru/links/c563cf772a28da6cb1644717a4ff2da6/ivm6659.pdf>
- [5] Jumabayeva A. (2015). Liouville-Weyl derivatives, best approximations, and moduli of smoothness. // Acta Math. Hungar. 2015. №2(145). P. 369-391. <https://doi.org/10.1007/s10474-015-0485-x>
- [6] Simonov B., Tikhonov S. Embeddings theorems in constructive approximation. // Sbornik: Mathematics. 2008. №199(9). P. 1367-1407. <https://doi.org/10.4213/sm3941>
- [7] Simonov B.V., Tikhonov S. On embeddings of functional classes defined by constructive characteristics. // Banach Center Publications. - 2006. - №72. - P. 285-307. https://pdfs.semanticscholar.org/18c1/21cd36a71d4f8828e0db75be1b5392e414cd.pdf?_gl=1*_1d3muj0*_gcl_au*MTA0MzZzODEzMC4xNzZzMTc1NzU4*_ga*Mzc5NzY4NjM2LjE3MzZzMTU3NTk.*_ga_H7P4ZT52H5*MTczMzExNTc1OC4xLjAuMTczMzExNTc1OS41OS4wLjA
- [8] Jumabayeva A., Simonov B. Liouville-Weyl Derivatives of Double Trigonometric Series. // Topics in Classical and Modern Analysis. Applied and Numerical Harmonic Analysis. Birkhäuser. 2019. P. 159-182. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12277-5_11
- [9] Dyachenko M., Tikhonov S. Convergence of trigonometric series with general monotone coefficients. // Comptes Rendus. Mathématique. 2007. №3(345). P. 123-126. [10.1016/j.crma.2007.06.009](https://doi.org/10.1016/j.crma.2007.06.009)
- [10] Dyachenko I.M., Tikhonov S. A Hardy-Littlewood theorem for multiple series. // J. Math. Anal. Appl. 2008. №339. P. 503-510. <https://doi.org/10.1016/j.jmaa.2007.06.057>
- [11] Tikhonov S. Trigonometric series with general monotone coefficients. // J. Math. Anal. Appl. 2007. №326. P. 721-735. <https://doi.org/10.1016/j.jmaa.2006.02.053>
- [12] Lifyand E., Tikhonov S. A concept of general monotonicity and application. // Math. Nachr. 2011. №284(8-9). P. 1083-1098. <https://doi.org/10.1002/mana.200810262>
- [13] Tikhonov S. Trigonometric series of Nikol'skii classes // Acta Math. Hungar. 2007, №114(1-2), P. 61-78. <https://doi.org/10.1007/s10474-006-0513-y>
- [14] Nikolskii S.M. Approximation of functions of many variables and embedding theorems // Nauka, M, 1977. - 455 p. <https://mathscinet.ams.org/mathscinet/relay-station?mr=506247>
- [15] Akishev G. A. On approximation orders of functions of several variables in the Lorentz space. // Trudy Inst. Mat. i Mekh. UrO RAN. 2016. №22(4). P. 13-28. <https://doi.org/10.5644/SJM.15.01.08>

Р.Д. Сейлова¹, М.Ж. Талипова^{1*}, А. Турганбаев¹

¹НАО Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, г. Актюбе, Казахстан

*e-mail: mira_talipova@mail.ru

НЕКОТОРЫЕ УСЛОВИЯ УПРАВЛЯЕМОСТИ КВАЗИЛИНЕЙНЫХ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ИМПУЛЬСНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Аннотация

Исследование краевых задач управления для квазилинейных интегро-дифференциальных систем с импульсным воздействием является актуальной областью современной математики, находящей применение в моделировании сложных динамических процессов. Основная цель изучения управляемости квазилинейных интегро-дифференциальных уравнений с импульсным воздействием состоит в разработке методов, которые позволяют определять условия, при которых система является управляемой, разрабатывать алгоритмы, позволяющие построить управляющие воздействия для реализации желаемой траектории системы, а также исследовать устойчивость решений в условиях как регулярных, так и резких внешних изменений. В настоящей статье рассматриваются некоторые условия управляемости краевой задачей для квазилинейной системы интегро-дифференциальных уравнений с импульсным воздействием. Исследованы процессы, в которых импульсное воздействие происходит не в заранее предписанные моменты времени, а в моменты времени, которые определяются состоянием системы. В статье доказаны некоторые условия управляемости квазилинейных интегро-дифференциальных уравнений с импульсным воздействием в виде лемм, дано определение разрешимости задачи управления.

Ключевые слова: функция, квазилинейные системы, интегро-дифференциальные уравнения, импульсное воздействие, краевые задачи.

Р.Д. Сейлова¹, М.Ж. Талипова, А. Турганбаев¹

¹Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті КеАҚ, Ақтөбе қ., Қазақстан

ИМПУЛЬСТІ ӘСЕРІ БАР КВАЗИСЫЗЫҚТЫ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕНДЕУЛЕРДІ БАСҚАРУДЫҢ КЕЙБІР ШАРТТАРЫ

Аңдатпа

Импульсті әсері бар квазисызықты интегро-дифференциалдық жүйелер үшін шекаралық басқару есептерін зерттеу күрделі динамикалық процестерді модельдеуде қолданатын қазіргі математиканың өзекті саласы болып табылады. Импульстік әсері бар квазисызықты интегро-дифференциалдық теңдеулердің басқарылымдылығын зерттеудің негізгі мақсаты жүйе басқарылатын жағдайлардың шарттарын анықтау, қалаған траекторияларды жүзеге асыру үшін басқарылатын әрекеттерін құруға мүмкіндік беретін алгоритмдерді әзірлеу және шешімдердің орнықтылығын зерттеу болып табылады. Бұл мақала импульсті әсері бар интегро-дифференциалдық теңдеулер квазисызықты жүйесі үшін шекаралық есептің басқарылуының кейбір шарттарын зерттейді. Импульсті әсер алдын ала белгіленген уақытта емес, жүйенің күйімен анықталған уақытта болатын процестер зерттелді. Мақалада импульстік әсері бар квазисызықты интегро-дифференциалдық теңдеулердің басқарылуының кейбір шарттары леммалар түрінде дәлелденіп, басқару есебінің шешілуінің анықтамасы берілген.

Түйін сөздер: функция, квазисызықты жүйелер, интегралды-дифференциалдық теңдеулер, импульстік әсер, шеттік есептер.

R.D. Seilova¹, M.Zh. Talipova, A. Turganbaev¹

¹Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

SOME CONTROL CONDITIONS FOR QUASI-LINEAR INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH IMPULSE INFLUENCE

Abstract

The study of edge control problems for quasilinear integro-differential systems with pulsed action is an urgent area of modern mathematics, which is used in modeling complex dynamic processes. The main goal of studying the controllability of quasilinear integro-differential equations with pulsed action is to develop methods that allow determining the conditions under which the system is controllable, to develop algorithms that allow you to build control actions to implement the desired trajectory of the system, and to investigate the stability of solutions under conditions of both regular and abrupt external changes. This article discusses some conditions of controllability of the boundary value problem for a quasilinear system of integro-differential equations with pulsed action. Processes in which pulsed action does not occur at pre-prescribed time points, but in some time points, which are determined by the state of the system, have been investigated. The article proved some conditions of controllability of quasilinear integro-differential equations with pulsed action in the form of lemmas, a definition of solvability of the control problem is given.

Keywords: function, quasilinear systems, integro-differential equations, impulse impact, boundary value problems.

Основные положения

В данной статье проводится литературный обзор работ, посвященных общей теории нелинейных, периодических, почти периодических колебаний.

В данной работе исследуются вопросы связанные с решениями в обобщенном смысле для системы интегро-дифференциальных уравнений с импульсным воздействием. Рассматриваются как линейные, так и нелинейные системы уравнений. Вводятся определения периодических по части переменных решений в обобщенном смысле. Установлены достаточные условия для существования и единственности таких решений, получены необходимые и достаточные условия искомого решения в широком смысле для нелинейных систем уравнений.

Введение

Дифференциальные уравнения играют важную роль в математике и ее приложениях. Они связывают функцию с ее производными и позволяют моделировать различные явления в физике, химии, биологии, экономике и других областях науки [1].

Управляемость является одним из ключевых вопросов в теории динамических систем. Для квазилинейных интегро-дифференциальных уравнений с импульсным воздействием эта задача особенно важна, поскольку они часто описывают сложные процессы с непрерывными и резкими возмущениями. Изучение управляемости в таких системах требует совмещения аналитических и численных методов, что позволяет понять основные механизмы реализации необходимой траектории или состояния.

Актуальность исследуемой темы обусловлена растущей сложностью задач, связанных с анализом и управлением динамических систем. Импульсные воздействия играют ключевую роль в моделировании процессов, которые сопровождаются резкими изменениями, такими как скачкообразные возмущения, внезапные переходы или воздействия, возникающие в ограниченные моменты времени. Например, в биологии это могут быть резкие изменения в численности популяций под воздействием экологических факторов, в экономике – внезапные финансовые кризисы, а в технике – переходные процессы в системах автоматизации.

Исследование условий управляемости таких систем необходимо для решения задач, связанных с обеспечением стабильности, оптимальности и надежности их функционирования. Оно требует разработки как теоретических подходов, так и численных методов, которые

позволяют учитывать сложные особенности данных систем: нелинейность, интегральные члены и импульсные воздействия.

В свете современных задач управления, анализ условий управляемости квазилинейных интегро-дифференциальных уравнений с импульсным воздействием не только расширяет математический инструментарий, но и способствует развитию прикладных методов моделирования.

Цель этой работы исследовать условия управляемости квазилинейных интегро-дифференциальных уравнений с импульсным воздействием.

Методология исследования.

Исследование краевых задач управления для квазилинейных интегро-дифференциальных систем с импульсным воздействием является актуальной областью современной математики, находящей применение в моделировании сложных динамических процессов.

Управляемость интегро-дифференциальных уравнений с импульсным воздействием, задачи управления для линейных и слаболинейных задач рассмотрены в работах многих авторов [2-10].

Важно отметить, что помимо теоретических результатов, таких как определение условий разрешимости, разработка конструктивных методов решения задачи управляемости и решение задачи оптимальности, здесь также нашли применение практические подходы в областях электротехники, робототехники, автоматического управления и экономики.

Очевидно, что задачу устойчивости управляемого движения, особенно асимптотической устойчивости, тоже можно рассматривать, как управление краевой задачей. Также близкими являются задача стабилизации и периодическая задача [8].

Краевые задачи для систем нелинейных дифференциальных уравнений, задачи управления дифференциальными уравнениями в частных производных, а также задачи управления уравнениями в Банаховых пространствах и интегро-дифференциальными уравнениями рассматривались во многих научных работах [11–15].

С появлением новых типов дифференциальных уравнений и развитием численных методов решения задач управления особое внимание стали привлекать системы, описываемые уравнениями с запаздыванием, дискретными моделями, стохастическими дифференциальными уравнениями и уравнениями с включениями [16].

Для решения задач управления применяется второй метод Ляпунова. Этот метод, который еще называют методом функций Ляпунова, успешно применяется при исследовании устойчивости управляемых систем. Наиболее распространенным в решении задач управления для нелинейных систем являются метод неподвижных точек, теоремы Банаха, Шаудера, Тихонова о неподвижных точках, во многих работах используются конструктивные методы, основанные на последовательных приближениях методе Ньютона. Специальный критерий управляемости был получен для уравнения Ван дер Поля [17].

Определение критериев управляемости для линейных систем основано на использовании интегральной формулы Коши с последующим построением линейной алгебраической системы. Как следствие этого метода возникают ранговые признаки управляемости [2-9].

Теория дифференциальных уравнений с импульсными воздействиями берет свое начало из работы Н.М. Крылова и Н.Н. Боголюбова [18], в которой показано, что для исследования таких систем эффективно применять асимптотические методы нелинейной механики. Вопросам управления системами, описываемыми дифференциальными уравнениями с импульсными воздействиями, посвящены следующие исследования [18-20].

В работах [21-22] исследована однозначная разрешимость начальной задачи для квазилинейного интегро-дифференциального уравнения в частных производных высшего порядка с вырожденным ядром.

Задача управления для квазилинейной системы интегро-дифференциальных уравнений с импульсным воздействием и метод сведения к уравнениям с фиксированными моментами импульсного воздействия разработаны в работах [23-25].

Результаты исследования

Рассмотрим систему интегро-дифференциальных уравнений с импульсным воздействием, имеющую вид

$$\begin{aligned} dx/dt &= A(t)x + \int_{\alpha}^t K(t,s)x(s)ds + C(t)u(t) + f(t) + \mu g(t, x, u, \mu), t \neq \theta_i + \mu\tau_i(x, \mu), \\ \Delta x(\zeta_i) &= B_i x(\zeta_i) + \sum_{\alpha < \zeta_j < \zeta_i} D_{ij} x(\zeta_j) + Q_i v_i + I_i + \mu W_i(x(\zeta_i), v_i, \mu), i = 1, 2, \dots, p, \end{aligned} \quad (1)$$

и, краевое условие

$$x(\alpha) = a, \quad x(\beta) = b \quad (2)$$

где $\mu > 0$ – малый параметр, $x \in R^n$, $\Delta x(\theta_i) \equiv x(\theta_i +) - x(\theta_i)$, $t \in [\alpha, \beta]$, $A(t)$, $K(t, s)$, $i = \overline{1, p}$, – $(n \times n)$ матрицы, столбцы матрицы $A(t)$ – элементы пространства $L_2^n[\alpha, \beta]$, $\{f, I\} \in \Pi^n[\alpha, \beta]$, $D_{ij}, B_i, i, j = \overline{1, p}$ – постоянные $(n \times n)$ матрицы, матрица $K(t, s)$ интегрируемая с квадратом на множестве $[\alpha, \beta] \times [\alpha, \beta]$, матрицы $C(t)$ и $Q_i, i = \overline{1, p}$, размера $n \times m$, m – фиксированное натуральное число, столбцы матрицы $C(t)$ являются функциями из $L_2^n[\alpha, \beta]$, $Q_i, i = \overline{1, p}$, где $L_2^n[\alpha, \beta]$ – пространство функций, интегрируемых с квадратом на отрезке $[\alpha, \beta]$;

$D^r[1, p]$ – множество конечных последовательностей $\{\xi_i\}, i = \overline{1, p}$; $(,)$ – скалярное произведение.

Дополнительно предполагаем, что функции $g, W_i, i = \overline{1, p}$ непрерывны по всем аргументам и непрерывно дифференцируемые по всем координатам векторов x, u, v . Движение, определенное уравнением (1), при фиксированных $\mu, \{u, v\} \in \Pi^m[\alpha, \beta]$ происходит следующим образом. Изображающая точка $P_t(t, x(t))$ решения $x(t) = x(t, \alpha, a)$ уравнения

$$dx/dt = A(t)x(t) + \int_{\alpha}^t K(t,s)x(s)ds + C(t)u(t) + f(t) + \mu g(t, x, u, \mu), \quad (3)$$

начинает свое движение в точке (α, a) и продолжает вдоль интегральной кривой этого решения до момента $t = \zeta_1$, когда P_t встречает первую поверхность разрыва $t = \theta_1 + \mu\tau_1(x, \mu)$. Таким образом, значение $t = \zeta_1$ определяется как удовлетворяющее равенству $\zeta_1 = \theta_1 + \mu\tau_1(x(\zeta_1), \mu)$.

В этот момент P_t испытывает скачок на величину

$$\Delta x|_{t=\zeta_1} = B_1 x(\zeta_1) + \sum D_{11} x(\zeta_1) + Q_1 v_1 + I_1 + \mu W_1(x(\zeta_1), v_1, \mu)$$

и продолжает двигаться вдоль интегральной кривой решения $x(t, \zeta_1, x(\zeta_1+))$ уравнения (3) пока P_t не встретит следующую поверхность разрыва и т.д.

Заметим, что каждое решение уравнения (1) является функцией из $PAC[\alpha, \beta]$, если оно определено на $[\alpha, \beta]$, где $PAC[\alpha, \beta]$ – множество функций $x(t)$ кусочно абсолютно непрерывных, непрерывных слева во всех точках $[\alpha, \beta]$ и испытывающих разрывы первого рода в точках $\{\theta_i\}, i = \overline{1, p}$;

Определение. Будем говорить, что разрешима задача управления краевой задачей γ_μ , если для каждого ограниченного множества $G \subset R^n$ существует $\mu_0, \mu_0 \in R^1, \mu_0 > 0$, такое, что для каждых $\{a, b\} \subset G$ и $\mu < \mu_0$ существует управление $\{u, v\} \in \Pi^m[\alpha, \beta]$, при котором уравнение (1) допускает решение, удовлетворяющее краевому условию (2).

Пусть $s \in R, s > 0$ и пусть G_s есть множество элементов (x, u, v) таких, что $\|x\| + \|u\| + \|v\| \leq s$, где $\|\cdot\|$ есть евклидова норма в $R^k, k \in N$.

Для фиксированного положительного числа $\mu_1 \in R$, определим множество

$$G_s = \{(x, u, v, t, i, \mu) | (x, u, v) \in \Pi_s, \alpha \leq t \leq \beta, i = 1, 2, 3, \dots, p, \mu \leq \mu_1\}.$$

Фиксируем $H \in R, H > 0$ и пусть

$$m_1 = \max \{ \sup_t \|A(t)\|, \sup_t \|C(t)\|, \sup_{t,s} \|K(t,s)\|, \max_i \|B_i\|, \max_{i,j} \|D_{ij}\| \},$$

$$m_2 = \max \{ \sup_t \|f(t)\|, \max_i \|I_i\| \},$$

$$m_3 = \max \{ \max_{G_H} \|g\|, \max_{G_H} \|W\|, \max_{G_H} \|\tau\| \}.$$

Лемма 1. Если

$$\mu_1 m_3 < \min(\theta_1 - \alpha, \beta - \theta_p) \tag{4}$$

и для всех x, μ, i и G_H справедливо, что

$$\theta_{i+1} + \mu\tau_{i+1}(x, \mu) < \theta_i + \mu\tau_i(x, \mu), \tag{5}$$

тогда каждое решение уравнения (1), определенное на $[\alpha, \beta]$ и, принимающее значения в G_H пересекает каждую из поверхностей $t = \theta_i + \mu\tau_i(x, \mu), i = 1, \dots, p$, по меньшей мере один раз.

Доказательство. Фиксируем $i = 1, \dots, p$ и обозначим R_i множество значений функции $\theta_i + \mu\tau_i(x, \mu)$, где $|x| \leq H$ и $\mu \leq \mu_1$ фиксировано. Т.к. множество $\|x\| \leq H$ компактно, то R_i является отрезком $[\alpha_i, \beta_i] \subset R$. В силу условий (4), (5), найдем, что

$$\alpha < \alpha_1 \leq \beta_1 < \alpha_2 \leq \beta_2 < \dots < \alpha_p \leq \beta_p < \beta. \tag{6}$$

Пусть $x(t): [\alpha, \beta] \rightarrow G_H$, решение уравнения (3). Покажем, что $x(t)$ пересечет обязательно первую поверхность $t = \theta_1 + \mu\tau_1(x, \mu)$. Построим функцию $\phi_1(t) = t - \theta_1 - \mu\tau_1(x(t), \mu)$. Предположим противное, что $x(t)$ не пересекает поверхность $t = \theta_1 + \mu\tau_1(x, \mu)$. Тогда функция $\phi_1(t)$ непрерывна на промежутке $[\alpha, \alpha_2]$ и

$$\begin{aligned} \phi(\alpha) &= \alpha - \theta_1 - \mu\tau_1(x(\alpha), \mu) \leq \alpha - \alpha_1 < 0, \\ \phi(\alpha_2) &= \alpha_2 - \theta_1 - \mu\tau_1(x(\alpha_2), \mu) \geq \alpha_2 - \beta_1 > 0. \end{aligned}$$

Значит, по теореме Коши существует точка ξ_1 такая, что $\phi(\xi_1) = 0$, т.е.

$$\xi_1 = \theta_1 + \mu\tau_1(x(\xi_1), \mu), \tag{7}$$

$\xi_1 \in [\alpha_1, \beta_1]$. Точка $t = \xi_1$ является по определению точкой разрыва решения $x(t)$ и моментом пересечения решением $x(t)$ поверхности $t = \theta_1 + \mu\tau_1(x, \mu)$.

Пусть теперь $t = \xi_1^k$, последняя точка встречи решения $x(t)$ и поверхности $t = \theta_1 + \mu\tau_1(x, \mu)$.

Построим функцию $\phi_2(t) = t - \theta_2 - \mu\tau_2(x(t), \mu)$. Рассматривая $\phi_2(t)$ на промежутке $[\xi_2^0, \alpha_3]$, где точка $\xi_2^0 \in (\beta_1, \alpha_2)$, также, как и функцию $\phi_1(t)$ на $[\alpha, \alpha_2]$, докажем существование точки $t = \xi_2$ встречи $x(t)$ с поверхностью $t = \theta_2 + \mu\tau_2(x, \mu)$. Продолжая этот процесс, получим полное доказательство леммы.

Для того, чтобы получить условие, предположим теперь, дополнительно, что существует постоянная $L \in R, L > 0$, такая, что равномерно в области G_H

$$\begin{aligned} \|g(t, x_1, u_1, v^1, \mu) - g(t, x_2, u_2, v^2, \mu)\| &\leq L\{\|x_1 - x_2\| + \|u_1 - u_2\| + \|v^1 - v^2\|\}, \\ \|W_i(x_1, v^1, \mu) - W_i(x_2, v^2, \mu)\| &\leq L\{\|x_1 - x_2\| + \|v^1 - v^2\|\}, \\ |\tau_i(x_1, \mu) - \tau_i(x_2, \mu)| &\leq L\|x_1 - x_2\|. \end{aligned} \quad (8)$$

Обозначим $\gamma(\mu) = m_1 H(2 + (\beta - \alpha)) + m_2 + \mu m_3$.

Лемма 2. Пусть система (1) определена в области G_H и $\mu < \mu_2$, где

$$\mu_2 \leq \mu_1 \text{ и } \mu_2 L \gamma(\mu_2) < 1 \quad (9)$$

Тогда, если

$$\tau_i(x, \mu) \geq \tau_i((E + B_i + D_{ii})x + \sum_{j=1}^{i-1} D_{ij}x^{(j)} + Q_i v_i + I_i + \mu W_i(x, v, \mu), \mu), \quad (10)$$

для всех $\|x\| < H, \|x^{(j)}\| < H, j = 1, 2, \dots, i-1$, и $\|v\| < H$, тогда каждое решение $x(t)$ уравнения (1) встречает любую из поверхностей разрыва $t = \theta_i + \mu \tau_i(x, \mu)$, $i = \overline{1, p}$, не больше, чем один раз.

Доказательство. Фиксируем $i = \overline{1, p}$ и предположим противное, что решение $x(t)$ уравнения (1) пересекает поверхность $t = \theta_i + \mu \tau_i(x, \mu)$, дважды в моменты времени $t = \xi_i^1, t = \xi_i^2, \xi_i^1 < \xi_i^2$. На промежутке $(\xi_i^1, \xi_i^2]$ верно, что

$$\begin{aligned} x(t) &= x(\xi_i^1) + B_i x(\xi_i^1) + \sum_{\alpha < \xi_j < \xi_i} D_{ij} x(\xi_j) + Q_i v_i + I_i + \mu W_i(x(\xi_i^1), v_i, \mu) + \\ &+ \int_{\xi_i^1}^t [A(s)x(s) + \int_{\alpha}^s K(s, \sigma)x(\sigma)d\sigma + C(s)u(s) + f(s) + \mu g(s, x(s), u(s), \mu)] ds. \end{aligned} \quad (11)$$

Теперь, применив (8), (9), (10) и (11), найдем, что

$$\xi_i^2 - \xi_i^1 = \theta_i + \mu \tau_i(x(\xi_i^2), \mu) - \theta_i - \mu \tau_i(x(\xi_i^1), \mu) \leq \mu L \gamma(\mu) (\xi_i^2 - \xi_i^1)$$

или

$$(\xi_i^2 - \xi_i^1)(1 - \mu L \gamma(\mu)) \leq 0,$$

так как согласно условию (9) $1 - \mu L \gamma(\mu) > 0$, то $\xi_i^2 - \xi_i^1 \leq 0$, а это противоречит предположению $\xi_i^2 > \xi_i^1$. Лемма доказана.

Дискуссия

Исследование краевых задач управления для квазилинейных интегро-дифференциальных систем с импульсным воздействием активно развивается, отражая сложность и многообразие динамических процессов в различных областях науки и техники.

Современные системы, будь то биологические, экономические или технические, часто характеризуются сложной структурой, включающей как непрерывные, так и дискретные процессы, что требует применения математических моделей, способных точно отражать их поведение, импульсные воздействия в таких системах играют важную роль, так как позволяют моделировать явления, связанные с внезапными изменениями или событиями.

Кроме того, квазилинейные интегро-дифференциальные уравнения с импульсным воздействием предоставляют универсальный подход к описанию систем с наследственными эффектами и сложной временной динамикой. Это делает их незаменимыми в исследованиях, связанных с прогнозированием поведения систем, анализом устойчивости и разработкой эффективных стратегий управления.

Таким образом, данное направление исследований находится на стыке фундаментальной математики и прикладных задач, что делает его востребованным и перспективным как для теоретиков, так и для практиков, работающих в различных областях.

Заклучение

В статье рассмотрена задача управления краевой задачей для квазилинейной системы интегро-дифференциальных уравнений с импульсным воздействием. Особенностью случая, который рассматривается в работе является то, что слабые нелинейные возмущения включены не только в правую часть уравнений, но и в уравнения для определения моментов импульсного воздействия. Доказаны в виде леммы, при каких условиях каждое решение искомого интегро-дифференциального уравнения, пересекает поверхность по меньшей мере один раз.

Благодарность

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (ИРН АР23487275)

Список использованных источников

- [1] Rodríguez F., López J.C.C., Castro M.A. *Models of Delay Differential Equations*. MDPI; Basel, Switzerland: 2021.
- [2] S.A. Aisagaliev, A.P. Belogurov. *Controllability and speed of the process described by a parabolic equation with bounded control* // *Siberian Mathematical Journal*, Vol. 53, No. 1, 2012, pp. 13-28.
- [3] S.A. Aisagaliev. *Controllability theory of the dynamic systems*. – Almaty, Kazakh university, 2014. – 158 p.
- [4] S.A. Aisagaliev. *Lectures on optimal control*. – Almaty: Kazakh university, 2007. – 278 p.
- [5] [Aisagaliev, S.](#), [Zhunussova Z.](#), [Akca H.](#) Construction of a solution for optimal control problem with phase and integral constraints // *International Journal of Mathematics and Physics*, 2019, 10(1), P. 11–22
- [6] Akhmet M.U. [Principles of discontinuous dynamical systems](#). Springer, New-York, 2010.
- [7] S.A. Aisagaliev, I.V. Sevrugin. *Controllability and high-speed performance of processes described by ordinary differential equations* // *Bulletin KazNU*, – 2014, No. 2(81), pp. 20-37.
- [8] Айсәгәлиев С.А., Бияров Т.Н., Калимолдаев М.Н. Управляемость сложных электрических силовых систем // *Управление динамических систем/ Сб. научн. тр. КазГУ*. - Алма-Ата, 1987.- С. 9 - 13, 92.
- [9] Akhmet M., Cag S. *Chattering as a Singular Problem*. *Nonlinear Dynamics*, 2017; 90(4): P. 2797–2812.
- [10] Akhmet M., Dauylbayev M., Mirzakulova A. A singularly perturbed differential equation with piecewise constant argument of generalized type, *Turkish Journal of Mathematics* 2018; 42(4): 1680-1685.
- [11] Dzhumabaev D.S. Solvability of a Linear Boundary Value Problem for a Fredholm Integro-Differential Equation with Impulsive Inputs, *Differential Equations*. Vol. 51, No. 9 (2015), P. 1180–1196.
- [12] Bekbauova A. CMMSE: Solutions in a Broad Sense to the Boundary Value Problem for First Order Partial Differential System, *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 2024, <https://doi.org/10.1002/mma.10669>
- [13] Assanova A.T., Kadirbayeva Zh.M. Periodic problem for an impulsive system of the loaded hyperbolic equations, *Nonlin. Anal.*, Vol. 72 (2018), 1–8.
- [14] Mynbayeva S.T., Assanova A.T., Uteshova R.E. A Solution to a Linear Boundary Value Problem for an Impulsive Integro-Differential Equation, *Differential Equations and Dynamical Systems*, (2023). DOI: [10.21203/rs.3.rs-2465621/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2465621/v1)
- [15] Bakirova E.A., Iskakova N.B., Kadirbayeva Z.M. Numerical implementation for solving the boundary value problem for impulsive integro-differential equations with parameter, *KazNU Bulletin. Mathematics, Mechanics, Computer Science Series*, Vol. 119, No. 3 (2023), 19–29. DOI: <https://doi.org/10.26577/JMMCS2023v119i3a2>
- [16] Barbu V., Iannelli M., Martcheva M. On the controllability of the Lotka-McKendrick model of population dynamics.// *J. Math. Anal. Appl.*- Vol.253(2001), № 1.-P. 142 - 165.

- [17] Ройтенберг Е.Я. Достаточные условия управляемости для нелинейных систем // Вестник МГУ. Сер. I. математика и механика - 1969, №24.- С. 28-33.
- [18] Крылов Н.М., Боголюбов Н.Н. Введение в нелинейную механику. -К.: Изд-во АН УССР, 1937.- 365 с.
- [19] Мышкис А.Д., Самойленко А.М. Системы с толчками в заданные моменты времени // Математический сб.- 1967.- Т. 74, вып. 2.- С. 202-208.
- [20] Самойленко А.М., Перестюк Н.А. Дифференциальные уравнения с импульсным воздействием // К.: Вища шк., 1987. -287 с.
- [21] Yuldashev T.K., Odinaev R.N., Zarifzoda S.K. On exact solutions of a class of singular partial integro-differential equations, *Lobachevskii Journal of Mathematics*. 2021. Vol. 42. №3. P. 676-684., <https://doi.org/10.1134/S1995080221030240>
- [22] Yuldashev T.K., Fayziyev A.K. Determination of the coefficient function in a Whitham type nonlinear differential equation with impulse effects, *Nanosystems: Physics. Chemistry. Mathematics*, №14, 3 (2023), 312–320, <https://doi.org/10.17586/2220-8054-2023-14-3-312-320>
- [23] Akhmet M., Tleubergenova M., Seilova R., Nugayeva Z. Symmetrical Impulsive Inertial Neural Networks with Unpredictable and Poisson-Stable Oscillations, *Symmetry*, 2023, 15(10), 1812, <https://doi.org/10.3390/sym15101812>
- [24] Akhmet M., Aviltay N., Dauylbayev M. & Seilova R. A case of impulsive singularity. *Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science*, (2023). 117(1). <https://doi.org/10.26577/JMMCS.2023.v117.i1.0>
- [25] N. Aviltay, M. Akhmet and A. Zhamanshin, Asymptotic solutions of differential equations with singular impulses. *Carpathian Journal of Mathematics*, vol. 40, no. 3, pp. 581–598, 2024, <https://doi.org/10.37193/cjm.2024.03.02>

References

- [1] Rodríguez F., López J.C.C., Castro M.A. *Models of Delay Differential Equations*. MDPI; Basel, Switzerland: 2021.
- [2] S.A. Aisagaliev, A.P. Belogurov. Controllability and speed of the process described by a parabolic equation with bounded control // *Siberian Mathematical Journal*, Vol. 53, No. 1, 2012, pp. 13-28.
- [3] S.A. Aisagaliev. *Controllability theory of the dynamic systems*. – Almaty, Kazakh university, 2014. – 158 p.
- [4] S.A. Aisagaliev. *Lectures on optimal control*. – Almaty: Kazakh university, 2007. – 278 p.
- [5] Aisagaliev S., Zhunussova Z., Akca H. Construction of a solution for optimal control problem with phase and integral constraints // *International Journal of Mathematics and Physics*, 2019, 10(1), P. 11–22
- [6] Akhmet M.U. *Principles of discontinuous dynamical systems*, Springer, New-York, 2010.
- [7] S.A. Aisagaliev, I.V. Sevrugin. Controllability and high-speed performance of processes described by ordinary differential equations // *Bulletin KazNU*, – 2014, No. 2(81), pp. 20-37.
- [8] Aisagaliev S.A., Biyarov T.N., Kalimoldaev M.N. Controllability of complex electrical power systems // *Management of dynamic systems / Sat. scientific tr. KazGU*. - Alma-Ata, 1987.- P. 9 - 13, 92.
- [9] Akhmet M., Cag, S. Chattering as a Singular Problem, *Nonlinear Dynamics* 2017; 90(4): 2797–2812.
- [10] Akhmet M., Dauylbayev M., Mirzakulova A. A singularly perturbed differential equation with piecewise constant argument of generalized type, *Turkish Journal of Mathematics* 2018; 42(4): 1680-1685.
- [11] Dzhumabaev D.S. Solvability of a Linear Boundary Value Problem for a Fredholm Integro-Differential Equation with Impulsive Inputs, *Differential Equations*. Vol. 51, No. 9 (2015), 1180–1196.
- [12] Bekbauova A., CMMSE: Solutions in a Broad Sense to the Boundary Value Problem for First Order Partial Differential System, *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 2024, <https://doi.org/10.1002/mma.10669>
- [13] Assanova A.T., Kadirbayeva Zh.M. Periodic problem for an impulsive system of the loaded hyperbolic equations, *Nonlin. Anal.*, Vol. 72 (2018), 1–8.
- [14] Mynbayeva S.T., Assanova A.T., Uteshova R.E. A Solution to a Linear Boundary Value Problem for an Impulsive Integro-Differential Equation, *Differential Equations and Dynamical Systems*, (2023). DOI: [10.21203/rs.3.rs-2465621/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2465621/v1)
- [15] Bakirova E.A., Iskakova N.B., Kadirbayeva Z.M. Numerical implementation for solving the boundary value problem for impulsive integro-differential equations with parameter, *KazNU Bulletin. Mathematics*,

Mechanics, Computer Science Series, Vol. 119, No. 3 (2023), 19–29. DOI: <https://doi.org/10.26577/JMMCS2023v119i3a2>

[16] Barbu V., Iannelli M., Martcheva M. On the controllability of the Lotka-McKendrick model of population dynamics. // *J. Math. Anal. Appl.*- Vol.253(2001), № 1.-P. 142 - 165.

[17] Roitenberg E.Ya. Sufficient controllability conditions for nonlinear systems // *Bulletin of Moscow State University. Ser.1. mathematics and mechanics* - 1969, No. 24.- P. 28-33.

[18] Krylov N.M., Bogolyubov N.N. *Introduction to nonlinear mechanics.* -K.: Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1937.- 365 p.

[19] Myshkis A.D., Samoilenko A.M. Systems with shocks at given times // *Mathematical collection* - 1967. - T. 74, issue. 2.- pp. 202-208.

[20] Samoilenko A.M., Perestyuk N.A. *Differential equations with impulse action* //- K.: Vishcha school, 1987. -287 p.

[21] Yuldashev T.K., Odinaev R. N., Zarifzoda S. K. On exact solutions of a class of singular partial integro-differential equations, *Lobachevskii Journal of Mathematics.* 2021. Vol. 42. № 3. P. 676-684., <https://doi.org/10.1134/S1995080221030240>

[22] Yuldashev T.K., Fayziyev A.K. Determination of the coefficient function in a Whitham type nonlinear differential equation with impulse effects, *Nanosystems: Physics. Chemistry. Mathematics*, №14, 3 (2023), 312–320, <https://doi.org/10.17586/2220-8054-2023-14-3-312-320>

[23] Akhmet, M., Tleubergenova, M., Seilova, R., Nugayeva, Z. Symmetrical Impulsive Inertial Neural Networks with Unpredictable and Poisson-Stable Oscillations, *Symmetry*, 2023, 15(10), 1812, <https://doi.org/10.3390/sym15101812>

[24] Akhmet, M., Aviltay, N., Dauylbayev, M., & Seilova, R. A case of impulsive singularity. *Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science*, 2023. 117(1). <https://doi.org/10.26577/JMMCS.2023.v117.i1.0>

[25] N. Aviltay, M. Akhmet and A. Zhamanshin. Asymptotic solutions of differential equations with singular impulses. *Carpathian Journal of Mathematics*, vol. 40, no. 3, pp. 581–598, 2024, <https://doi.org/10.37193/cjm.2024.03.02>

Е. Төлеуғазы^{1*}, Қ.Е. Кервенев², С.А. Искаков²

¹М.В. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университетінің Қазақстан филиалы,
Астана қ., Қазақстан

²Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды қ., Қазақстан
*e-mail: toleugazy.yerzhan@gmail.com

ЖАЛПЫЛАНҒАН АРАЛАС ТЕГІСТІГІ БАР НИКОЛЬСКИЙ-БЕСОВ КЕҢІСТІГІНІҢ ШЕКАРАЛЫҚ ФУНКЦИЯЛАРЫ

Аңдатпа

Дифференциалданатын функциялар кеңістіктерінің енулер теоремасы әртүрлі метрикалардағы функциялардың тегістік қасиеттерінің маңызды байланыстары мен қатынастарын зерттейді. Математикалық физиканың шектік есептер теориясында, жуықтау теориясында және аралас метрикасы бар Никольский-Бесовтың кеңістіктері үшін және Лоренцтің анизотропты кеңістіктері үшін ену теоремалары берілген. Ұсынылған жұмыста жоғарыда көрсетілген теоремалардағы параметрлердің жетілдірілмейтіндігі көрсетілді. Осыны көрсетуге біз сол жақтағы енулердегі кеңістіктер үшін шекті функцияларды құрамыз және олар оң жақтағы енулерде «сәл ғана жіңішкертілген» кеңістіктерде жатпайтындығы көрсетілген.

Түйін сөздер: Никольский-Бесов типтес кеңістіктер, басым аралас тегістік, аралас метрика, Лоренцтің анизотропты кеңістіктері, ену теоремалары.

Е. Төлеуғазы¹, Қ.Е. Кервенев², С.А. Искаков²

¹Казахстанский филиал Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова,
г. Астана, Казахстан

²Карагандинский университет имени академика Е. А. Букетова, г. Караганды, Казахстан

ГРАНИЧНЫЕ ФУНКЦИИ ПРОСТРАНСТВ НИКОЛЬСКОГО-БЕСОВА С ОБОЩЕННОЙ СМЕШАННОЙ ГЛАДКОСТЬЮ

Аннотация

Теория вложения пространств дифференцируемых функций многих переменных изучает важные связи и соотношения между их гладкостными и метрическими свойствами и имеет широкое применение в различных разделах чистой математики и ее приложениях. Ранее нами получены предельные теоремы вложения рахных метрик для пространств Никольского-Бесова с доминирующей смешанной гладкостью и со смешанной метрикой и для анизотропных пространств Лоренца. В данной работе мы показали, что условия на параметры пространств в отмеченных выше теоремах являются неулучшаемыми. Для этого мы построили крайние функций, входящие в пространства в левых частях вложений и не входящие в «немного зауженные» пространства, чем пространства, стоящие в правых частях вложений.

Ключевые слова: пространства Никольского-Бесова, доминирующая смешанная производная, смешанная метрика, анизотропные пространства Лоренца, теоремы вложения.

Y. Toleugazy¹, K.Y. Kervenev², S.A. Iskakov²

¹Kazakhstan Branch of Lomonosov Moscow State University, Astana, Kazakhstan;

²Karagandinsky University named after academician E. A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan

BOUNDARY FUNCTIONS OF NIKOLSKY-BESOV SPACES WITH SMOOTH MIXED SMOOTHNESS

Abstract

The embedding theory of spaces of differential functions of many variables studies important connections and relationships between smooth and metric properties of functions and has wide application in various branches of pure mathematics and its applications. Earlier, we obtained the embedding theorems of different

metrics for Nikolsky-Besov spaces with dominant mixed smoothness and mixed smoothness and mixed metric, and anisotropic Lorentz spaces. In this work, we showed that the conditions for the parameters of spaces from the theorems are unimprovable. To do this, we built the extreme functions included in the spaces from the left sides of the embeddings and not included in the "slightly narrowed" spaces from the spaces in the right parts of the embeddings.

Keywords: anisotropic Nikolsky-Besov spaces, generalized mixed smoothness, mixed metric, anisotropic Lorentz spaces, embedding theorems.

Кіріспе

Дифференциалдық теңдеулер үшін кеңістіктердің ену теориясының алғашқы нәтижелері С.Л. Соболев [1] еңбектерінде қарастырылған. Әртүрлі метрикадағы функциялардың маңызды тегістік қасиеттерінің қатынастарын осы теория зерттейді. Бұл теорияның ары қарай дамуына, функциялардың жаңа класстарын анықтауға және зерттеуге С.М. Никольский [2], О.В. Бесов [3], П.И. Лизоркин [4], Х. Трибель [5], Й. Берг және Й. Лёфстрем [6] және көптеген басқа ғалымдар үлес қосты. Бұл зерттеулердің дамуына екі нәрсе ықпал етті: олардың теоретикалық мәселелері және олардың математикалық физика шектік есептер теориясында, жуықтау теориясындағы қолданумен байланысты.

1960 жылдары С.М. Никольский [7], А.Д. Джабраилов [8] және Т.И. Аманов [9] жұмыстарында басым аралас туындысы бар кеңістіктер қарастырыла бастады. Ену және интерполяция теориясымен және жуықтау теориясымен байланысты басым аралас туындысы бар кеңістіктерді зерттеулер А.П. Унинский, Е.Д. Нурсұлтанов, К.А. Бекмаганбетов, Е. Төлеуғазы және басқаларының жұмыстарымен байланысты (мысалы, [10]-[14] қараңыз).

Никольский–Бесовтың басым аралас туындысы және аралас метрикасы бар кеңістіктер қасиеттерін [11]-[13] мақалаларда қарастырдық. Бұл мақалаларда біз осы кеңістіктердің интерполяциялық қасиеттерін зерттедік, осы кеңістіктер мен анизотропты Лоренц кеңістіктері үшін шектік ену теоремаларын алдық және функциялардың іздері мен жалғасы үшін теоремаларды дәлелдедік.

К.А. Бекмаганбетов, Қ.Е. Кервенев, Е. Төлеуғазының [12] мақаласында басым аралас туындысы және аралас метрикасы бар Никольский–Бесов кеңістіктері және анизотропты Лоренц кеңістіктері үшін енулері зерттелді. Бұл мақалада [12] жұмыстағы ену теоремаларының шарттары жақсартылмайтындығын көрсетеміз. Ол үшін біз шеттік функцияларды құрамыз. Құрылған функциялар енудің сол жағына тиісті болады, ал «сәл тарылған» оң жақтағы кеңістікке тиісті болмай қалады.

Алдын-ала қажет нәтижелер

Айталық $1 \leq p = (p_1, \dots, p_n) \leq \infty$ болсын. Аралас метрикадағы $L_p(\mathbb{T}^d)$ Лебег кеңістігі деп

$$\|f\|_{L_p(\mathbb{T}^d)} = \left(\int_{\mathbb{T}^{d_n}} \left(\dots \left(\int_{\mathbb{T}^{d_1}} |f(x_1, \dots, x_n)|^{p_1} dx_1 \right)^{\frac{p_2}{p_1}} \dots \right)^{\frac{p_n}{p_{n-1}}} dx_n \right)^{\frac{1}{p_n}}$$

нормасы ақырлы болатын \mathbb{T}^d -да өлшенетін барлық $f(x) = f(x_1, \dots, x_n)$ функциялар жиынын айтамыз, $p_i = \infty$ болғанда $\left(\int_{\mathbb{T}^{d_i}} (|f(x_i)|)^{p_i} dx_i \right)^{\frac{1}{p_i}}$ өрнегі $\text{ess sup}_{x_i \in \mathbb{T}^{d_i}} |f(x_i)|$ ретінде түсініледі.

$f \sim \sum_{k \in \mathbb{Z}^d} a_k e^{i(k,x)_d}$ тригонометриялық қатары үшін

$$\Delta_s(f, x) = \sum_{k \in \rho(s)} a_k e^{i(k,x)_d}$$

арқылы белгілейміз, мұндағы $\langle k, x \rangle_d = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{d_i} k_i^j x_i^j$ – скаляр көбейтінді, ал $\rho(s) = \left\{ k = (k_1, \dots, k_n) \in \mathbb{Z}^d: [2^{s_i-1}] \leq \max_{j=1, \dots, d_i} |k_j^i| < 2^{s_i}, i = 1, \dots, n \right\}$ және $[a]$ – a санының бүтін бөлігі.

[14] мақаласының аналогиясы бойынша $B_p^{\alpha q}(\mathbb{T}^d)$ Никольский–Бесов анизотропты кеңістігі деп айтамыз, егер $f \sim \sum_{k \in \mathbb{Z}^d} a_k e^{i\langle k, x \rangle_d}$ қатарлар жиыны үшін

$$\|f\|_{B_p^{\alpha q}(\mathbb{T}^d)} = \left\| \left\{ 2^{(\alpha, s)} \|\Delta_s(f, \cdot)\|_{L_p(\mathbb{T}^d)} \right\} \right\|_{l_q}$$

нормасы ақырлы болса. Мұнда, $\|\cdot\|_{l_q}$ – аралас метрикасы бар дискретті Лебег кеңістігінің нормасы.

[12] жұмысында келесі ену теоремалары алынды. Оларды қарастыра алдында анизотропты Лоренц кеңістігінің анықтамасын келтірейік. Нормасы ақырлы болатын

$$\begin{aligned} \|f\|_{L_{pr}(\mathbb{T}^d)} &= \\ &= \left(\int_0^{(2\pi)^{d_n}} \left(t_n^{1/p_n} \dots \left(\int_0^{(2\pi)^{d_1}} \left(t_1^{p_1} f^{*1, \dots, *n}(t_1, \dots, t_n) \right)^{r_1} \frac{dt_1}{t_1} \right)^{r_2/r_1} \dots \right)^{r_n/r_{n-1}} \frac{dt_n}{t_n} \right)^{1/r_n} < \infty \end{aligned}$$

функциялар тізбектері анизотропты Лоренц кеңістігін құрайды.

Теорема А. Айталық $-\infty < \alpha_0 = (\alpha_1^0, \dots, \alpha_n^0) < \alpha_1 = (\alpha_1^1, \dots, \alpha_n^1) < \infty$, $1 \leq q = (q_1, \dots, q_n) \leq \infty$ және $1 \leq p_0 = (p_1^0, \dots, p_n^0), p_1 = (p_1^1, \dots, p_n^1) < \infty$. Онда $\alpha_0 - \frac{d}{p_0} = \alpha_1 - \frac{d}{p_1}$ үшін келесі ену орындалады

$$B_{p_1}^{\alpha_1 q}(\mathbb{T}^d) \hookrightarrow B_{p_0}^{\alpha_0 q}(\mathbb{T}^d).$$

Теорема В. Айталық $1 < p = (p_1, \dots, p_n) < q = (q_1, \dots, q_n) < \infty$ және $1 \leq \tau = (\tau_1, \dots, \tau_n) \leq \infty$ болсын. Онда келесі ену

$$B_p^{\alpha \tau}(\mathbb{T}^d) \hookrightarrow L_{q\tau}(\mathbb{T}^d)$$

$\alpha = (1/p - 1/q)d$ үшін орындалады.

Теорема С. Айталық $1 < q = (q_1, \dots, q_n) < p = (p_1, \dots, p_n) < \infty$ және $1 \leq \tau = (\tau_1, \dots, \tau_n) \leq \infty$ болсын. Онда $\alpha = (1/p - 1/q)d$ үшін келесі ену орындалады

$$L_{q\tau}(\mathbb{T}^d) \hookrightarrow B_p^{\alpha \tau}(\mathbb{T}^d).$$

Негізгі нәтижелер

Келесі теорема А теоремасында ену жарамды болатын жағдайдың жақсармағанын көрсетеді.

Теорема 1. Айталық $-\infty < \alpha_0 = (\alpha_1^0, \dots, \alpha_n^0) < \alpha_1 = (\alpha_1^1, \dots, \alpha_n^1) < \infty$, $1 \leq \tau = (\tau_1, \dots, \tau_n) \leq \infty$, $1 \leq p_0 = (p_1^0, \dots, p_n^0), p_1 = (p_1^1, \dots, p_n^1) < \infty$ және $\alpha_0 - \frac{d}{p_0} = \alpha_1 - \frac{d}{p_1}$. Онда кез келген $\varepsilon = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n) > 0$ және $\delta = (\delta_1, \dots, \delta_n) > 0$ үшін, $f_\beta^{(1)} \notin B_{p_0}^{(\alpha_0 + \varepsilon)\tau}(\mathbb{T}^d) \cup B_{(p_0 + \delta)}^{\alpha_0 \tau}(\mathbb{T}^d)$ болатындай $f_\beta^{(1)} \in B_{p_1}^{\alpha_1 \tau}(\mathbb{T}^d)$ функция бар болады.

Дәлелдеуі. Бір өлшемді Дирихле ядросының нормасы үшін болжамды ескере отырып, алатын қатынасымыз

$$\left\| \sum_{k=2^{s-1}}^{2^s-1} e^{i(k,\cdot)} \right\|_{L_p(\mathbb{T}^d)} \sim 2^{(1/p',s)}, 1 < p < +\infty.$$

Айталық $\sigma_s(x) = \sum_{k \in \rho(s)} e^{i(k,x)_d}$ болсын. Осы қатынастан бізде бары

$$\|\sigma_s(\cdot)\|_{L_p(\mathbb{T}^d)} = \|\sum_{k \in \rho(s)} e^{i(k,x)_d}\|_{L_p(\mathbb{T}^d)} \sim 2^{(d/p',s)}. \quad (1)$$

Келесі $f_\beta^{(1)}(x) = \sum_{s=0}^{\infty} 2^{-(\beta,s)} \sigma_s(x)$ функцияны қарастайық, мұндағы

$$\alpha_1 + \frac{d}{p_1'} < \beta < \min\left(\alpha_0 + \varepsilon + \frac{d}{p_0'}, \alpha_0 + \frac{d}{(p_0+\delta)'}\right).$$

(1) бағалауы бойынша бізде бары

$$\begin{aligned} \|f_\beta^{(1)}\|_{B_{p_1'}^{\alpha_1 \tau}(\mathbb{T}^d)} &= \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{(\alpha_1,s)} \|\Delta_s(f_\beta^{(1)})\|_{L_{p_1}(\mathbb{T}^d)} \right)^\tau \right)^{1/\tau} = \\ &= \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{(\alpha_1,s)} 2^{-(\beta,s)} \|\sigma_s(\cdot)\|_{L_{p_1}(\mathbb{T}^d)} \right)^\tau \right)^{1/\tau} = \\ &= \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{(\alpha_1 - \beta + \frac{d}{p_1'},s)} \right)^\tau \right)^{1/\tau} < +\infty \end{aligned}$$

$\alpha_1 - \beta + \frac{d}{p_1'} < 0$ ретінде. Бұл дегеніміз $f_\beta^{(1)} \in B_{p_0}^{\alpha_0 \tau}(\mathbb{T}^d)$.

Сол сияқты, біз мынаны аламыз

$$\begin{aligned} \|f_\beta^{(1)}\|_{B_{p_0}^{(\alpha_0+\varepsilon)\tau}(\mathbb{T}^d)} &= \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{(\alpha_0+\varepsilon,s)} \|\Delta_s(f_\beta^{(1)})\|_{L_{p_0}(\mathbb{T}^d)} \right)^\tau \right)^{1/\tau} \geq \\ &= C_1 \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{(\alpha_0+\varepsilon,s)} 2^{\left(\frac{d}{p_0'} - \beta, s\right)} \right)^\tau \right)^{1/\tau} = \\ &= C_1 \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{(\alpha_0+\varepsilon + \frac{d}{p_0'} - \beta, s)} \right)^\tau \right)^{1/\tau} = +\infty, \end{aligned}$$

$\alpha_0 + \varepsilon + \frac{d}{p_0'} - \beta > 0$ ретінде. Сондықтан $f_\beta^{(1)} \notin B_{p_0}^{(\alpha_0+\varepsilon)\tau}(\mathbb{T}^d)$.

Әрі қарай, $f_\beta^{(1)} \notin B_{p_0+\delta}^{\alpha_0 \tau}(\mathbb{T}^d)$ екенін көрсетеміз

$$\begin{aligned} \|f_{\beta}^{(1)}\|_{B_{p_0+\delta}^{\alpha_0\tau}(\mathbb{T}^d)} &= \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{(\alpha_0,s)} \|\Delta_s(f_{\beta}^{(1)})\|_{L_{p_0+\delta}(\mathbb{T}^d)} \right)^{\tau} \right)^{\frac{1}{\tau}} \geq \\ &= C_2 \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{(\alpha_1,s)} 2^{\left(\frac{d}{(p_0+\delta)'} - \beta, s\right)} \right)^{\tau} \right)^{\frac{1}{\tau}} = \\ &= C_2 \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{\left(\alpha_1 + \frac{d}{(p_0+\delta)'} - \beta, s\right)} \right)^{\tau} \right)^{\frac{1}{\tau}} = +\infty, \end{aligned}$$

$\alpha_1 + \frac{d}{(p_0+\delta)'} - \beta > 0$ ретінде. Сондықтан $f_{\beta}^{(1)} \notin B_{p_0+\delta}^{\alpha_0\tau}(\mathbb{T}^d)$.

Осылайша, біз мынадай нәтиже алдық $f_{\beta}^{(1)} \notin B_{p_0}^{(\alpha_0+\varepsilon)\tau}(\mathbb{T}^d) \cup B_{p_0+\delta}^{\alpha_0\tau}(\mathbb{T}^d)$.

Теорема толық дәлелденді.

Келесі теорема В теоремасында ену жарамды болатын жағдайдың жақсармағанын көрсетеді.

Теорема 2. Айталық $1 < p = (p_1, \dots, p_n) < q = (q_1, \dots, q_n) < \infty$, $1 \leq \tau = (\tau_1, \dots, \tau_n) \leq \infty$ және $\alpha = (1/p - 1/q)d$ болсын. Онда кез келген $\varepsilon = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n) > 0$ үшін $f_{\beta}^{(2)} \notin L_{q+\varepsilon, \tau}(\mathbb{T}^d)$ болатындай $f_{\beta}^{(2)} \in B_p^{\alpha\tau}(\mathbb{T}^d)$ функция бар болады.

Дәлелдеуі. Алдымен $f_{\beta}^{(2)} \in B_p^{\alpha\tau}(\mathbb{T}^d)$ екенін көрсетейік. $f_{\beta}^{(2)} = \sum_{s=0}^{\infty} 2^{-(\beta,s)} \sigma_s(x)$ функцияны қарастайық, мұндағы $\alpha + \frac{d}{p_1} < \beta \leq \frac{d}{(q+\varepsilon)'}$.

1-теоремаға аналогия бойынша, бізде $\alpha + \frac{d}{p_0} - \beta < 0$ үшін

$$\|f_{\beta}^{(2)}\|_{B_p^{\alpha\tau}(\mathbb{T}^d)} \sim \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{\left(\alpha - \beta + \frac{d}{p_0}, s\right)} \right)^{\tau} \right)^{\frac{1}{\tau}} < \infty$$

орындалады. Бұл дегеніміз $f_{\beta}^{(2)} \in B_p^{\alpha\tau}(\mathbb{T}^d)$.

$f_{\beta}^{(2)} \notin L_{q+\varepsilon, \tau}(\mathbb{T}^d)$ екенін көрсету үшін біз С теоремасын қолданамыз. Бізде бары $\frac{d}{(q+\varepsilon)'}$ - $\beta > 0$ үшін

$$\begin{aligned} \|f_{\beta}^{(2)}\|_{L_{q+\varepsilon, \tau}(\mathbb{T}^d)} &\geq \|f_{\beta}^{(2)}\|_{B_{\frac{d}{p} - \frac{d}{q+\varepsilon}}(\mathbb{T}^d)} = \\ &= \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{\left(\frac{d}{p} - \frac{d}{q+\varepsilon}, s\right)} \|\Delta_s(f_{\beta}^{(2)})\|_{L_p(\mathbb{T}^d)} \right)^{\tau} \right)^{\frac{1}{\tau}} = \\ &= C_3 \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{\left(\frac{d}{p} - \frac{d}{q+\varepsilon}, s\right)} 2^{\left(\frac{d}{p'} - \beta, s\right)} \right)^{\tau} \right)^{\frac{1}{\tau}} = \\ &= C_3 \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{\left(\frac{d}{p} + \frac{d}{p'} - \frac{d}{q+\varepsilon} - \beta, s\right)} \right)^{\tau} \right)^{\frac{1}{\tau}} = \end{aligned}$$

$$= C_3 \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{\left(d - \frac{d}{q+\varepsilon} - \beta, s \right)} \right)^\tau \right)^{\frac{1}{\tau}} = C_3 \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{\left(\frac{d}{(q+\varepsilon)^{\tau} - \beta, s \right)} \right)^\tau \right)^{\frac{1}{\tau}} = +\infty,$$

орындалады. Бұл дегеніміз $f_\beta^{(2)} \notin L_{q+\varepsilon, \tau}(\mathbb{T}^d)$.

Теорема толық дәлелденді.

Келесі теорема С теоремасында ену жарамды болатын жағдайдың жақсармағанын көрсетеді.

Теорема 3. Айталық $1 < q = (q_1, \dots, q_n) < p = (p_1, \dots, p_n) < \infty, 1 \leq \tau = (\tau_1, \dots, \tau_n) \leq \infty$ және $\alpha = (1/p - 1/q)d$ болсын. Онда кез келген $\varepsilon = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n) > 0$ және $\delta = (\delta_1, \dots, \delta_n) > 0$ үшін, $f_\beta^{(3)} \notin B_p^{\alpha+\varepsilon, \tau}(\mathbb{T}^d) \cup B_{(p+\delta)}^{\alpha\tau}(\mathbb{T}^d)$ болатындай $f_\beta^{(3)} \in L_{q, \tau}(\mathbb{T}^d)$ функция бар болады.

Дәлелдеуі. $\frac{d}{q'} < \beta \leq \min \left(\alpha + \varepsilon + \frac{d}{p'}, \alpha + \frac{d}{(p+\delta)'} \right)$ шартын қанағаттандыратын β мен 1-теоремадағыдай $f_\beta^{(3)}(x)$ функциясын таңдайық.

$f_\beta^{(3)} \in L_{q, \tau}(\mathbb{T}^d)$ екенін көрсету үшін біз В теоремасын қолданамыз. Бізде бары $\frac{1}{q'} - \beta < 0$ үшін

$$\begin{aligned} \|f_\beta^{(3)}\|_{L_{q, \tau}(\mathbb{T}^d)} &\leq C_4 \|f_\beta^{(3)}\|_{B_p^{\left(\frac{d}{p} - \frac{d}{q}\right)\tau}(\mathbb{T}^d)} = \\ &= C_4 \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{\left(\frac{d}{p} - \frac{d}{q}, s\right)} \|\Delta_s(f_\beta^{(3)})\|_{L_p(\mathbb{T}^d)} \right)^\tau \right)^{\frac{1}{\tau}} \leq \\ &\leq C_5 \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{\left(\frac{d}{p} - \frac{d}{q}, s\right)} 2^{-\beta + \frac{d}{p'}, s} \right)^\tau \right)^{\frac{1}{\tau}} = \\ &= C_5 \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{\left(\frac{d}{p} + \frac{d}{p'} - \beta - \frac{d}{q}, s\right)} \right)^\tau \right)^{\frac{1}{\tau}} = \\ &= C_5 \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{\left(d - \frac{d}{q} - \beta, s\right)} \right)^\tau \right)^{\frac{1}{\tau}} = C_5 \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{\left(\frac{d}{q'} - \beta, s\right)} \right)^\tau \right)^{\frac{1}{\tau}} < +\infty, \end{aligned}$$

орындалады, яғни $f_\beta^{(3)} \in L_{q, \tau}(\mathbb{T}^d)$.

Енді $f_\beta^{(3)} \notin B_p^{\alpha+\varepsilon, \tau}(\mathbb{T}^d)$ екенін көрсетейік. Бұл функцияның нормасын төменнен бағалайық

$$\begin{aligned} \|f_\beta^{(3)}\|_{B_p^{\alpha+\varepsilon, \tau}(\mathbb{T}^d)} &= \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{(\alpha+\varepsilon, s)} \|\Delta_s(f_\beta^{(3)})\|_{L_p(\mathbb{T}^d)} \right)^\tau \right)^{\frac{1}{\tau}} \geq \\ &\geq C_6 \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{(\alpha+\varepsilon, s)} 2^{\left(\frac{d}{p'} - \beta, s\right)} \right)^\tau \right)^{\frac{1}{\tau}} = \\ &= C_6 \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{\left(\alpha+\varepsilon + \frac{d}{p'} - \beta, s\right)} \right)^\tau \right)^{\frac{1}{\tau}} = +\infty, \end{aligned}$$

$\alpha + \varepsilon + \frac{d}{p'} - \beta > 0$ ретінде, яғни $f_\beta^{(3)} \in B_p^{(\alpha+\varepsilon),\tau}(\mathbb{T}^d)$.

Әрі қарай, біз $f_\beta^{(3)} \notin B_{(p+\delta)}^{\alpha\tau}(\mathbb{T}^d)$ екенін көрсетеміз. $\alpha + \frac{d}{(p+\delta)'} - \beta > 0$ екенін ескере отырып, бізде бары

$$\begin{aligned} \|f_\beta^{(3)}\|_{B_{(p+\delta)}^{\alpha\tau}(\mathbb{T}^d)} &= \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{(\alpha,s)} \|\Delta_s(f_\beta^{(3)})\|_{L_{(p+\delta)}(\mathbb{T}^d)} \right)^\tau \right)^{\frac{1}{\tau}} \geq \\ &\geq C_7 \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{(\alpha,s)} 2^{\left(\frac{d}{(p+\delta)'} - \beta, s\right)} \right)^\tau \right)^{\frac{1}{\tau}} = \\ &= C_7 \left(\sum_{s=0}^{\infty} \left(2^{\left(\alpha + \frac{d}{(p+\delta)'} - \beta, s\right)} \right)^\tau \right)^{\frac{1}{\tau}} = +\infty, \end{aligned}$$

орындалады, онда $f_\beta^{(3)} \notin B_{(p+\delta)}^{\alpha\tau}(\mathbb{T}^d)$.

Осылайша, біз $f_\beta^{(3)} \notin B_p^{\alpha+\varepsilon,\tau}(\mathbb{T}^d) \cup B_{(p+\delta)}^{\alpha\tau}(\mathbb{T}^d)$ екенін көрсеттік.

Теорема толық дәлелденді.

Қорытынды

К.А. Бекмаганбетов, Қ.Е. Кервенев және Е. Төлеуғазының [12] мақаласында басым аралас туындысы және аралас метрикасы бар Никольский–Бесов кеңістіктері және анизотропты Лоренц кеңістіктері үшін енулері алынды. Ұсынылған жұмыста жоғарыда көрсетілген теоремалардағы параметрлердің жетілдірілмейтіндігі көрсетілді. Осыны көрсетуге біз сол жақтағы енулердегі кеңістіктер үшін шекті функцияларды құрамыз және олар оң жақтағы енулерде «сәл ғана жіңішкертілген» кеңістіктерде жатпайтындығы көрсетілген.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

- [1] Sobolev S.L. On a theorem of functional analysis // Amer. Math. Soc. Transl., Ser. 2. – 1938. – V. 34. – P. 39–68.
- [2] Nikol'skii S.M. Approximation of functions of several variables and imbedding theorems. Heidelberg: Springer–Verlag, 1975. – 418 p.
- [3] Besov O.V. Integral representations of functions and imbedding theorems. New York – Toronto – London: J. Wiley and Sons, 1979. – 311p.
- [4] Лизоркин П.И. Пространства $L_p^r(\Omega)$. Теоремы продолжения и вложения // ДАН СССР. –1962. – Т.145, №3. – С. 527–530.
- [5] Triebel H. Theory of interpolation, function spaces, differential operators. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1978. –528 p.
- [6] Bergh J., Löfstrom J. Interpolation spaces. An introduction. Berlin – Heidelberg – New York: Springer–Verlag, 1976. –207 p.
- [7] Никольский С.М. Функции с доминирующей смешанной производной, удовлетворяющей кратному условию Гёльдера // Сиб. мат. журн., –1963. –Т. 4, № 6. – С. 1342–1364.
- [8] Джабраилов А.Д. О некоторых функциональных пространствах. Прямые и обратные теоремы вложения // ДАН СССР. –1964. – Т. 159, № 2. – С. 254–257.
- [9] Аманов Т.И. Теоремы представления и вложения для функциональных пространств $S_{p\theta}^{(r)}B(\mathbb{R}^n)$ и $S_{p\theta}^{(r)}B(0 \leq x_j \leq 2\pi)$ // Тр. МИАН СССР. –1965. – Т. 77. – С. 5–34.
- [10] Унинский А.П. Теоремы вложения для класса функций со смешанной нормой // ДАН СССР. – 1966. – Т. 166, № 4. – С. 806–808.

[11] Bekmaganbetov K.A., Kervenev K.Ye., Toleugazy Ye. *Interpolation theorem for Nikol'skii–Besov type spaces with mixed metric* // *Bulletin of the Karaganda university. Mathematics series.* –2020. – No. 4 (100). – P. 33–42. <https://doi.org/10.31489/2020M4/33-42>

[12] Bekmaganbetov K.A., Kervenev K.Ye., Toleugazy Ye. *The embedding theorems for Nikol'skii–Besov spaces with generalized mixed smoothness* // *Bulletin of the Karaganda university. Mathematics series.* –2021. – No. 4 (104). – P. 28–34. <https://doi.org/10.31489/2021M4/28-34>

[13] Bekmaganbetov K.A., Kervenev K.Ye., Toleugazy Ye. *The theorems about traces and extensions for functions from Nikol'skii–Besov spaces with generalized mixed smoothness* *Bulletin of the Karaganda university. Mathematics series.* – 2022. – No. 4 (108). – P. 42–50. <https://doi.org/10.31489/2022M4/42-50>

[14] Нурсултанов Е.Д. *Интерполяционные теоремы для анизотропных функциональных пространств и их приложения* // *ДАН СССР* – 2004. –Т. 394, № 1. – С. 22–25.

References

[1] Sobolev S.L. (1938) *On a theorem of functional analysis.* Amer. Math. Soc. Transl., Ser. 2, 34, 39–68.

[2] Nikol'skii S.M. (1975) *Approximation of functions of several variables and imbedding theorems.* Heidelberg: Springer–Verlag. – 418 p.

[3] Besov O.V. (1979) *Integral representations of functions and imbedding theorems.* New York – Toronto – London: J.Wiley and Sons. – 311p.

[4] Lizorkin P.I. (1962) *Prostranstva $L_p^r(\Omega)$. Teoremy prodolzheniya i vlozheniya [$L_p^r(\Omega)$ spaces. Extension and imbedding theorems].* *Doklady Akademii nauk SSSR* 145 (3), 527–530 (in Russian).

[5] Triebel H. (1978) *Theory of interpolation, function spaces, differential operators.* Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften. –528 p.

[6] Bergh J., Löfström J. (1976) *Interpolation spaces. An introduction.* Berlin – Heidelberg – New York: Springer–Verlag. –207 p.

[7] Nikol'skii S.M. (1963) *Funkcii s dominiruyushchej smeshannoju proizvodnoj, udovletvoryayushchej kratnomu usloviyu Gëldera [Functions with dominant mixed derivative, satisfying a multiple Holder condition].* *Sib. mat. zhurn.* 4 (6), 1342–1364 (in Russian).

[8] Dzhabrailov A.D. (1964) *O nekotorykh funktsionalnykh prostranstvakh. Priamye i obratnye teoremy vlozheniya [About some functional spaces. Direct and inverse embedding theorems].* *Doklady Akademii nauk SSSR* 159 (2), 254–257 (in Russian).

[9] Amanov T.I. (1965) *Teoremy predstavleniya i vlozheniya dlia funktsionalnykh prostranstv $S_{p\theta}^{(r)}B(\mathbb{R}^n)$ i $S_{p\theta}^{(r)}B(0 \leq x_j \leq 2\pi)$ [Representation and embedding theorems for functional spaces $S_{p\theta}^{(r)}B(\mathbb{R}^n)$ and $S_{p\theta}^{(r)}B(0 \leq x_j \leq 2\pi)$].* *Trudy MIAN SSSR* 77, 5–34 (in Russian).

[10] Uninskii A.P. (1966) *Teoremy vlozheniya dlia klassa funktsij so smeshannoju normoj [Imbedding theorems for a class of functions with a mixed norm].* *Doklady Akademii nauk SSSR* 166 (4), 806–808 (in Russian).

[11] Bekmaganbetov K.A., Kervenev K.Ye., Toleugazy Ye. (2020) *Interpolation theorem for Nikol'skii–Besov type spaces with mixed metric* // *Bulletin of the Karaganda university. Mathematics series* 4 (100), 33–42.

[12] Bekmaganbetov K.A., Kervenev K.Ye., Toleugazy Ye. (2021) *The embedding theorems for Nikol'skii–Besov spaces with generalized mixed smoothness* // *Bulletin of the Karaganda university. Mathematics series* 4 (104), 28–34.

[13] Bekmaganbetov K.A., Kervenev K.Ye., Toleugazy Ye. (2022) *The theorems about traces and extensions for functions from Nikol'skii–Besov spaces with generalized mixed smoothness* *Bulletin of the Karaganda university. Mathematics series* 4 (108), 42–50.

[14] Nursultanov, E.D. (2004) *Interpolyacionnye teoremy dlia anizotropnykh funktsional'nykh prostranstv i ih prilozheniya [Interpolation theorems for anisotropic functional spaces and their applications]* *Doklady Mathematics.* 394 (1), 22–25. (in Russian)

R.U. Tuleuova

Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan

*e-mail: tuleuova_79@mail.ru

NUMERICAL STUDY OF THE THERMOELASTIC STATE OF THE ROD IN THE PRESENCE OF A HEAT FLUX SPECIFIED BY A QUADRATIC LAW

Abstract

This paper considers a computational algorithm for the thermoelastic state of a rod clamped at two ends in the presence of a heat flow on its side surface, varying along the coordinates by a quadratic law. The corresponding computational algorithms developed by the author make it possible to solve a class of engineering problems in determining the elongation of rods of limited length. The corresponding computational algorithms developed by the author make it possible to solve a class of engineering problems in determining the elongation of rods of limited length. Therefore, undoubtedly, the results of this work can be widely used in enterprises where calculations are carried out to determine the distribution laws of temperature fields and elongations of structural rod elements operating in a thermal field and in the presence of mechanical forces. The study of compression of a rod of limited length clamped at two ends under the influence of a temperature field and heat flow that varies along the length is of relevant interest for engineering and technological processes related to the strength of partially thermally insulated structural elements operating under coordinate-variable steady-state thermal fields. The relevance of these problems is also motivated by the fact that many structural elements operate under the simultaneous influence of axial force, coordinate-variable heat flow, heat exchange and thermal insulation. With the simultaneous consideration of the above factors, the analytical solution of steady-state thermoelastic compression and tension of rods becomes very complex. In this regard, there naturally arises the need to develop appropriate mathematical models of universal computational algorithms that make it possible to study the thermoelastic state of partially thermally insulated one-dimensional structural elements in the presence of heat exchange with the environment, a variable coordinate of the heat flow field and axial forces.

Keywords: Thermal expansion, Modulus of elasticity, Thermal stress state, Displacement discretisation, Stress strain.

Р.У. Тулеуова

Х. Досмухамедов атындағы Атырау университеті, Атырау қ., Қазақстан

КВАДРАТТЫҚ ЗАҢ МЕНЕН АНЫҚТАЛҒАН ЖЫЛУ АҒЫСЫ АТЫНДАҒЫ ТҰРЫҚТЫҢ ТЕРМОЭЛЕСТИЯЛЫҚ КҮЙІН САНДЫҚ ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа

Бұл жұмыста координаталар бойымен квадраттық заң бойынша өзгеретін, оның бүйір бетінде жылу ағыны болған кезде екі ұшынан қысылған өзекшенің термосерпімді күйінің есептеу алгоритмі қарастырылады. Автор әзірлеген сәйкес есептеу алгоритмдері шектелген ұзындықтағы өзекшелердің ұзаруын анықтауда инженерлік есептердің бір класын шешуге мүмкіндік береді. Сондықтан, сөзсіз, бұл жұмыстың нәтижелері жылу өрісінде және механикалық күштер болған кезде жұмыс істейтін құрылымдық өзек элементтерінің температуралық өрістердің таралу заңдылықтарын және ұзартуларын анықтау үшін есептеулер жүргізілетін кәсіпорындарда кеңінен қолданылуы мүмкін. Температуралық өрістің және ұзындығы бойынша өзгеретін жылу ағынының әсерінен екі шетінен қысылған ұзындығы шектелген штанганың қысылуын зерттеу, жартылай жылу оқшауланған құрылымдық элементтердің беріктігіне байланысты инженерлік және технологиялық процестер үшін өзекті қызығушылық тудырады. координаталық айнымалы тұрақты күйдегі жылу өрістері. Табиғи ресурстарды өндіру мен терең өндеудің қарқынды дамуы ғалымдардың алдында сәйкес математикалық модельдер мен әмбебап есептеу алгоритмдерін жасаудың жаңа мәселелерімен бетпе-бет келді және олардың бүйір беттері бойымен координаталық-айнымалы жылу ағындарының әсерінен ішінара жылу оқшауланған құрылымдық элементтердің термосерпімді күйін кешенді зерттеуге мүмкіндік беретін

әдістер - мұның бәрі өте өзекті. Бұл мәселелердің өзектілігі көптеген құрылымдық элементтердің осьтік күштің, координаталық айнымалы жылу ағынының, жылу алмасудың және жылу оқшаулауының бір мезгілде әсер етуімен жұмыс істейтіндігімен де негізделген. Жоғарыда аталған факторларды бір мезгілде қарастырған кезде стержендердің стационарлық күйдегі термосерпімді сығу мен керілуінің аналитикалық шешімі өте күрделі болады. Осыған байланысты, қоршаған ортамен жылу алмасуы, айнымалы координатасы болған кезде жартылай жылу оқшауланған бір өлшемді құрылымдық элементтердің термосерпімді күйін зерттеуге мүмкіндік беретін әмбебап есептеу алгоритмдерінің сәйкес математикалық үлгілерін жасау қажеттілігі табиғи түрде туындайды. жылу ағынының өрісі және осьтік күштер.

Түйін сөздер: термиялық кеңею, серпімділік модулі, жылулық кернеу күйі, ығысу дискретизациясы, кернеу деформациясы.

Р.У. Тулеуова

Атырауский университет имени Х.Досмухамедова, г. Атырау, Казахстан

ЧИСЛЕННОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОУПРУГОГО СОСТОЯНИЯ СТЕРЖНЯ ПРИ НАЛИЧИИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА, ЗАДАННОГО КВАДРАТИЧНЫМ ЗАКОНОМ

Аннотация

В данной работе рассматривается вычислительный алгоритм термоупругого состояния стержня защемленного двумя концами при наличии теплового потока на ее боковой поверхности, меняющегося по координате квадратичным законом. Соответствующие вычислительные алгоритмы, разработанные автором, позволяют решить класс инженерных задач по определению удлинения стержней ограниченной длины. Поэтому, несомненно, результаты данной работы могут широко применяться на предприятиях, где проводятся расчеты по определению законов распределения температурных полей и удлинений стержневых элементов конструкций, работающих в тепловом поле и при наличии механических сил. Исследование сжатия защемленного двумя концами стержня ограниченной длины, при воздействии переменного по длине температурного поля и теплового потока, представляет соответствующий интерес для техники, технологических процессов связанных с прочностью частично теплоизолированных элементов конструкций, работающих при переменных по координате установившегося теплового поля. Бурное развитие добычи и глубокой переработки природных богатств, ставшие перед учеными новые проблемы разработки соответствующих математических моделей, универсальных вычислительных алгоритмов и методов, позволяющих всестороннее исследование термоупругого состояния частично-теплоизолированных элементов конструкций при воздействии переменной по координате тепловых потоков по их боковым поверхностям все это весьма актуально. Актуальность этих проблем также мотивируется тем, что многие элементы конструкций работают при одновременном воздействии осевой силы, переменного по координате теплового потока, теплообмена и теплоизоляции. При одновременном учете вышеприведенных факторов аналитическое решение установившегося термоупругого сжатия и растяжения стержней становится весьма сложной. В связи с этим, естественным образом появляется необходимость разработки соответствующих математических моделей универсальных вычислительных алгоритмов, позволяющих исследовать термоупругое состояние частично теплоизолированных одномерных элементов конструкций, при наличии теплового обмена с окружающими средами, переменной по координате поля теплового потока и осевых сил.

Ключевые слова: тепловое расширение, модуль упругости, терм-напряженное состояние, дискретность смещения, напряженная деформация.

Main provisions

Modern internal combustion engines, gas turbine power plants, oil heating compressor stations, steam generators of nuclear reactors, and technological processes that allow the deep processing of uranium and osmium ores, as well as crude oil, pose the urgent problem of developing a mathematical model for studying the temperature distribution field of thermal, physico-mechanical state of the bearing elements of these structures, taking into account the nonlinear physical properties of materials and their operating conditions.

It is known that in a thermo-physical-mechanical process, the main characteristic that has a significant effect on the strength of load-bearing structural elements is an intense temperature rise,

i.e., heat flux. In general, temperature is one of the most important characteristics of the growth process and affects the morphology and crystal structure of heat-resistant alloys. Temperature fields differ sharply in different parts of the rod uneven. Consequently, during the thermomechanical process, in some areas of the structural elements, the temperature will be acceptable, and in some areas – critical, which leads to rapid wear of the structural elements and to the loss of their physical qualities. In this regard, for an accurate calculation of the distribution of the temperature field over the volume of multidimensional bodies of various configurations made of heat resistant alloys, it is necessary to carry out effective theoretical and numerical modelling [1-4].

The purpose of modelling, both analytical and imitation, is to predict the state of the system, which most realistically displays the picture of the temperature field distribution over the volume of a multidimensional body [5-8]. In the long term, based on this forecast, by changing both the internal parameters of the structure of structural elements and the characteristics of external influences, it will be possible to determine all the vulnerabilities in the structural elements and protect them from deformation or destruction. The development of a model of the temperature distribution over the body volume is necessary, since the complexity of the thermomechanical process in real time greatly reduces the ability to intuitively assess the identification of critical temperatures in body parts [9-12].

Introduction

The article discusses the issues of creating a mathematical model and developing corresponding computational algorithms that allow one to study the thermally stressed state of a partially thermally insulated rod of limited length and rigidly clamped at two ends, when applying heat flows to the side surface, varying in coordinates in the presence of a heat transfer process through the cross-sectional areas of the two clamped ends, based on the energy principle, in combination with the finite element method using quadratic elements with three nodes. We consider a problem where a heat flux is supplied to the side surface of a rod, of limited length and clamped at two ends, varying along the coordinate by a parabolic law. With the above accepted initial data, taking $q(x) = \frac{160}{\ell^2}x^2 - \frac{160}{\ell}x$, by the method of solving a static indeterminate problem, we find that $R = -35587,0016(\kappa\Gamma)$, $\sigma = -283336(\kappa\Gamma/cm^2)$. A table 1 is given where the convergence of the obtained numerical results to the exact one is ensured by discretizing the rod under consideration by 10 quadratic finite elements. Also for this case the relationship between R , σ and L, h, T_{oc} , and is given in the tables.

Materials and methods

The rod of the limited length L , (cm) is given, both ends of which are rigidly clamped, the cross-sectional area of the rod F , (cm²) is constant along the length of the rod. The physical, mechanical and thermal properties of the rod material are characterized by the modulus of elasticity E , (kG/cm²), the coefficient of thermal expansion, thermal conductivity K_{xx} , (W/(cm · °C)) and the coefficient of heat exchange with the environment h , (W/(cm² · °C)). A heat flux is supplied to the entire length of the lateral surface of the rod, changing along the length of the rod in the following quadratic law

$$q(x) = ax^2 + bx + c, \quad a, b, c = const, \quad (1)$$

where a, b, c are real numbers. We will accept the values of the characterizing geometric, physical-mechanical and thermal properties of the rod under consideration as in the previous problem (Figure 1).

When a given heat flux acts on the lateral surface of the rod q/x , (Bm/cm²) the rod heats up. Therefore, it must expand. Since both ends of the rod are rigidly clamped, it cannot extend. So, a compressing force R , (kG) arises at both ends of the rod, which leads to the appearance of stress in the sections of the considered rod.

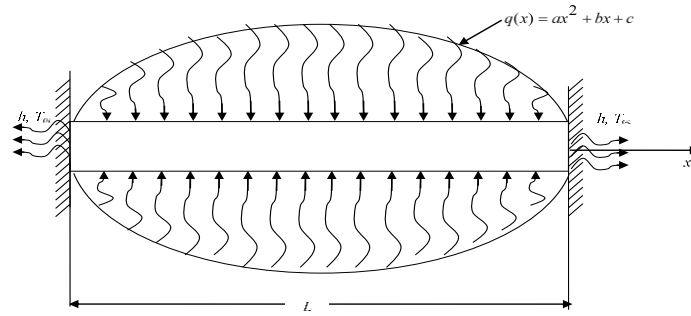


Figure 1. Calculation scheme.

Such a problem is called statically indeterminate. Despite this, this problem can be solved numerically if we use the method of minimizing potential energy in combination with a quadratic finite element with three nodes. By analogy with [3], the expression for the potential energy for the problem under consideration is determined by (7), where V , (cm^3) is the volume of a considered rod,

$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}$ is the elastic longitudinal deformation, $u(x)$, (cm) is the displacement of the rod points,

$\sigma_x = E\varepsilon_x = E \frac{\partial u}{\partial x}$, ($\kappa\Gamma/cm^2$) is the elastic component of the compressive-tensile stress, $T(x)$ is the law of the distribution of the temperature field along the length of the rod.

Let us assume that the field of displacement distributions can be approximated by a second-order curve passing through three points x_i, x_j and x_k . Thus $x_i = 0, x_j = \frac{L}{2}, x_k = L$ then a studied rod, taking as one quadratic finite element with three nodes, we have that within the length of the rod

$$u(x) = \frac{L^2 - 3Lx + 2x^2}{L^2} u_i + \frac{4Lx - 4x^2}{L^2} u_j + \frac{2x^2 - Lx}{L^2} u_k. \quad (2)$$

Then the displacement gradient, i.e. the distribution field of elastic deformations, has the following form

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{4x - 3L}{L^2} u_i + \frac{4L - 8x}{L^2} u_j + \frac{4x - L}{L^2} u_k. \quad (3)$$

Based on Hooke's law, the value of the elastic component of stress is determined as follows

$$\sigma_x = E\varepsilon_x = E \left(\frac{4x - 3L}{L^2} u_i + \frac{4L - 8x}{L^2} u_j + \frac{4x - L}{L^2} u_k \right), \quad (4)$$

Using the last two expressions, we find the following product

$$\begin{aligned} \sigma_x \varepsilon_x = E \left(\frac{4x - 3L}{L^2} u_i + \frac{4L - 8x}{L^2} u_j + \frac{4x - L}{L^2} u_k \right)^2 = \frac{E}{L^4} [& (16x^2 - 24Lx + 9L^2) u_i^2 + 2(40Lx - 32x^2 - 12L^2) \times \\ & \times u_i u_j + 2(16x^2 - 16Lx + 3L^2) u_i u_k + (16L^2 - 64Lx + 64x^2) u_j^2 + 2(24Lx - 4L^2 - 32x^2) u_j u_k + (16x^2 - 8Lx + \\ & + L^2) u_k^2]. \end{aligned} \quad (5)$$

Assuming that the temperature distribution field along the length of the rod is also approximated by a second-order curve and using the properties of a quadratic finite element with three nodes, we find the expression for the product

$$T(x)\varepsilon_x = \frac{1}{\rho^4} \left[(\ell^2 - 3\ell x + 2x^2)T_i + (4\ell x - 4x^2)T_j + (2x^2 - \ell x)T_k \right] \cdot [(4x - 3\ell)u_i + (4L - 8x)u_j + (4x - L)u_k] \quad (6)$$

Now we calculate the first integral in the expression for potential energy (7)

$$\int_V \frac{\sigma_x \varepsilon_x}{2} dV = \frac{E}{2} \int_V \varepsilon_x^2 dV = \frac{EF}{2} \int_0^L \varepsilon_x^2 dx = \frac{EF}{2L^4} \left\{ \left[\frac{16x^3}{3} - 12Lx^2 + 9L^2x \right] u_i^2 + 2 \left[20Lx^2 - \frac{32x^3}{3} - 12L^2x \right] u_i u_j + \right. \\ \left. + 2 \left[\frac{16x^3}{3} - 8Lx^2 + 3L^2x \right] u_i u_k + \left[16L^2x - 32Lx^2 - \frac{64x^3}{3} \right] u_j^2 + 2 \left[12Lx^2 - \frac{32x^3}{3} - 4L^2x \right] u_j u_k + \left[\frac{16x^3}{3} - \right. \right. \\ \left. \left. - 4Lx^2 + L^2x \right] u_k^2 \right\} \Big|_0^L = \frac{EF}{6L} [7u_i^2 - 16u_i u_j + 2u_i u_k + 16u_j^2 - 16u_j u_k + 7u_k^2]. \quad (7)$$

According to the theory of thermoelasticity, the values of deformation from the temperature field are determined by the following formula

$$\varepsilon_T = -\alpha T(x). \quad (8)$$

The value of the temperature component of voltage is determined by the formula

$$\sigma_T = E\varepsilon_T, \quad (9)$$

thermoelastic stress

$$\sigma = \sigma_x + \sigma_T. \quad (10)$$

It should be noted here that the sum of the coefficients before the nodal displacements is equal to zero. Using (6), we calculate the second integral in the expression for potential energy

$$\int_V \alpha ET(x)\varepsilon_x dV = \alpha EF \int_0^L T(x)\varepsilon_x dx = \frac{\alpha EF}{L^4} \left\{ \left[\frac{13L^2x^2}{2} - 6Lx^3 - 3L^3x + 2x^4 \right] T_i u_i + \left[\frac{32Lx^3}{3} - 10L^2x^2 + 4L^3x - \right. \right. \\ \left. \left. \times x - 4x^4 \right] T_i u_j + \left[\frac{7L^2x^2}{2} - \frac{14Lx^3}{3} - L^3x + 2x^4 \right] T_i u_k + \left[\frac{28Lx^3}{3} - 6L^2x^2 + 4x^4 \right] T_j u_i + \left[8L^2x^2 - 16Lx^3 + 8 \times \right. \right. \\ \left. \left. \times x^4 \right] T_j u_j + \left[\frac{20Lx^3}{3} - 2L^2x^2 - 4x^4 \right] T_j u_k + \left[\frac{32L^2x^2}{2} - \frac{10Lx^3}{3} + 2x^4 \right] T_k u_i + \left[\frac{16Lx^3}{3} - 2L^2x^2 - 4x^4 \right] T_k u_j + \right. \\ \left. + \left[\frac{L^2x^2}{2} - 2Lx^3 + 2x^4 \right] T_k u_k \right\} \Big|_0^L = \frac{\alpha EF}{6} [-3T_i u_i + 4T_i u_j - T_i u_k - 4T_j u_i + 4T_j u_k + T_k u_i - 4T_k u_j + 3T_k u_k] \quad (11)$$

In the last square bracket, the sum of the coefficients before $T_j u_j$ will be equal to zero. Then using the obtained expressions (7), (11) we can write the final integrated form of potential energy (37).

$$\Pi = \frac{EF}{6L} [7u_i^2 - 16u_i u_j + 2u_i u_k + 16u_j^2 - 16u_j u_k + 7u_k^2] - \frac{\alpha EF}{6} [-3T_i u_i + 4T_i u_j - T_i u_k - 4T_j u_i + 4T_j u_k + \\ + T_k u_i - 4T_k u_j + 3T_k u_k]. \quad (12)$$

Now, given that the nodal temperature values are known, we will minimize the potential energy by the nodal displacement values. As a result, we obtain a system of three linear algebraic equations

$$\left. \begin{aligned} 1) \frac{\partial \Pi}{\partial u_i} = 0; &\Rightarrow \frac{7EF}{3L} u_i - \frac{8EF}{3L} u_j + \frac{EF}{3L} u_k = -\frac{\alpha EF}{2} T_i - \frac{2\alpha EF}{3} T_j + \frac{\alpha EF}{6} T_k; \\ 2) \frac{\partial \Pi}{\partial u_j} = 0; &\Rightarrow -\frac{8EF}{3L} u_i + \frac{16EF}{3L} u_j - \frac{8EF}{3L} u_k = \frac{2\alpha EF}{3} T_i - \frac{2\alpha EF}{3} T_k; \\ 3) \frac{\partial \Pi}{\partial u_k} = 0; &\Rightarrow \frac{EF}{3L} u_i - \frac{8EF}{3L} u_j + \frac{7EF}{3L} u_k = -\frac{\alpha EF}{6} T_i - \frac{2\alpha EF}{3} T_j + \frac{\alpha EF}{2} T_k. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Discretizing the considered rod by one quadratic finite element and taking, $q(x) = \frac{160}{\ell^2} x^2 - \frac{160}{\ell} x$ we obtain the numerical results that are given in Table 1, and the corresponding distributions of the displacement field are given in Figure 2

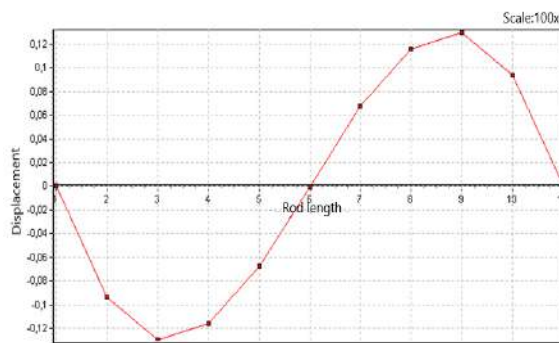


Figure 2 Distribution of the displacement field

It is evident from this figure 2 that due to the symmetry of the heat flow supplied to the lateral surface, the displacement field is also symmetrical. It is also observed that the points of the left half of the rod move against the direction of the coordinate axis, while the points of the right half move in the direction. In addition, since both ends of the rod are rigidly clamped and the heat flow supplied to the lateral surface is symmetrical relative to the middle point of the rod, the displacement values of the two extreme and middle points will be equal to zero. The distribution of the deformation and stress fields are shown in4Figure 3a), b) and Figure 4.

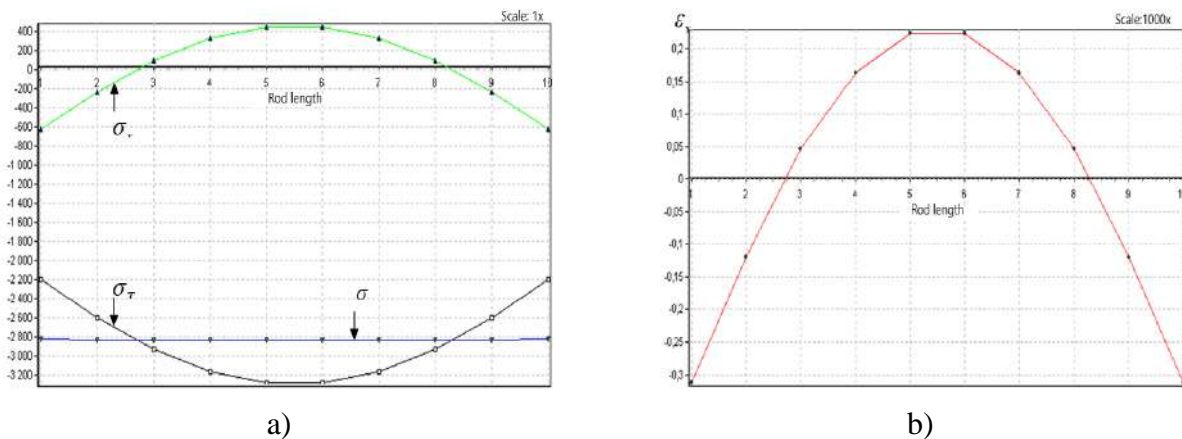


Figure 3 Distribution fields $\epsilon_x, \sigma_x, \sigma_T, \sigma$

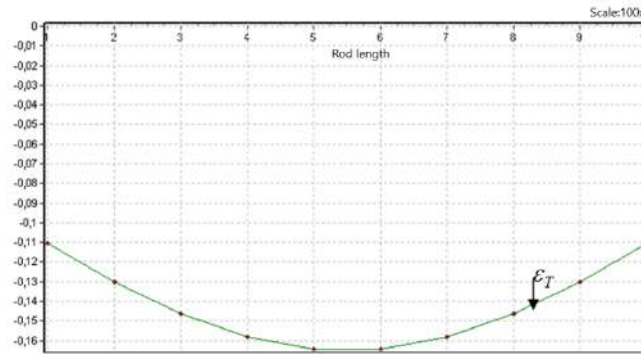


Figure 4. Distribution fields ε_T

According to Figure 3, the maximum value of elastic deformation, which is of a compressive nature, is achieved near the pinch point, and the greatest value of tensile elastic deformation is achieved near the middle of the point. In this case, the thermoelastic stress is of a compressive nature, and its average value over the entire rod is $-2836,8125 (kG/cm^2)$. This value numerically exceeds the theoretical value by $3,4 (kG/cm^2)$. It is also evident from Figure 3 that the nature of the elastic stress near the pinch point will be compressive and equal to $\sigma_x = -625,333 (kG/cm^2)$, and at other points it is of a tensile nature. At that time, near the middle of the rod, the greatest tensile elastic stress will be $448 (kG/cm^2)$, and the nature of the temperature stress over the entire rod will be compressive and equal to $\sigma_x = -2207,3125 (kG/cm^2)$. Its greatest value is achieved in the middle of the rod. Where near the middle of the rod $\sigma_x = -3268,48 (kG/cm^2)$. The nature of thermoelastic stress on average $\sigma = \sigma_x + \sigma_T = -2836,8125 (kG/cm^2)$.

Now we discretize the considered rod by two quadratic finite elements. In this case, the number of resolving equations is five. The length of each finite element is $15(cm)$. The numerical solutions obtained in twenty fixed sections of the rod are given in Table 2. This table gives the values of the strain and stress components. The results obtained show that the values of the thermoelastic stress in all sections of the rod fluctuate around. This result differs from the approximately analytical solution by only $0,8 (kG/cm^2)$. Figure 5 shows the distribution of the displacement field along the length of the rod.

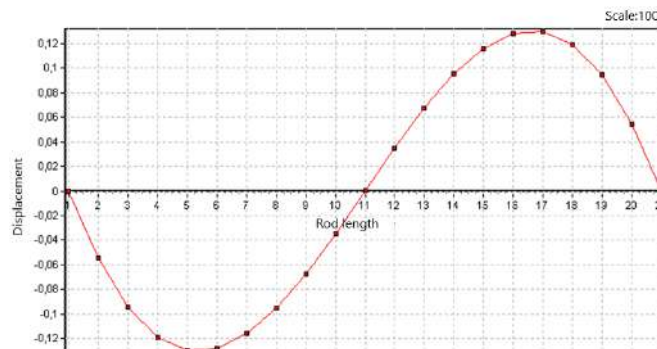
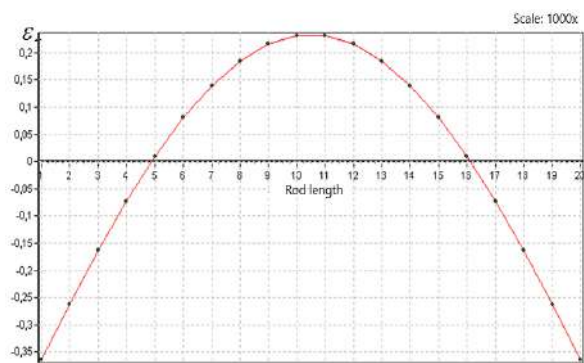
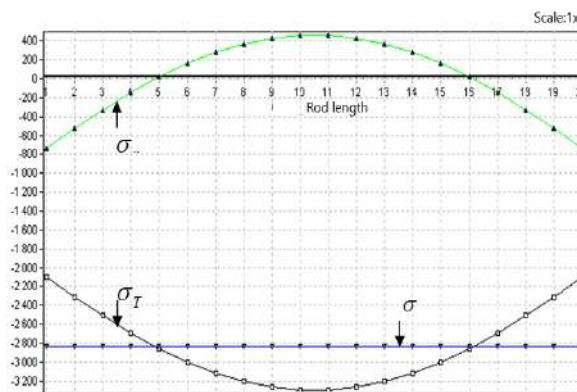


Figure 5 Distribution of the displacement field

From this figure 5 it is clear that the amplitude of the displacement of point 5, which corresponds to the displacement of the point with coordinate $7,5 (cm^2)$, will be $u_5 = -3268,48 (cm)$. At the same time, the displacement of the point with coordinate symmetrical to this point relative to the center of the rod $x = 22,5 (cm)$ will be $u_{17} = -0,01296 (cm)$. From this figure 5 it is clearly seen that the symmetry of the obtained numerical results is ensured. As a result, the displacement of the middle point of the rod with coordinate $x = 15 (cm)$ $u_{11} = 0 (cm)$. Figure 6a), b) and Figure 7 show the distribution of the deformation and stress field.



a)



b)

Figure 6. Distribution fields $\varepsilon_x, \sigma_x, \sigma_T, \sigma$

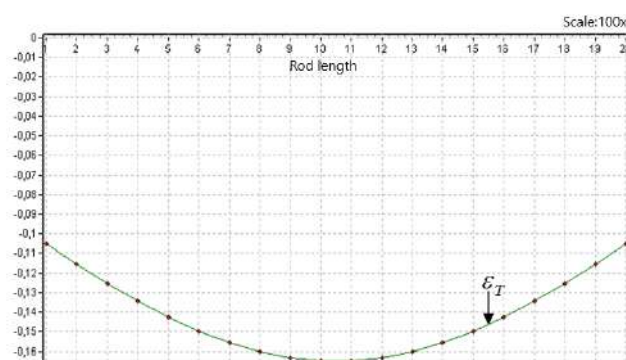


Figure 7 Distribution fields ε_T

From these results it is also evident that the symmetry of the problem is ensured.

Now we discretize the considered rod by ten quadratic finite elements of the same length $\ell = (3\text{cm})$. In this case, the values of the thermoelastic stress will be $\sigma_T = -2833,37 \text{ (kG/cm}^2\text{)}$, and this exactly coincides with the results of the approximate analytical solution. The obtained values of the strain and stress components in fixed sections are given in Table 3, and the corresponding distribution of the displacement field is given in Figure 8.

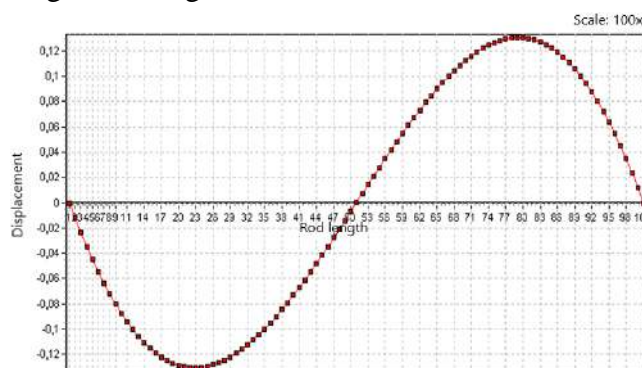


Figure 8 Distribution of the displacement field

The amplitude of the displacements of the midpoint of the first half of the rod will be $u_{23} = -0,0013 \text{ (cm)}$, and average of the second half will be $u_{79} = -0,0013 \text{ (cm)}$. From this figure 9a), b) it is clear that the symmetry of the problem is ensured, therefore the displacement of the midpoint of the rod $u_{51} = 0 \text{ (cm)}$. Figure 8 shows the law of distribution of the deformation and stress field.

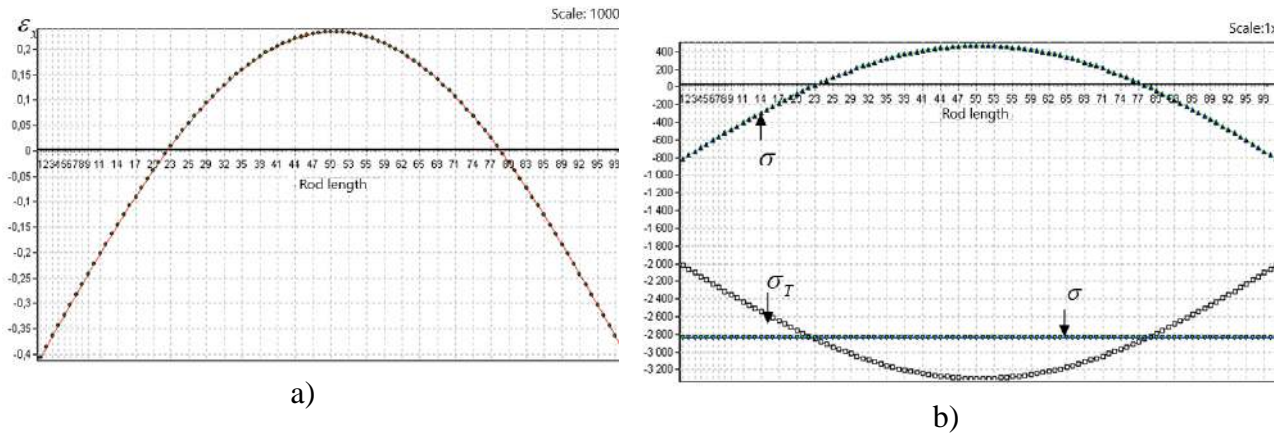


Figure 9 Distribution fields $\varepsilon_x, \sigma_x, \sigma_T, \sigma$.

These graphs also demonstrate the symmetry of the problem in terms of parameters. The value of the greatest tensile elastic deformation $\varepsilon_x = 0,00023427$ and it occurs in the middle of the rod. Figure 10 shows the law of distribution of the temperature deformation field.

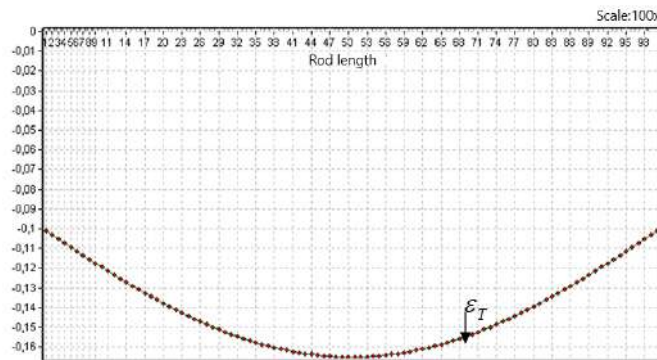


Figure 10. Distribution fields ε_T .

Results of the study

Thus, when solving the problem of thermal strength of structural elements exposed to a parabolic heat flow, it is desirable to discretize the considered rod by at least ten quadratic finite elements. However, it should be noted that the numerical results obtained even when discretizing the considered rod by one quadratic finite element will always be useful for engineering calculations. Because in this case the error is no more than 0.194%. But such an error is negligible in engineering calculations when it comes to stresses that do not exceed their permissible values.

Discussion

Now we will numerically investigate the influence of the length, heat transfer coefficient and ambient temperature on the thermal stress-strain state of a rod clamped at both ends in the presence of a heat flux on the lateral surface that changes according to a parabolic law of the following form

$$q(x) = \frac{160}{\ell^2} x^2 - \frac{160}{\ell} x.$$

We vary the value of the rod length $\ell, (cm)$. Table 4 shows the value of the compressive force $R, (kN)$ and stress $\sigma, (kN/cm^2)$ for six different values of the rod length.

Table 1. The influence of the rod length value on the thermal stress-strain state of the studied rod

№	$l, (cm)$	$R, (kG)$	$\sigma, (kG/cm^2)$	%
1.	30	-35586,66	-2833,33	100
2.	27	-32342	-2575	90,88
3.	24	-29306,66	-2333,33	82,35
4.	21	-26480,66	-2108,33	74,41
5.	18	-23864	-1900	67,06
6.	15	-21456,66	-1708,33	60,29

This table shows that the values of compressive force and stress decrease in a non-linear manner with decreasing rod length. The decrease in these values is motivated by the decrease in the area to which the heat flow is supplied. In addition, these results show that it is possible to regulate the value of compressive force and stress using the length of this rod element.

Now we numerically investigate the influence of the heat exchange coefficient value $h, (Bm/cm^2 \cdot ^\circ C)$ between the cross-sectional areas and the environments surrounding them. The results are given in Table 5.

Table 2. The influence of the heat transfer coefficient value on the thermal stress-strain state of the studied rod

№	$h, (Bm/cm^2 \cdot ^\circ C)$	$R, (kG)$	$\sigma, (kG/cm^2)$	%
1.	10	-35586,66	-2833,33	100
2.	9	-36982,22	-2944,44	103,92
3.	8	-38726,66	-3083,33	108,82
4.	7	-40969,52	-3261,9	115,12
5.	6	-43960	-3500	123,53
6.	5	-48146,66	-3833,33	135,29

This table shows that with a decrease in the value of the heat exchange coefficient, an increase in the values of the compressive force and stress is observed. In this case, this dependence occurs in a relatively nonlinear manner. The increase in values and with a decrease in value h is motivated by the fact that at low values h a small amount of heat is transferred from the rod to the environment. The influence of the temperature surrounding the cross-sectional areas of the clamped ends of the rod $T_{oc}, (^\circ C)$ on values of compressing force R and σ a stress. The results of these studies are given in Table 6.

Table 3. Influence of the ambient temperature on the thermal stress-strain state of the rod under study

№	$T_{oc}, (^\circ C)$	$R, (kG)$	$\sigma, (kG/cm^2)$	%
1.	40	-35586,66	-2833,33	100
2.	35	-34016,66	-2708,33	95,59
3.	30	-32446,66	-2583,33	91,17
4.	25	-30876,66	-2458,33	86,76
5.	20	-29306,66	-2333,33	82,353

From this table 3 it is evident that with decreasing ambient temperature T_{oc} , the values R and σ decrease proportionally, but nonlinearly. This process is motivated by the fact that at low ambient temperatures a large amount of heat leaves the rod into the environment, i.e. the rod will cool relatively. This phenomenon can be used to control the value of the compressive force and stress

using the temperature surrounding the cross-sectional areas of the clamped ends of the rod of the environment.

Conclusion

A mathematical model and numerical methods for the thermoelastic state of the rod were constructed pinched at two ends in the presence of heat flow on its surface of a surface varying in coordinate square law. It was revealed that when a heat flux with a parabolic variation is connected to the side surface, an increase in the length of the rod leads to an increase in the elongation of the rod. Thus, with a decrease in the length of the rod, the deformed state of the rod is maintained while maintaining a heat flow on it, changing by the quadratic law of attraction. In some cases, the value of the heat transfer coefficient, on the contrary, increases the crisis-deformed state. When measuring the ambient temperature, and also in some cases, the crisis-deformed state decreases.

References

- [1] Demidovich B.P., Maron I.A. *Fundamentals of Computational Mathematics*. -M.: 1960. – 659p.
- [2] Kenzhegulov B., Shazhdekeyeva N., Myrzhasheva A. N., Kabyllhamitov G. T., and Tuleuova R.U., “Necessary Optimality Conditions for Determining of The Position of The Boundary of Oil Deposit,” *International Journal of Engineering Research and Technology*, vol. 13, pp. 1204-1209, 2020. DOI <https://doi.org/10.26577/JMMCS2023v120i4a7>
- [3] Kenzhegulov B., Kultan J., Alibiyev D. B., and Kazhikenova A. Sh., “Numerical Modelling of Thermomechanical Processes in Heat-Resistant Alloys,” *Bulletin of the Karaganda University. Physics Series*, vol. 2, no. 98, pp. 101-107, 2020. DOI <https://doi.org/10.31489/2020ph2/101-107>
- [4] Kenzhegulov B., Shazhdekeyeva N., Myrzhasheva A. N., and Tuleuova R. U., “A Numerical Method for Determining the Dependence of The Thermally Stressed State of a Rod on Ambient Temperature with The Simultaneous Presence of Thermal Processes,” *Periodico Tche Quimica*, vol. 17, pp. 765-780, 2020. http://dx.doi.org/10.52571/PTQ.v17.n35.2020.65_MYRZASHEVA_pgs_765_780.pdf
- [5] Babaytsev A. V., and Rabinskiy L. N., “Design Calculation Technique for Thick-Walled Composite Constructions Operating Under High-Speed Loading,” *Periodico Tche Quimica*, vol. 1, no. 33, pp. 480-489, 2019. - 131p.
- [6] Forsite J., Moler Мoлер K. *Numerical solution of linear systems algebraic equations*. -M.: Мир, 1969. –296p.
- [7] Qin Li-kun, Song Yu-pu, Zhang Zhong, Yu Chang-jiang. *Strength and deformation characteristics of biaxially compressed concrete after high temperature*. *Dalian ligong daxue xuebao NI*, m.45, 2005. -113-117c.
- [8] Li H.-F., Zhao J., Cheng C.-Q., Min X.-H., Cao T.-S., and Xu J., “Prediction of High Temperature Creep Deformation and Rupture Life on HP Heat Resistant Alloy Using Zc Parameter,” *Cailiao Gongcheng/Journal of Materials Engineering*, vol. 46, no. 3, pp. 112-116, 2018. DOI <https://doi.org/10.11868/j.issn.1001-4381.2016.000354>
- [9] Kvasnytska Y. H., Ivaskevych L. M., Balytskyi O. I., Maksyuta I. I., and Myalnitsa H. P., “High Temperature Salt Corrosion of a Heat-Resistant Nickel Alloy,” *Materials Science*, vol. 56, no. 3, pp. 432-440, 2020. DOI <https://doi.org/10.1007/s11003-025-00863-5>
- [10] Fedorov Yu.A. *About the temperature tangent stresses and layer detachment stresses in multilayer rods*. *Izv. Ivan, otd-nie Peter. Academy of Sciences and Arts 2*, 1996. pp 136-140.
- [11] Kasumov A.K. *About the stiffness matrix of rod structures at temperature exposure*. *Izv.AN Azerbaijan, series phys.-techn. and mathematical sciences 4-5*, 1997. pp 208-215.
- [12] Fu Y., Zhuang Y., Xu X., Zhang J., Liu Z., Zhang B., Jin X., Zhang R., Zhang P., and Wei H., “Effect of Ti Content and Hot/Cold Extrusion on Microstructure and Properties Of 2219 Heat-Resistant Aluminum Alloy,” *Materials Research Express*, vol. 6, no. 10, article number 1065F2, 2019. DOI 10.1088/2053-1591/ab41b0

МАТЕМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ
МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ
METHODS OF TEACHING MATHEMATICS

IRSTI 14.35.09

10.51889/2959-5894.2025.89.1.009

A.E. Abylkasymova¹, E.A. Tuyakov¹, G.A. Rysbekova^{1*}

¹ Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: gulbanu2705@gmail.com

**APPLIED ORIENTATION OF TEACHING STOCHASTIC METHODS TO
ENGINEERING STUDENTS**

Abstract

The application of stochastic techniques as a tool for enhancing the quality of the technical specialties' educational process is investigated in this paper. Particularly relevant in the framework of fast technical and digitalization advancements, these approaches enable the modeling of complicated industrial processes and solving of problems under conditions of uncertainty. The research emphasizes the development of strategies for instructing stochastic procedures inside educational curricula designed to cultivate technical specialists. The primary objective of this study is to enhance students' analytical thinking, forecasting, and decision-making skills in unconventional situations, thereby allowing educational processes to align with the requirements of contemporary industrial sectors. The scientific and pragmatic relevance of the research is found in the fact that stochastic approaches enable the combination of theoretical knowledge with practical skills, therefore facilitating the training of highly qualified experts ready to operate in dynamic and complex systems. The study approach called for theoretical modeling, data analysis, and investigation of real-world examples. By means of production scenario modeling, the outcomes were acquired, therefore highlighting the efficiency of stochastic methods in addressing practical issues. The results of the research suggest that using stochastic approaches helps students to acquire their data analysis, process management under uncertainty, and modern digital tool application abilities. The approach significantly helps to create adaptable learning environments meant to solve industrial challenges. The practical relevance of the research findings is in their usefulness for the creation of educational programs meant to equip graduates fulfilling the criteria of digital transformation and modern industries.

Keywords: stochastic methods, Monte Carlo method, Markov processes, applied problems, technical specialties.

А.Е. Әбілқасымова¹, Е.А. Тұяқов¹, Г.А. Рысбекова¹

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

**ТЕХНИКАЛЫҚ МАМАНДЫҚТАРДЫҢ СТУДЕНТТЕРІНЕ СТОХАСТИКАЛЫҚ
ӘДІСТЕРДІ ОҚЫТУДЫҢ ҚОЛДАНБАЛЫ БАҒЫТЫ**

Аңдатпа

Мақалада техникалық мамандықтарда білім беру үдерісінің сапасын арттыру құралы ретінде стохастикалық әдістерді қолдану қарастырылады. Бұл әдістер күрделі өндірістік процестерді модельдеуге және белгісіздік жағдайларында мәселелерді шешуге мүмкіндік береді, бұл технологиялар мен цифрландырудың қарқынды дамуы жағдайында ерекше маңызды. Зерттеу техникалық мамандарды дайындау үшін білім беру бағдарламаларына стохастикалық әдістерді оқытудың әдістемелік тәсілдерін әзірлеуге бағытталған. Жұмыстың негізгі идеясы – студенттердің

аналитикалық ойлау, болжау және стандартты емес жағдайларда шешім қабылдау дағдыларын қалыптастыру арқылы білім беру үдерістерін қазіргі заманғы өнеркәсіп салаларының талаптарына бейімдеу. Зерттеудің ғылыми және практикалық маңыздылығы стохастикалық әдістер теориялық білімді практикалық дағдылармен үйлестіруге мүмкіндік беретінімен ерекшеленеді, бұл күрделі және динамикалық жүйелер жағдайында жұмыс істей алатын жоғары білікті мамандарды даярлауға ықпал етеді. Зерттеу әдіснамасында теориялық модельдеу, деректерді талдау және практикалық кейстерді зерттеу қолданылды. Нәтижелер өндірістік жағдайларды модельдеу негізінде алынған, бұл стохастикалық тәсілдердің нақты мәселелерді шешудегі тиімділігін көрсетеді. Зерттеу нәтижелері стохастикалық әдістерді қолдану студенттердің деректерді талдау, белгісіздік жағдайларында процестерді басқару және заманауи цифрлық құралдарды пайдалану дағдыларын дамытуға ықпал ететінін растайды. Жұмыс білім беру жүйесін өндірістік міндеттерді шешуге бағытталған адаптивті жүйелерді дамытуға елеулі үлес қосады. Зерттеу нәтижелерінің практикалық маңыздылығы оның нәтижелерін цифрлық трансформацияның және қазіргі заманғы индустриялардың талаптарына жауап беретін түлектерді дайындайтын білім беру бағдарламаларын әзірлеу кезінде қолдану мүмкіндігінде жатыр.

Түйін сөздер: стохастикалық әдістер, Монте-Карло әдісі, марков процестері, қолданбалы есептер, техникалық мамандықтар.

А.Е. Абылкасымова¹, Е.А. Туяков¹, Г.А. Рысбекова¹

¹ Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан
**ПРИКЛАДНАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ ОБУЧЕНИЯ СТОХАСТИЧЕСКИМ МЕТОДАМ
СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ**

Аннотация

В статье исследуется применение стохастических методов как инструмента для повышения качества образовательного процесса технических специальностей. Особенно актуальными эти подходы становятся в условиях стремительных технических и цифровых преобразований, так как они позволяют моделировать сложные промышленные процессы и решать задачи в условиях неопределенности. Исследование сосредоточено на разработке методик преподавания стохастических методов в образовательных программах, направленных на подготовку технических специалистов. Основной целью работы является развитие у студентов аналитического мышления, навыков прогнозирования и принятия решений в нестандартных ситуациях, что позволяет адаптировать образовательный процесс под требования современных отраслей промышленности. Научная и практическая значимость исследования заключается в том, что стохастические подходы способствуют объединению теоретических знаний с практическими навыками, тем самым обеспечивая подготовку высококвалифицированных специалистов, готовых работать в динамичных и сложных системах. В рамках исследования использовались теоретическое моделирование, анализ данных и изучение реальных примеров. Путем моделирования производственных сценариев были получены результаты, подтверждающие эффективность стохастических методов в решении практических задач. Результаты исследования показывают, что применение стохастических методов помогает студентам приобретать навыки анализа данных, управления процессами в условиях неопределенности и использования современных цифровых инструментов. Подход значительно способствует созданию адаптируемых учебных сред, направленных на решение задач промышленного сектора. Практическая значимость результатов исследования заключается в их применимости для разработки образовательных программ, нацеленных на подготовку выпускников, соответствующих критериям цифровой трансформации и современных отраслей промышленности.

Ключевые слова: стохастические методы, метод Монте-Карло, марковские процессы, прикладные задачи, технические специальности.

Main provisions

The major objectives of the research are to investigate methodological approaches to their use and to find the relevance of stochastic techniques in the technical education process. Markov processes and the Monte Carlo approach were applied to fit instructional materials for industrial environments. These approaches were seen as efficient instruments for addressing mathematical problems and

simulating complicated systems. The goal of this research aimed to offer a thorough investigation of stochastic technique use in the educational process.

Introduction

Modern technical education is absolutely essential in the environment of industrial globalization, digital transformation, and technological uncertainty to provide professionals with the necessary skills to operate successfully. Students in practical industrial environments have to gain not just academic knowledge but also skills in data analysis, forecasting, and management due of the complexity of industrial processes and the rapid development of technology. Sometimes conventional teaching methods are insufficient for properly preparing students to manage the complexity of modern industrial processes and may not be able to control changing surroundings.

Derived from probabilistic models, stochastic approaches find tremendous use in engineering for data analysis and process optimization. Sheldon M. Ross's work [1] carefully investigates the fundamental concepts and instruments of stochastic processes. Moreover addressed in the monograph [2] by András Prékopa are other applications for stochastic optimization methods. These studies offer the theoretical framework for the use of stochastic methods spanning several domains; yet, there is still a great gap in particular direction for their implementation inside the educational system. Recently, stochastic approaches added into the learning process have drawn interest. The work of Haldar and Mahadevan highlights the managing of engineering design uncertainty by use of stochastic methods [3]. Although this research demonstrate the effectiveness of stochastic approaches in engineering, careful strategies for their methodical use in educational settings still lack.

Further studies have stressed how stochastic approaches should be applied during the learning process [4,5]. Examining difficult systems using these methods will enable pupils to develop professionally more ready. Many current studies neglected practical relevance in favor of theoretical models. The present publication attempts to offer methodological rules and explore the possibilities of stochastic approaches for technical education. Review present methods, modify stochastic models for education, and evaluate how these changes impact students' analytical and practical skills are the key objectives. Stochastic techniques are supposed to increase students' capacities in data analysis, forecasting, and decision-making under uncertainty, therefore enabling their successful assimilation into practical industrial environments. This work presents a comprehensive understanding of the opportunities for adding stochastic techniques into instructional activities by means of real-world case studies, industrial situation modeling, and theoretical analysis.

Research methodology

In engineering sciences, often employed stochastic models and methods contributed to develop methodological approaches. By means of mathematical modeling and probabilistic tools, these methods allow efficient management of systems affected by stochastic fluctuations and uncertainty. Stochastic methods are a collection of mathematical and computational techniques designed to address random or uncertain factors in issues. Mostly different from others are stochastic approaches in their use of probabilistic models to facilitate decision-making in uncertain surroundings and help to clarify events. These approaches help with optimization, forecasting, modeling difficult systems, data analysis [6,7] and other areas.

1. The Monte Carlo method is a mathematical computational tool based on probability and random numbers. It is used for the modeling and analysis of systems that incorporate stochastic elements or provide challenges in solving intricate mathematical models. Especially in instances where a perfect analytical solution is unattainable, the Monte Carlo method facilitates the approximation of solutions to several problems. This method fundamentally produces a substantial quantity of random numbers for computational purposes. These figures represent the stochastic processes of actual systems. Each computation is regarded as a "experiment," and the average of the outcomes gives an approximate value for the quantity being assessed [7,8].

with a mean and standard deviation (mean processing time is approximately $\mu=0.02$ seconds, and standard deviation is $\sigma=0.005$ seconds). The total time required to process all requests is $t_{total} = \sum_{i=1}^N t_i$.

Determine the probability that, $t_{total} \leq t_{max}$ under the given conditions.

Methodological Guidelines for Solving the Problem

a) Algorithm and Application of the Monte Carlo Method:

1. Identifying the Given Data

Number of requests (N) is a random variable in the range [100,1000].

Processing time for each request (t) follows a normal distribution with a mean μ and standard

deviation σ . Total processing time for all requests: $t_{total} = \sum_{i=1}^N t_i$

2. Simulation

Perform M iterations (e.g., M=10,000). In each iteration:

Randomly select the number of requests (N).

Randomly generate the processing time for each request (t).

Calculate the total processing time t_{total} .

3. Condition Check

If $t_{total} \leq t_{max}$ the simulation is considered successful.

4. Calculate the Result

Estimate the probability using the number of successful simulations:

$$P_{success} = \frac{SuccessCount}{M}$$

b) Flowchart

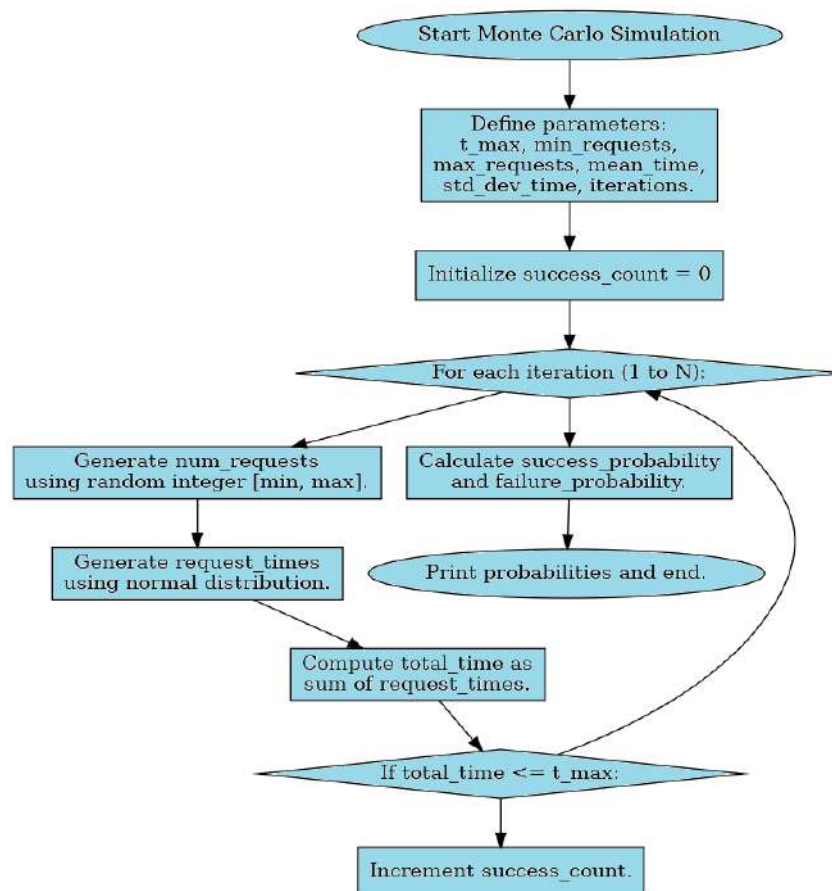


Figure 1. Flowchart for Solving the Problem

c) Solution in Python Program:

<pre> 1 import numpy as np 2 3 # Parameters 4 t_max = 5 # Maximum time (seconds) 5 min_requests = 100 # Minimum number of requests 6 max_requests = 1000 # Maximum number of requests 7 mean_time = 0.02 # Average processing time per request (seconds) 8 std_dev_time = 0.005 # Standard deviation (seconds) 9 iterations = 10000 # Number of iterations 10 11 # Results 12 success_count = 0 13 14 # Monte Carlo Simulation 15 for _ in range(iterations): 16 # Number of requests 17 num_requests = np.random.randint(min_requests, max_requests + 1) 18 # Processing time for each request 19 request_times = np.random.normal(mean_time, std_dev_time, num_requests) 20 # Total processing time 21 total_time = np.sum(request_times) 22 23 # Check condition 24 if total_time <= t_max: 25 success_count += 1 26 27 # Calculate results 28 success_probability = success_count / iterations 29 failure_probability = 1 - success_probability 30 31 print(f"Probability of successful processing: {success_probability:.2%}") 32 print(f"Probability of failed processing: {failure_probability:.2%}") </pre>	<pre> Probability of successful processing: 16.83% Probability of failed processing: 83.17% === Code Execution Successful === </pre>
--	---

Figure 2. Solution in the Python Program

d) Result:

As a result of the simulation, the probability of successful processing is calculated. This indicator allows assessing the server's ability to handle the load.

Task 2. The time to download a file of size $F=500$ MB from a server depends on the download speed S , which is determined by a normal distribution ($\mu=10$ MB/sec, $\sigma=2$ MB/sec). Perform $M=10,000$ simulations and calculate the mean download time of the file along with the 95% confidence interval.

Methodological Guidelines for Solving the Problem

a) Algorithm and Application of the Monte Carlo Method

1. Identifying the Given Data:

F – file size (MB), μ, σ – mean and standard deviation of the download speed, M – number of simulations.

2. Simulation

A loop is created to repeat M times.

At each iteration, the download speed (S) is randomly selected based on the normal distribution. If $S \leq 0$, the download speed is set to $S=0.1$ (to avoid errors).

The download time is calculated using the following formula: $T = \frac{F}{S}$.

3. Calculating the Results

Mean download time: $T_{mean} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M T_i$.

Confidence interval: $CI = T_{mean} \pm z \frac{\sigma_T}{\sqrt{M}}$

where $z=1.96$ (for a 95% confidence level).

b) Flowchart

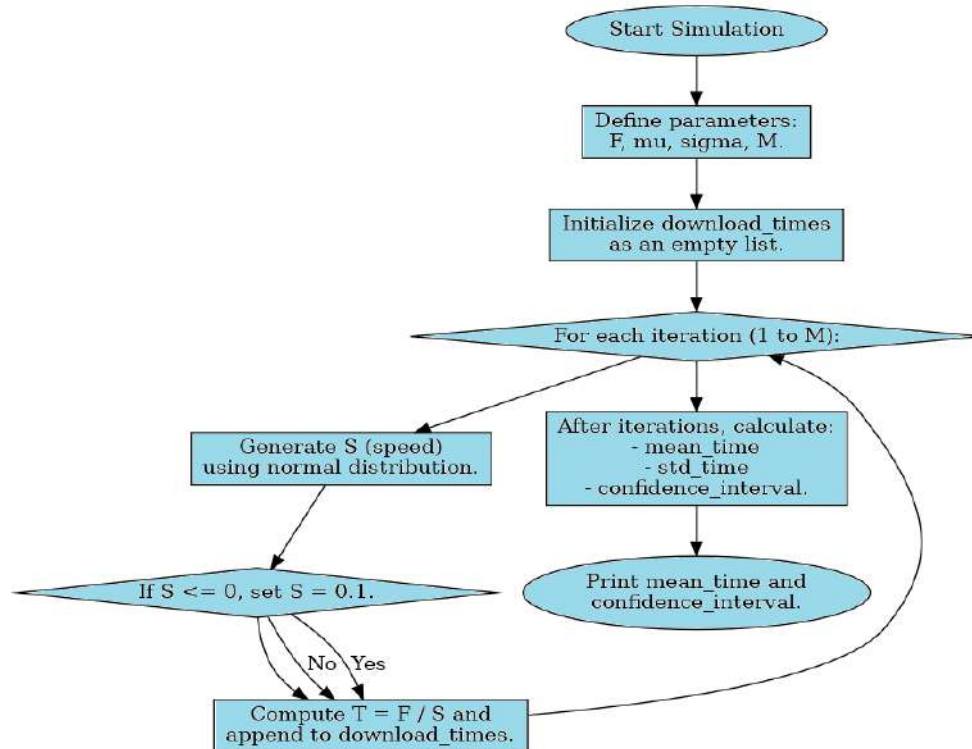


Figure 3. Flowchart for Solving the Problem

c) Solution in the Python Program:

```

1 import numpy as np
2
3 # Input Data
4 F = 500 # File size (MB)
5 mu = 10 # Average download speed (MB/sec)
6 sigma = 2 # Standard deviation of download speed (MB/sec)
7 M = 10000 # Number of simulations
8
9 # Simulation results
10 download_times = []
11
12 for _ in range(M):
13     # Generate download speed based on normal distribution
14     S = np.random.normal(mu, sigma)
15     # If the speed is below 0, set it to 0.1
16     if S <= 0:
17         S = 0.1
18     # Calculate download time
19     T = F / S
20     download_times.append(T)
21
22 # Calculate results
23 mean_time = np.mean(download_times) # Average download time
24 std_time = np.std(download_times) # Standard deviation
25 confidence_interval = {
26     mean_time - 1.96 * std_time / np.sqrt(M),
27     mean_time + 1.96 * std_time / np.sqrt(M),
28 }
29
30 print(f"Average download time: {mean_time:.2f} seconds")

```

Average download time: 52.06 seconds
Confidence interval: [51.83, 52.30] seconds
=== Code Execution Successful ===

Figure 4. Solution in the Python Program

d) Result

Mean Download Time (T_{mean}): The average time required to download the file.

Confidence Interval (CI): Indicates that with 95% probability, the download time will fall within this interval.

Task 3. The network load over time can exist in three states: Low, Medium, and High. The probability of staying in the Low Load state is 70%, transitioning to the Medium Load state is 25%, and transitioning to the High Load state is 5%. For the Medium Load state, the probability of staying is 50%, transitioning to the Low Load state is 30%, and transitioning to the High Load state is 20%. In the High Load state, the probability of staying is 30%, transitioning to the Low Load state is 40%, and transitioning to the Medium Load state is 30%. If the network initially starts in the Low Load state, determine the probability of being in each state after 5 transitions.

Methodological Guidelines for Solving the Problem

This problem is based on the transition probabilities of Markov processes. The states of the network transition from one state to another over time, and these transition probabilities are described by a matrix.

a) Constructing the Transition Probability Matrix:

Based on the given probabilities, we construct the transition matrix:

$$P = \begin{pmatrix} 0.7 & 0.25 & 0.05 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 \\ 0.4 & 0.3 & 0.3 \end{pmatrix}$$

This matrix represents the following:

First row: The probabilities of transitioning from the Low Load state to other states.

Second row: The probabilities of transitioning from the Medium Load state to other states.

Third row: The probabilities of transitioning from the High Load state to other states.

b) Determining the Initial State:

It is known that the network initially starts in the Low Load state. Therefore, the initial probability vector is: $\pi = (1,0,0)$

This vector indicates that the network is exclusively in the Low Load state.

c) Calculating the State After 5 Transitions:

To determine the probabilities of the network being in each state after 5 transitions:

$$\pi_5 = \pi P^5 .$$

Here, P^5 – is the transition matrix raised to the 5th power.

$\pi_5 = (P(\text{Low}), P(\text{Medium}), P(\text{High}))$

$$\pi_5 = (1 \ 0 \ 0) \begin{pmatrix} 0.7 & 0.25 & 0.05 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 \\ 0.4 & 0.3 & 0.3 \end{pmatrix}^5 = (0.525 \ 0.341 \ 0.134)$$

d) Result:

The probabilities after 5 transitions are: $(0.525 \ 0.341 \ 0.134)$

Task 4. In an online store, user actions are described by three states: Browse, Add to Cart, and Exit. A user can transition from one state to another, with the following transition probabilities:

In the Browse state, the probability of staying in Browse is 60%, transitioning to Add to Cart is 30%, and transitioning to Exit is 10%.

In the Add to Cart state, the probability of staying in Add to Cart is 50%, returning to Browse is 20%, and transitioning to Exit is 30%.

In the Exit state, the probability of staying in Exit is 50%, and transitioning back to Browse is 50%.

If the user initially starts in the Browse state, determine the probabilities of being in each state after 6 transitions.

Methodological Guidelines for Solving the Problem

a) Constructing the Transition Probability Matrix:

Based on the given probabilities, we construct the transition matrix. This matrix represents the following:

$$P = \begin{pmatrix} 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0.2 & 0.5 & 0.3 \\ 0.5 & 0 & 0.5 \end{pmatrix}.$$

This matrix is read as follows:

First row: The probabilities of transitioning from the "Browse" state to other states (Browse→Browse, Browse→Add to Cart, Browse→Exit).

Second row: The probabilities of transitioning from the "Add to Cart" state to other states (Add to Cart→Browse, Add to Cart→Add to Cart, Add to Cart→Exit).

Third row: The probabilities of transitioning from the "Exit" state to other states (Exit→Browse, Exit→Add to Cart, Exit→Exit).

b) Determining the Initial State:

Since the user initially starts in the "Browse" state, the initial probability vector is: $\pi = (1,0,0)$. This vector indicates that the user is exclusively in the "Browse" state.

c) Calculating the State After 6 Transitions

To determine the probabilities after 6 transitions: $\pi_6 = \pi P^6$

$$\pi_6 = (1 \ 0 \ 0) \begin{pmatrix} 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0.2 & 0.5 & 0.3 \\ 0.5 & 0 & 0.5 \end{pmatrix}^6 = (0.462 \ 0.277 \ 0.261)$$

d) Result:

The probabilities of being in each state after 6 transitions: (0.525 0.341 0.134)

Results of the study

Stochastic methods, including Markov processes and the Monte Carlo method, are extensively applied in the IT industry for modeling complex systems and decision-making processes. Teaching these techniques helps students develop the ability to solve real-world problems. To this end, a pedagogical experiment aimed at solving IT-related problems using Markov processes and the Monte Carlo method was conducted at Almaty University of Energy and Communications in October-November 2024. The study involved two groups: the ISk-23-1a control group and the ISk-23-1b experimental group. The control group followed traditional teaching methods, while the experimental group was introduced to new methods. These new methods focused on solving real IT problems through the application of stochastic techniques. To assess the knowledge of both groups, control tasks were performed before and after the experiment. During the experiment, students were given a set of 4 problems focused on applying Markov processes and the Monte Carlo method. These tasks were designed to develop skills in data modeling and analysis for the IT sector. The students' responses were recorded in terms of the percentage of correct and incorrect answers. To evaluate progress, the initial results of the control and experimental groups were provided (Table 1).

Table 1. Initial Results of the Experiment

Task	Control group (Correct %)	Control group (Incorrect %)	Experimental group (Correct %)	Experimental group (Incorrect %)
1	55	45	48	52
2	51	49	53	47
3	48	52	46	54
4	47	53	48	52
Average	50,25	49,75	48,75	51,25

After conducting the experimental work, the final results of the control group and the experimental group were presented to monitor the outcomes (Table 2).

Table 2. Final Results of the Experiment

Task	Control group (Correct %)	Control group (Incorrect %)	Experimental group (Correct %)	Experimental group (Incorrect %)
1	55	45	67	33
2	51	49	65	35
3	53	47	60	40
4	47	53	70	30
Average	51,5	48,5	65,5	34,5

A chart was created (Figure 5) to compare the initial and final results of the experimental group for each task, based on the results of the conducted summative assessment.

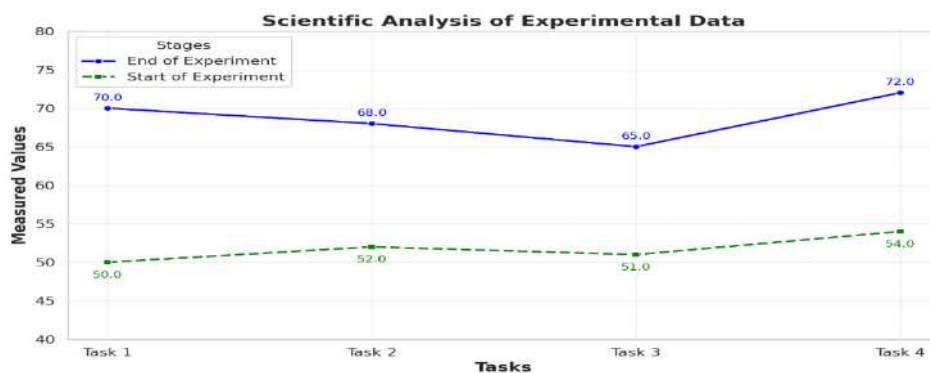


Figure 5. Comparison of Results Chart

The experimental group achieved an average result of 65.5%, which was notably higher than the control group's result of 51.5%. Students in the experimental group showed better performance when solving real IT problems. Mastery of these methods greatly improved their analytical thinking and problem-solving skills. The application of new methods reinforced their theoretical knowledge and enhanced their ability to solve practical tasks. The widespread use of these methods plays a key role in preparing future IT professionals and contributes to the improvement of their professional competencies.

Discussion

Modern studies demonstrate the efficiency of applying stochastic approaches in teaching technical fields. These techniques are absolutely important for developing analytical abilities, managing under uncertainty, and modeling complicated systems. For instance, high efficiency is shown by assessing system dependability and modeling real-world manufacturing scenarios with Markov processes and the Monte Carlo approach. In their study, Halдар and Mahadevan underlined the major part stochastic methods play in engineering reliability calculations [3]. Through random number modeling, the Monte Carlo approach lets one assess the efficiency of information systems and manufacturing. When complicated mathematical models or analytical solutions are absent, this approach is especially helpful. Walrand J. showed in his studies the great effectiveness of the Monte Carlo technique in production process optimization [10]. Technical systems are modeled using markov processes rather extensively. These techniques let one project the future condition of a system depending just on its present state. Markov processes, for instance, are especially good in estimating the equipment failure risk in manufacturing processes. In their study, Russell and Norvig underlined the need of this approach in evaluating manufacturing and service systems [11]. Using stochastic techniques helps students acquire the analytical ability required to address practical production issues. For example,

assignments involving network operation optimization and server load prediction enable students improve their analytical skills. We have designed a set of activities aiming at promoting students' analytical thinking, problem-solving skills, and decision-making abilities under uncertainty using stochastic approaches in the teaching of technical disciplines based on the examination of scientific and methodological works. This system comprises tasks meant to leverage stochastic approaches in real-world production scenarios as well as puzzles and exercises for implementing stochastic models. For instance, we discuss such chores in the part on "Research Methodology" in our paper.

Conclusion

The application of stochastic methods in technical disciplines' education determines very much how students' analytical thinking, process modeling, and problem-solving abilities develop. Simulated real-world production situations allow students to blend their academic knowledge with practical skills by means of methodological approaches proposed in the research. The results of the experimental study revealed that applying stochastic methods enhanced the academic performance of the students. Particularly activities based on Markov processes and Monte Carlo methods significantly raised students' capacity to interpret data and under uncertainty make decisions. By allowing a greater understanding of the course content than by traditional teaching approaches, these techniques help students to use their knowledge to solve practical production problems. The practical importance of stochastic methods should be particularly emphasized. They provide the foundation for solving critical tasks such as evaluating the reliability of complex systems, optimizing production processes, and predicting the load of information systems. For example, the Monte Carlo method increases the ability to model random processes in systems, while Markov processes enable forecasting and analysis of system states. These methods prepare students to tackle problems arising in real-world situations and enhance their professional competencies. Incorporating stochastic approaches into the classroom improves not just students' practical skills but also helps them to meet the demands of the modern job market. Methodically teaching these techniques helps the educational process to match the new standards of technological development. Future development of the system of tasks based on stochastic techniques should be focused on their implementation in educational practice.

References

- [1] Sheldon M. Ross. *Stochastic Processes*. Wiley, 1996.
- [2] Prékopa A. *Stochastic Programming*. Revised Edition. Springer, 2014. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-3087-7>
- [3] Haldar A., Mahadevan S. *Probability, Reliability, and Statistical Methods in Engineering Design*. Wiley, 2017.
- [4] Magana A. J., Silva Couthino G. *Modeling and simulation exercises for the computational engineering workforce // Computer Applications in Engineering Education*. 2017. Vol. 25, no. 1, pp. 62–78. <https://doi.org/10.1002/cae.21779>
- [5] Yermaganbetova S. K., Abylkasymova A. E., Baishagirov K. Zh. *The Content and Methodological Features of Professionally Oriented Training of Engineering Students in Higher Mathematics // Higher Education for the Future*. 2023. Vol. 11, no. 1, pp. 60–75. <https://doi.org/10.1177/23476311231207681>
- [6] Sipos D., Bendea C., Kocsis I. *Improvement of Stochastic Modelling Skills for a Sustainable Education in Engineering // Journal of Sustainable Energy*. 2024. Vol. 15, no. 1. Available at: http://www.energy-cie.ro/archives/2024/nr_1/v15-n1-4.pdf
- [7] Gardiner C. *Elements of Stochastic Methods*. AIP Publishing LLC, 2021. <https://doi.org/10.1063/9780735423718>
- [8] Yazdani A., Ghohani Arab H., Rashki M. *Simplified spectral stochastic finite element formulations for uncertainty quantification of engineering structures // Structures*. 2020. Vol. 28, pp. 1924–1945. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.09.040>
- [9] Frejd P., Bergsten C. *Mathematical modelling as a professional task // Educational Studies in Mathematics*. 2016. Vol. 91, pp. 11–35. <https://doi.org/10.1007/s10649-015-9654-7>
- [10] Walrand J. *Probability in Electrical Engineering and Computer Science*. Springer, 2020. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-49995-2>
- [11] Russell S., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson Education, Inc., 2020. <https://doi.org/10.5555/3475636>

А.Б. Кокажаева^{1*}, А.М. Оспанова¹, Б.Д. Майбазарова¹, Г.Р.Бергенжанова²

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

²Г.Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: kokazaeamangul@gmail.com

МЕКТЕП ГЕОМЕТРИЯ КУРСЫН ОҚЫТУДА ОҚУШЫЛАРДЫҢ ЛОГИКАЛЫҚ ОЙЛАУ DAҒДЫЛАРЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУ

Аңдатпа

Мектеп геометрия курсының негізгі мақсаты оқушылардың логикалық ойлау дағдыларын қалыптастыру болып табылады. Мақалада оқушылардың логикалық ойлауын дұрыс дамытуда мектеп геометрия курсындағы тапсырмалардың маңыздылығы туралы қарастырылады. Сонымен қатар, геометрияда берілген есептердің мазмұнның көптеген оқулықтарда дұрыс аударылмай немесе есепті шығаруға қажетті элементтері толық берілмейтіндігі жайлы және оқушылардың логикалық ойлау дағдыларын қалыптастыруға, дамытуға негіз болатын тиімді әдіс-тәсілдер туралы, мақсаты мен өзектілігі жайлы баяндалған. Анықтамаларды тұжырымдау, теоремаларды дәлелдеу барысында, мүмкін болған жағдайда, геометриялық сызбаларды тиімді пайдалана білу оқушылардың белсенділігін арттырып, материалды толыққанды игерге көмектеседі. Оқушылар берілген есептердің мазмұнын толыққанды түсінген кезде ғана, геометриялық фигуралардың кеңістікте орналасуларын елестете білу дағдылары дұрыс қалыптасады, яғни қандай да бір ізделінді геометриялық фигураны берілген элементтері бойынша анализ жасап, жан-жақты талқылай отырып, логикалық ойлау қабілеттері дамиды. Сондай-ақ, әрбір есептің шығарылуы геометриялық фигуралардың сызбасын дұрыс сыза білумен қатар, оны алдын-ала талдау, есеп шешімінің дұрыстығын дәлелдеу және шешімін зерттеу кезеңдерінен тұрады. Алайда, мектеп геометрия курсы оқытуда оқушылардың логикалық ойлау дағдыларын дамытудың қажеттілігі геометрия есептерін оқыту мәселесінің өзектілігін анықтайды.

Түйін сөздер: геометрия курсы, мотивация, логикалық ойлау дағдысы, тиімді әдіс-тәсілдер, тәжірибе.

А.Б. Кокажаева¹, А.М. Оспанова¹, Б.Д. Майбазарова¹, Г.Р. Бергенжанова²

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

²Алматинский университет энергетика связи имени Г.Даукеева, г. Алматы, Республика Казахстан

ФОРМИРОВАНИЕ У УЧАЩИХСЯ НАВЫКОВ ЛОГИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ ПРИ ОБУЧЕНИИ ШКОЛЬНОМУ КУРСУ ГЕОМЕТРИИ

Аннотация

Основной целью школьного курса геометрии является формирование у учащихся навыков логического мышления. В статье рассматривается значение заданий в школьном курсе геометрии для правильного развития логического мышления учащихся. Кроме того, учитывая, что во многих учебниках геометрии представленные задания переведены неточно или условия, необходимые для решения задачи представлены недостаточно, изложены актуальность, цель и эффективные подходы к формированию и развитию у учащихся навыков логического мышления. Умение эффективно использовать геометрические чертежи при формулировании определений, аргументации теорем, когда это возможно, способствует повышению активности учащихся и полноценному усвоению материала. Только при полноценном понимании учащимися содержания заданных задач правильно формируются навыки воображения пространственного расположения геометрических фигур, то есть развиваются способности к логическому мышлению с анализом и всесторонним обсуждением той или иной искомой геометрической фигуры по заданным элементам. Также, решение каждой задачи включает в себя, помимо умения правильно чертить геометрических фигур, но и умения проводить предварительный анализ, обоснование правильности решения задачи и исследование решения. Однако необходимость развития у учащихся навыков логического мышления в преподавании школьного курса геометрии определяет актуальность вопроса обучения решению геометрических задач.

Ключевые слова: курс геометрии, мотивация, навыки логического мышления, эффективные приемы, практика.

A.B. Kokazhaeva *¹, A.M. Ospanova ¹, B.D. Maibasarova ¹, G.R. Bergenzhanova ²

¹Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan

²Almaty University Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeyev, Almaty, Kazakhstan

FORMATION OF STUDENTS' LOGICAL THINKING SKILLS WHEN TEACHING A SCHOOL GEOMETRY COURSE

Abstract

The main goal of the school geometry course is to develop students' logical thinking skills. The article discusses the importance of the tasks of the school geometry course for the correct development of the logical thinking of students. In addition, the geometry states that the submitted reports in many textbooks are incorrectly translated or incomplete content elements necessary for the development of the report are presented, and effective approaches that contribute to the formation, development of students' logical thinking skills, purpose and relevance. It is only when students fully understand the content of the given tasks that the skills of imagining the spatial arrangement of geometric shapes are properly formed, that is, the ability to think logically develops with the analysis and comprehensive discussion of a particular desired geometric shape according to the specified elements. In addition, the release of each report includes, in addition to the ability to correctly draw a diagram of geometric shapes, the stages of its preliminary analysis, justification of the correctness of the decision of the report and investigation of the decision. However, the need for students to develop logical thinking skills in teaching the school course in geometry determines the relevance of the issue of teaching geometry calculations.

Keywords: geometry course, motivation, logical thinking skills, effective techniques, practice.

Негізгі ережелер

Мектеп геометрия курсында оқушыларға алдымен жазықтықтағы геометриялық фигуралар туралы түсініктерін қалыптастырып, содан кейін кеңістіктегі геометриялық фигуралардың элементтері оқытылады. Бұлай оқыту психологиялық тұрғыдан қолайлы және оқушылардың қарапайым ойлау дағдыларын дамытуға да тиімді екендігі барша ұстаздар қауымына мәлім. Жалпы оқушылардың логикалық дағдыларын дамытуға негізделінген есептерді шешу барысында олардан өз пайымдауларының дұрыстығын дәлелдеуді талап етіп, әрқайсысының пікірімен санасып және қателіктерін дұрыстауға бағыт бағдар беруде мұғалімнің ықпалы зор.

Геометриялық есептерді шешуде оқушылар оның мәтінін түсініп, практикалық маңыздылығын білулері керек.

Әдетте, кез-келген математикадан берілген есептердің шығару жолдары белгілі бір стандартты жүйеге келтіру арқылы шешілетін болса, ал геометриялық есептерді шешу олай емес, себебі бұл жерде әр есептің мағынасын жете түсініп, әр фигураның өз ерекшелігіне сай олардың арасындағы ұқсастық пен айырмашылықтарын ажырата білу қажет.

Кіріспе

Кез-келген адам күн сайын өзінің жадында сақталатын және мінез-құлқына, психикасына әсер ететін көптеген мәліметтерді қабылдағанымен оның дұрыс бұрыстығын алғашқыда өздері де сезбей қалып жатады. Ал енді осындай түрлі ақпараттарды мектеп қабырғасындағы пәндерге байланысты қарастыратын болсақ, оны жүйелеу оңай емес, сондықтан да бұл ақпараттарды өңдеуге, дұрыс шешім шығаруға мұғалімдер оқушыларға бағыт беріп көмектеседі. Әдетте, ақпараттың талдануы және тұжырым жасалуы әр адамның өзіндік ойлау жүйесіне байланысты [1,2]. Бастауыш сынып оқушыларында бейнелі ойлау дамыған болса, орта және жоғары сынып оқушыларында ересектерге тән логикалық ойлау дамиды. Сондықтан оқушылардың логикалық ойлауын дұрыс дамыту үшін мектептегі оқу пәндерінің маңыздылығы жоғары. Барлық мектеп бағдарламаларында математиканы оқытудың басты мақсаттарының бірі оқушылардың логикалық ойлауын дамыту ретінде атап өтіледі. Алайда,

математика бағдарламаларында бұл мақсаттың нақты бір тұрақты ережесі жоқ болғандықтан, әр мұғалім оны өзінше түсінеді. Оқушылардың логикалық ойлауын кез-келген сабақта дамытуға болады, ал соның ішінде геометрияның алатын орны ерекше. Жалпы алғанда, оқушылардың геометриялық есептерді шығару барысындағы логикалық ойлау дағдыларын дамыту мәселесі мектептегі математикалық білім беруді ізгілендіру идеяларын жүзеге асыруға байланысты ерекше *өзектілікке* ие.

1. Оқушыларға геометриялық материалды оқытудың негізгі міндеттері: олардың анық және дұрыс геометриялық бейнелер жасау, логикалық ойлауын дамыту, кеңістіктік бейнелерді елестете білу, сондай-ақ практикалық маңызы бар күнделікті тұрмыс-тіршілікте кездесетін суреттерді салу және өлшеу дағдыларымен қаруландыру, сол арқылы геометрия курсы жүйелі, әрі табысты оқыту болып табылады.

2. Оқулықтарда көптеп кездесетін толыққанды берілмеген есептердің мазмұнын ашуға, олардың жауабына сәйкес келетін шығару жолдарын таба білуге дағдыландыру керек.

3. Геометриялық есептерді шешуде оқушылардың логикалық ойлау дағдыларын қалыптастыру олардың жалпы оқу үлгеріміне және шығармашылық қабілеттеріне оң әсерін тигізеді.

Біз мақалада осындай *өзекті мәселеге* негізделінген геометрия пәнін оқытуда оқушылардың логикалық ойлау дағдыларын қалай арттыруға болатындығын қарастыруды жөн көрдік. Геометрия сабағында оқушылардың мотивациясын көтеру арқылы олардың логикалық ойлау қабілеттерін дамытуға негіз болатын тиімді әдіс-тәсілдерді қарастырамыз.

Зерттеу мақсаты: Мектеп геометрия курсындағы есептердің берілу шарттарының оқушылардың логикалық ойлауына әсерін анықтау.

Жалпы алғанда, қандай да бір объектілерді зерттеуде логикалық ойлау оларды келесі бір объекті арқылы салыстыру, ортақ қасиеттері мен айырмашылықтарын табу арқылы тұжырым жасау болып табылады. Ал, мектеп қабырғасындағы оқушылардың логикалық дағдыларын дамыту сайып келгенде білім алуға келіп тіреледі.

Заман талабына сай оқушылардың математикалық-логикалық ойлауын дамыту мәселесі педагогикалық және әдістемелік әдебиеттерде жеткілікті түрде қарастырылған. Бұл мәселені зерттеумен көптеген отандық математик-ғалымдар айналысқан [3].

Оқушының логикалық ойлауы тек мектеп пәндерін оқытумен ғана дамымайды, оған басқа да көптеген факторлар әсер ететіні баршаға мәлім. Нақтырақ айтатын болсақ: олардың ересектермен, құрдастарымен қарым-қатынасы, айналасында болып жатқан құбылыстар және т.б. Ал мектеп геометрия курсында оқушылардың логикалық ойлау дағдыларын дамытудың ерекшелігі әртүрлі фигуралармен жұмыс жасай білу біліктілігіне байланысты болмақ, яғни тұжырымдамалар мен пайымдаулар жүргізіп, қорытынды шығару барысында айқындалады [4]. Осындай жұмыстармен жиі айналысқан оқушылар өздерінің логикалық ойлау дағдыларын дамытып, «ойша» әрекет ете бастайды және өзгелердің ойларына да талдау жасайды. Балалардың ойлауын дамыту туралы М.Жұмабаевтың пайымдауынша: «Ойлау жанның өте бір қиын, терең ісі. Жас балаға ойлау тым ауыр, сондықтан әр істі жайлап бастау керек. Оқулықтағы берілген тапсырмалар, суреттер балаға дұрыс әсер ететіндей, олардың оқуға, білімге деген ынта-ықыласын, құштарлығын арттыруы тиіс» делінген [5].

Зерттеу әдіснамасы

Жалпы мектеп оқушыларының әртүрлі геометриялық есептерді талдау, синтездеу, салыстыру, жіктеу нәтижесінде олардың білім, білік дағдылары дұрыс қалыптаса бастайды. Сонымен қатар, оқу процесінде бала өз іс-әрекеттерін жоспарлауға, уақытты тиімді пайдалануға, нәтижені қорытындылауға дағдыланады. Сондықтан мектеп оқушыларының логикалық ойлау қабілеттерін дұрыс қалыптастырып, дамыту үшін сабақта шығаратын есептердің мазмұны дұрыс болу керек және қарапайымнан күрделіге қарай жүргізу қажет. Біз мақалада бір ғана геометриялық есепті шығарудың бірнеше жағдайларын қарастырып, салыстыра отырып шығарудың тиімділігін көрсеттік.

Зерттеу мектеп геометрия курсының оқыту әдістемесін жетілдіру арқылы оқушылардың логикалық ойлау дағдыларын дамытуға бағытталынды. Эксперимент Алматы қаласының М. Ганди атындағы №92 мамандандырылған лицейінің 9-сынып оқушыларымен жүргізілді. Зерттеуде эксперименттік және бақылау топтары қатыстырылды. Эксперименттік топқа арнайы таңдалған логикалық есептер мен интерактивті тапсырмалар дайындалды, ал бақылау тобына дәстүрлі әдістер қолданылды. Зерттеу барысында келесі әдістер қолданылды:

Талдау және синтездеу: Геометриялық есептерді талдау, жіктеу және синтездеу арқылы оқушылардың логикалық ойлау деңгейі бағаланды;

Салыстыру: Эксперименттік және бақылау топтарының нәтижелері салыстырылды;

Интерактивті құралдар: GeoGebra және Mathcad бағдарламалары оқушылардың кеңістіктік және логикалық ойлауын жетілдіру үшін пайдаланылды;

Сауалнама: Сабақтан кейінгі сауалнамалар арқылы оқушылардың оқу процесіне қызығушылық деңгейі анықталды.

Зерттеу нәтижелері

Геометриялық зерттеулер арқылы оқушы объектілерді салыстырудың негізгі принциптерін үйренеді, логикалық дағдысы дамиды. Оқушы геометриялық фигуралардың пішінін, ұзындығын, ауданын, көлемін және басқа да атрибуттарын бақылай отырып, ол дененің жазықтықта немесе кеңістікте орналасқанын визуалды түрде елестете алады [6]. Осылай оқушыларды геометриялық есептерді шығару барысында логикалық ойлауларын арттыру үшін оқу процесіне қызықты тапсырмаларды қосу қажет. Сондай-ақ әрбір тапсырманы оқушылармен бірге талқылап отырып орындауды ұсынамыз, себебі талқылау барысында әр баланың көзқарасы әртүрлі екенін, бірінің байқағанын келесі біреуі байқамайтындығын көреміз, бұл әдіс оқушылардың жан-жақты дамуына көмегін тигізеді.

Енді сөзіміз нақтырақ болу үшін оқушылардың логикалық ойлау деңгейін тексеріп көру мақсатында жүргізілген мына бір экспериментті мысал ретінде келтіріп көрелік: 10 түрлі геометриялық көрнекілік заттарды алып, олардың ішінде: көлемі бойынша ең үлкені, бірақ массасы бойынша жеңіл; ең ауыр, бірақ көлемі бойынша ең кішісі; ұзындығы бойынша ең ұзыны, бірақ өте жұқа заттар алып оқушыға ең үлкен немесе ең кіші затты табуға тапсырма берілді [7].

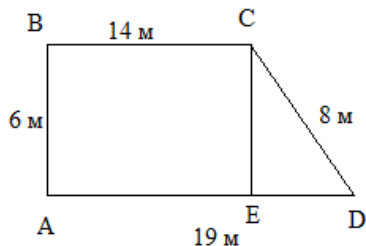
Оқушы көзбен көріп тұрған ең үлкен немесе ең кіші затын міндетті түрде көрсетеді, алайда ол қате болып табылады. Бұл сұрақ оңай болып көрінгенімен, логикалық тұрғыдан дұрыс қойылмаған, бұл жерде заттардың қандай қасиеті (ұзындығы, массасы немесе көлемі және т.б.) бойынша таңдау керек екендігі көрсетілмеді. Сондықтан, оқушылар сұрақтың жауабын нақты бере алмайды.

Геометриядағы кейбір есептерді шешуде геометриялық, алгебралық және аралас әдістерді қолдануға болады. Кез-келген есепті геометриялық әдіспен шешуде оқушылардан логикалық тұрғыда ойланып, белгілі теоремаларды негізге ала отырып, ережеге немесе заңдылықтарға сүйену арқылы дәлелдеу талап етіледі. Ал алгебралық әдіспен шешуде есепте берілген өлшемдерге сәйкес белгісіз өлшемді тікелей есептеу арқылы (мысалы биіктік, аудан, көлем және т.б.) табу керек. Аралас әдісті қолдануда белгісіз шаманы жан-жақты басқа геометриялық элементтермен байланыстыра отырып тікелей есептеу немесе тендеу, кейде тендеулер жүйесін құру арқылы анықтаймыз.

1 - Есеп. Трапецияның табандары 14 м және 19 м, бүйір қабырғалары 6 м және 8 м. Трапецияның бұрыштарын табындар.

Есепке анализ жасау. Есептің мәтінін толық оқып болғаннан соң берілген шартына анализ жүргіземіз. Соған сәйкес жоғарыдағы есепке талдау жасайтын болсақ, бірнеше жеткіліксіз шарттарды байқауға болады. Мысалы, есептің берілгенінде трапецияның қай түрі екендігі айтылмаған. Ал оқушылар трапецияның төрт түрі бар екендігін біледі, сондықтан есепті жауабымен сәйкестендіріп шешу үшін бірнеше жағдайда қарастыруларына тура келеді. Енді берілген есепті шығарудың жолдарын қарастыралық.

1-жағдай. Бұл трапецияның тең бүйірлі трапеция емес екендігі анық, себебі бүйір қабырғаларының ұзындығы әртүрлі. Онда берілген трапецияны тік бұрышты трапеция деп қарастырайық (1-сурет).



Сурет 1. Тік бұрышты трапеция

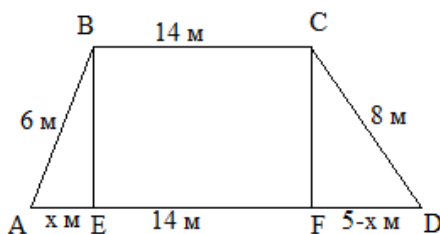
$ABCD$ трапециясын салып CE биіктігін түсіреміз, сәйкесінше $CE = 6$ м болады, $BC = AE$ болғандықтан, $ED = 5$ м. Енді дұрыстығын тексерейік. Тексеру үшін Пифагор теоремасын пайдаланамыз: «Тікбұрышты үшбұрыштың гипотенузасының квадраты оның былайғы екі катеттерінің ұзындықтарының квадраттарының қосындысына тең болады». CED үшбұрышы тік бұрышты, Пифагор теоремасын қолданып $ED = 5$ м екендігін тексереміз:

$$ED = \sqrt{CD^2 - CE^2}$$

$$ED = \sqrt{8^2 - 6^2} = \sqrt{64 - 36} = \sqrt{28} \neq 5$$

Демек, $ABCD$ трапециясы тік бұрышты трапеция емес.

2-жағдай. Берілген $ABCD$ трапециясын бүйір қабырғалары әртүрлі және табанындағы бұрыштары сүйір болатындай етіп салып, есепті шешеміз (2-сурет).



Сурет 2. Бүйір қабырғалары әртүрлі трапеция

$ABCD$ трапециясына BE және CF биіктіктерін жүргіземіз, пайда болған BC мен EF кесінділері тең және 14 м, ал AD 19 м және AE , EF , FD кесінділеріне бөлінген. BE және CF биіктіктерін жүргізу арқылы, пайда болған ABE және CDF тікбұрышты үшбұрыштарына Пифагор теоремасын қолданып трапецияның биіктігін табамыз.

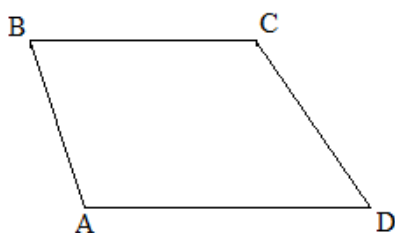
$$\begin{aligned} \Delta ABE : \quad BE &= \sqrt{AB^2 - AE^2} \\ &= \sqrt{6^2 - x^2} \\ \Delta CDF : \quad CF &= \sqrt{CD^2 - FD^2} \\ &= \sqrt{8^2 - (5-x)^2} \end{aligned}$$

Бұл жерден $BE = CF$ болғандықтан:

$$\begin{aligned}\sqrt{6^2 - x^2} &= \sqrt{8^2 - (5 - x)^2} \\ 6^2 - x^2 &= 8^2 - (5 - x)^2 \\ 36 - x^2 &= 64 - 25 + 10x - x^2 \\ 10x &= 36 - 64 + 25 \\ 10x &= -3 \\ x &= -0,3\end{aligned}$$

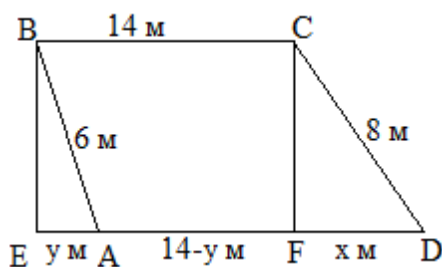
екендігін анықтаймыз, олай болса $AE = 0,3$ м, ал кесіндінің ұзындығы теріс сан шықпайтындығын білеміз. Демек, ABE үшбұрышы тікбұрышты емес доғал бұрышты үшбұрыш екендігіне көзіміз жетті және доғал бұрышты үшбұрыштың биіктігі фигураның сыртында орналасады.

3-жағдай. $ABCD$ трапециясының BAD бұрышы доғал болатындай етіп қайтадан саламыз (3-сурет).



Сурет 3. Доғал бұрышты трапеция

Енді осы трапецияға BE және CF биіктіктерін жүргіземіз және есепті одан әрі шешеміз (4-сурет).



Сурет 4. Тік бұрышты трапеция

BE және CF биіктіктерін жүргізу арқылы, пайда болған ABE және CDF тікбұрышты үшбұрыштарына Пифагор теоремасын қолданып трапецияның биіктігін табамыз.

$$\begin{aligned}\Delta ABE : \quad BE &= \sqrt{AB^2 - AE^2} \\ BE &= \sqrt{6^2 - y^2} \\ \Delta CDF : \quad CF &= \sqrt{CD^2 - FD^2} \\ CF &= \sqrt{8^2 - x^2}\end{aligned}$$

Бұл жерден $BE = CF$ болғандықтан:

$$\begin{aligned}\sqrt{6^2 - y^2} &= \sqrt{8^2 - x^2} \\ 36 - y^2 &= 64 - x^2\end{aligned}$$

Ал, $AD = 19$ м болғандықтан, $AD = AF + FD$

$$14 - y + x = 19$$

$$x - y = 5$$

$$x = 5 + y$$

$$36 - y^2 = 64 - (5 + y)^2$$

$$36 - y^2 = 64 - 25 - 10y - y^2$$

$$10y = 64 - 25 - 36$$

$$10y = 3$$

$$y = \frac{3}{10} \text{ (м)}$$

$$x = 5 \frac{3}{10} \text{ (м)}$$

$$BE = CF = \sqrt{6^2 - 0,3^2} = \sqrt{36 - 0,09} = \sqrt{35,91} \text{ (м)}$$

Есеп дұрыс шешілді, енді осы алған мәндерімізді пайдаланып берілген есептің жауабын табамыз. Ол үшін ABE және CDF тікбұрышты үшбұрыштарына, осы үшбұрыштың сүйір бұрышын, яғни, тікбұрышты үшбұрыштың сүйір бұрышының косинусы деп осы бұрышқа іргелес жатқан катеттің гипотенузаға қатынасын айтады деген анықтаманы қолданып $ABCD$ трапециясының бұрыштарын анықтаймыз. Анықтамаға сәйкес:

$$\Delta ABE : \quad \cos A = \frac{AE}{AB}$$

$$\Delta CDF : \quad \cos D = \frac{DF}{AB}$$

$$\cos A = \frac{3}{10} \cdot \frac{1}{6} = \frac{1}{20}$$

$$\cos D = \frac{53}{10} \cdot \frac{1}{8} = \frac{53}{80}$$

Осы бұрыштарды пайдалану арқылы трапецияның бұрыштарын табамыз:

$$\cos \angle BAD = \cos(180^\circ - \angle A) = -\frac{1}{20}$$

$$\cos \angle ABC = \cos \angle BAE = \frac{1}{20}$$

$$\cos \angle ADC = \frac{53}{80}$$

$$\cos \angle BCD = \cos(180^\circ - \angle D) = -\frac{53}{80}$$

$$\text{Жауабы: } \cos \angle BAD = -\frac{1}{20}; \cos \angle ABC = \frac{1}{20}; \cos \angle ADC = \frac{53}{80}; \cos \angle BCD = -\frac{53}{80};$$

Геометрия сабағында оқушылардың логикалық ойлауын дамытудың тағы бір түрі, ол стандартты емес есептерді шешу болып табылады. Стандартты емес есептер белгілі бір дәрежеде шығармашылық принципті қамтиды, оны репродуктивті шешу әдістерімен анықтау мүмкін емес және оқушылардың өз беттерінше ізденуге бағыттайды.

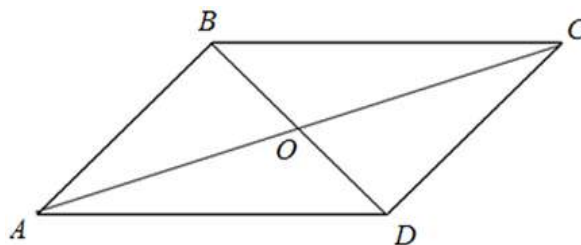
Стандартты емес есептерді шешу барысында оқушылар өздерінің теориялық білімдерінің үйлесімі ретінде берілген фигуралардың қасиеттерінің ұқсастығын көрсететін элементтерді біріктіру арқылы есептің шығару жолын анықтай білу дағдыларын қалыптастырады. Енді осыған байланысты оқушылардың талдау, салыстыру дағдыларының дамытуға ықпал ететін үшбұрыштар мен көпбұрыштардың аудандары бойынша берілген стандартты емес есепті қарастырып көрелік.

2 - Есеп. Төртбұрыштың әрбір диагонали оны, аудандары бірдей болатын үшбұрыштарға бөледі. Берілген төртбұрыштың параллелограмм екенін дәлелдеңіздер (5 - сурет).

Берілгені: $ABCD$ – төртбұрышы. AC , BD - оның диагональдары.

$$\begin{aligned} S(\triangle AOB) &= S_1, S(\triangle BOC) = S_2 \\ S(\triangle COD) &= S_3, S(\triangle AOD) = S_4 \\ S_1 + S_2 &= S_3 + S_4 \quad S_1 + S_4 = S_3 + S_2 \end{aligned}$$

Дәлелдеу керек. $ABCD$ – төртбұрышының параллелограмм екендігін.



Сурет 5. $ABCD$ – төртбұрышы

Дәлелдеуі:

1. есептің шарты бойынша $S_1 + S_2 = S_3 + S_4$ және $S_1 + S_4 = S_3 + S_2$ теңдіктерінен алатынымыз: $S_1 = S_3$ және $S_2 = S_4$. $\frac{S_1}{S_2} = \frac{AO}{OC}$; $\frac{S_3}{S_4} = \frac{OC}{AO}$ екендігін ескереміз;

2. AOB , BOC , COD , AOD (1-ші тұжырым бойынша) үшбұрыштарының биіктіктері тең, олай болса олардың аудандары табандарының ұзындықтарына тең.

3. 1-ші тұжырым бойынша $\frac{AO}{OC} = \frac{OC}{AO}$ тең болғандықтан: $AO = OC$.

4. Олай болса, $BO = OD$ тең екендігін көруге болады.

Осылайша, төртбұрыш диагональдарының қиылысу нүктесінде екіге бөлінеді, ендеше үшбұрыштың ұқсастығының үшінші белгісі бойынша $ABCD$ параллелограмм. Дәлелдеу керектігі де осы еді.

Талқылау

Мектеп оқушылары геометриялық есептерді шығарғанда оның мағынасын дұрыс түсінбегендіктен сызбасын дұрыс сыза алмайды, сонымен қатар есепті шығарудың негізгі әдістерін білмеу және меңгерген теорияларын практикада тиімді қолдана алмау сияқты қиындықтарға тап болады. Дәл сол қиындық жоғарыда көрсетілген есепті шешу барысында да кездесті.

Аталмыш тақырыпты зерттеу жұмыстары Алматы қаласындағы М. Ганди атындағы № 92 мамандандырылған лицейдің 9 «А» және «В» сынып оқушыларының қатысуымен жүргізілді. Геометрия сабақтарында әртүрлі әдістер арқылы есептер шығартылды. Эксперименттік есептер 9 сыныптың геометрия оқулығынан алынды. Бірінші эксперименттік 9 «В» сыныптағы оқушылардың назарын бірден тапсырманың мазмұнын толыққанды оқып шығып, оның берілуіне көңіл аударуларын талап еттік. Сондықтан, оқушылар есепті шығаруды бірнеше жағдайда қарастыру керектігін бірден байқады.

Ал, екінші бақылау 9 «А» сыныбындағы оқушыларға ешқандай нұсқаусыз өз беттерінше шығаруды ұйғардық. Олардың ешқайсысы есептің жауабын дұрыс таба алмады, сызбасын сызуға тырысқанымен ешқандай нәтиже бермеді. Сондықтан оқушыларды сабаққа сұрақ жауап арқылы қатысуларын қадағалап, трапеция жайлы мәліметтерді толықтырып және осыған дейін өтілген тақырыптарды қамти отырып есепке талдау жасадық. Есептің шартында трапецияның нақты қай түрі екендігі анық айтылмағандықтан, яғни есептің берілгені толық болмағандықтан трапеция ұғымы туралы түсіндірме жұмыстарын жүргізіп, оқушылардың геометрияға деген қызығушылығын арттырдық.

Нәтижесінде әрбір геометриялық элементке баса мән бере отырып қойылған сұрақтар оқушылардың логикалық ойлауын шыңдады. Есепті шешу барысында қосымша айнымалылар енгізу әдістерін қолдандық. 2-ші және 3-ші жағдайларда теоремаларды негізге ала отырып, теңдеу құру арқылы аралас әдіспен есептің шешімін таптық.

Зерттеуіміздің нәтижелері 9 «А» бақылау сыныбының оқушыларына қарағанда эксперименттік 9 «В» сынып оқушыларының оқу үлгерімдері бастапқы білімдеріне қарағанда 25 %-ға артқандығын байқатты.

Негізгі мектеп оқушыларының геометриялық есептерді шешуде қиындықтарға үнемі кездесетіндігін, соның ішінде қиындығы орташа және күрделі есептерді шеше алмайтындығын байқадық және оның келесідей бірнеше себептері анықталды:

- біріншіден оқушылар өтілген тақырыптарды жүйелі түрде бір-бірімен байланыстыра алмайды, себебі геометрия сабақтары жоғары сыныптарда толыққанды жүргізілмейді;
- екіншіден, мұғалімдер оқушыларды ҰБТ-ға дайындалуға бағыттап, геометрия есептеріне көңіл бөле бермейтіндіктері;
- үшіншіден мектептерде геометрия сабағына бөлінген сағат санының аздығы, соған сай тақырыптардың мағынасы ауқымды көлемде ашылмағандықтан оқушыларда жүйелі түрде түсінік қалыптаспайды.

Геометрия сабағында оқушыларға берілген тапсырманы орындау барысын бақылай отырып олардың фигураны көз алдына елестете алмайтындығын (визуализация) аңғардық. Бұл мәселені шешу үшін оқушыларға математикалық модельді, сонымен қоса әртүрлі заманауи қосымшаларды (GeoGebra, Mathcad және т.б.) пайдаланып, фигуралармен жұмыс жүргізу қажеттілігі туындайтындығы көрініп тұр. Сондай-ақ оқушылар есептің шешімін табу процесінде көп қиналады, оны болдырмау үшін оқушыларға геометрия мен логиканың және математиканың арасындағы байланыстарды тереңірек түсіндіру қажет.

Бақылау және эксперименттік топтарындағы сабақтың қорытындыларын салыстырғаннан кейін, зерттеуімізге сәйкес келесідей нәтижелер байқалды:

Логикалық ойлау қабілеттерінің өсуі: Эксперименттік топтағы оқушылардың логикалық есептерді шешудегі нәтижелері 25%-ға артты. Әсіресе, геометриялық фигуралар арасындағы байланыстарды анықтау және оларды дәлелдеу барысында айтарлықтай жетістіктер байқалды.

Интерактивті тапсырмалардың әсері: Интерактивті құралдарды қолданған оқушылар кеңістіктік елестету және аналитикалық ойлау қабілеттерінің біршама артқандықтарын көрінді.

Тапсырмалардың мотивациялық мәні: Берілген тапсырмалардың мазмұнына қарай алдынала дайындалынған логикалық сұрақтар оқушылардың пәнге қызығушылығын арттырып, шығармашылық ойлау қабілетін дамытты.

Қорытынды

Оқушылардың танымдық іс-әрекетінде үлкен орын алатын ақыл-ой тәрбиесін дамытуда геометриялық фигураларды және оның элементтерін оқыту бүгінгі күннің өзекті мәселелерінің бірі екендігі барша ұстаздар қауымына мәлім. Оқушыларға геометриялық есептерді шешудің тиімді әдіс-тәсілдерін үйретудің негізгі міндеттері: оларды анық және дұрыс геометриялық бейнелерді жасай білуге баулу, логикалық ойлауын дамыту, кеңістіктік бейнелерді елестете білу, сондай-ақ практикалық маңызы бар күнделікті тұрмыс-тіршілікте кездесетін суреттерді салу және өлшеу дағдыларымен қаруландыру, сол арқылы геометрия курсын жүйелі, әрі табысты оқыту болып табылады [8].

Жалпы алғанда, қоршаған ортадағы геометриялық бейнелерді көруге, олардың қасиеттерін ерекшелуге, фигураларды құрастыруға, түрлендіруге және біріктіруге, сызба түрінде бейнелеуге, қажет болған жағдайда өлшемдерді орындауға үйрету.

Оқушылардың логикалық ойлауын дамыту пәнге деген қызығушылықты арттырады және олардың шығармашылық қабілеттерін дамытады. Жаңалыққа деген құштарлық, болмыстың ішкі сырына үңілуге деген құлшыныс мектеп қабырғасында туады. Заман талабына сай мектеп

ұстаздары оқушылардың өз жоспарлары мен армандарын жүзеге асыруына, ғылым мен өмірде ізденіс жолын оңтайлы табуға бағыттауға, қабілеттерін жан-жақты ашуға ықпал етулері қажет [9].

Мектеп оқушыларына геометрияны оқытқанда әр баланың логикалық ойлауын дамытуға ұмтылу керек. Сонымен қатар, оқулықтарда көптеп кездесетін толыққанды берілмеген есептердің мазмұнын ашуға, олардың жауабына сәйкес келетін шығару жолдарын таба білуге дағдыландыру керек.

Сонымен, оқушылардың логикалық ойлау дағдыларын дамытуға негізделген дайындық жұмыстарды 5-6 сыныптарда практикалық сипаттағы сюжеттік, логикалық есептерді шешу барысында жүргізу қажет. Оқушыларға есептерде берілген суретті қолдана отырып, белгілі бір алгоритм құру немесе есептің берілгені бойынша сипатталған жағдайды елестету арқылы ойлау қабілеттерін қалыптастыру қажет деп есептейміз.

Оқушыларға геометрия элементтерін үйрету олардың тек геометриялық ойлауының ғана емес, жалпы логикалық және кеңістіктік ойлауының табиғи даму бағытына сәйкес келуіне әкеледі.

Қорыта айтқанда, мектепте геометриялық есептерді шығарудың міндеті оқушылардың бойындағы дағдыларын, яғни кеңістіктік елестету, практикалық ойлау, логикалық ойлауларын дамыту болып табылады.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, геометриялық есептерді шешуде оқушылардың логикалық ойлау дағдыларын қалыптастыру олардың жалпы оқу үлгеріміне және шығармашылық қабілеттеріне оң әсерін тигізеді. Эксперименттік топта логикалық ойлаудың айтарлықтай дамуы байқалды, бұл оқытудың интерактивті әдістері мен тиімді тапсырмаларды қолданудың маңыздылығын дәлелдейді.

Логикалық ойлау дағдыларын дамыту оқушыларға тек математиканы жақсы түсінуге ғана емес, сонымен қатар олардың күнделікті өмірде мәселелерді шешу қабілеттерін де арттырады. Мұғалімдерге нұсқаулық ретінде сабақ барысында логикалық тапсырмалар мен интерактивті құралдарды кеңінен қолдану арқылы оқушылардың қызығушылығын арттыру ұсынылады.

Пайдаланылған деректеркөздер тізімі

- [1] Саулебаев, Б.А. Ғылыми жұмыс: «Геометрияны оқыту әдістемесі». – 2019. – 30 б. https://ust.kz/word/gylymi_jumys_geometriyani_oqyty_adistemesi-144206.html
- [2] Смирнов, В.А., Тұяқов, Е.А. Геометрия 8 сынып [Мәтін].- Алматы, 2018. – 143 б. https://kzgdz.com/8-class/geometry-smirnov-8-2018/#google_vignette
- [3] Orinova Feruza. *European Journal of Research and Reflection in Educational Sciences: «The development of logical thinking of primary school students in mathematics».* - Vol. 8 No. 2, 2020 Part II.- Page 235-239. <https://scientists.uz/view.php?id=162>
- [4] Abylkassymova, A., Ardabayeva A., Shuakayev M., Tuyakov Y., Zhumaliyeva L, Khyrkhyrbay Z. (2022). *Methods of teaching geometry in the framework of the updated curriculum in mainstream education.* *Cypriot Journal of Educational Sciences.* DOI: [10.18844/cjes.v17i9.8135](https://doi.org/10.18844/cjes.v17i9.8135)
- [5] Бекболғанова А.Қ., *Математика сабағында оқушылардың логикалық ойлауын дамыту,* ҚҰҚПУ Хабаршысы № 1(81), 2020 <https://orcid.org/0000-0002-9260-8253>
- Математикадан «Логикалық ойлауды жетілдіру» // Инфоурок. [Электронды ресурс].– URL: https://infourok.ru/matematikadan_logikaly_oylaudy_zhetildru-340091.htm*
- [6] Shatokhina I.V., *Methodological aspects of teaching geometry in the plane with the application of information technology* *Научное обозрение. Педагогические науки.* – 2019. – № 4 (part 1) – P. 129-133 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39164615>
- [7] Шыныбеков, Ә.Н., Шыныбеков, Д.Ә., Жұмбабаев Р.Н. *Геометрия 9 сынып [Мәтін].- Алматы, 2019. -176 б. <https://elibrary.ru/item.asp?id=39164615>*
- [8] Serin, Hamdi. (2018). *Perspectives on the Teaching of Geometry: Teaching and Learning Methods.* *Journal of Education and Training.* <https://www.researchgate.net/publication/323373285>

[9] Age, Terungwa & Machaba, France. (2023). Effect of mathematical software on senior secondary school students' achievement in geometry. *EUREKA Social and Humanities*. 2023. 82-93. 10.21303/2504-5571.2023.003151. <https://unisouthafr.academia.edu/AgeTerungwa>

References

[1] Saulebaev, B.A. (2019) Gylymi zhmys: «Geometriyani okytu adistemesi» [Research paper Geometry Study Guide]. 30. (In Kazakh). https://ust.kz/word/gylymi_jumys_geometriyani_oqyty_adistemesi-144206.html

[2] Smirnov, V.A., Tyakov, E.A. (2018) Geometriya 8 synyp [Geometry grade 8] [Matin]. Almaty,.143. (In Kazakh). https://kzgdz.com/8-class/geometry-smirnov-8-2018/#google_vignette

[3] Orinova Feruza. *European Journal of Research and Reflection in Educational Sciences: «The development of logical thinking of primary school students in mathematics»*. - Vol. 8 No. 2, 2020 Part II.- Page 235-239. <https://scientists.uz/view.php?id=162>

[4] Abylkassymova A., Ardabayeva A., Shuakayev M., Tuyakov Y., Zhumaliyeva L., Khyrkhyrbay Z. (2022). Methods of teaching geometry in the framework of the updated curriculum in mainstream education. *Cypriot Journal of Educational Sciences*. 17. 3568-3577. 10.18844/cjes.v17i9.8135. <https://unipub.eu/ojs/index.php/cjes/login>

[5] Bekbolzanova A.K., *Matematika sabażynda oqushylardyń logikalıq ojlauyn damytu, ҚҰҚПУ Хабаршысы № 1(81), 2020 (In Kazakh)* <https://orcid.org/0000-0002-9260-8253>

[6] Shatokhina I.V., (2019) Methodological aspects of teaching geometry in the plane with the application of information technology *Nauchnoe obozrenie. Pedagogicheskie nauki. № 4 part 1* 129-133 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39164615>

[7] Shynybekov, Ә.N., Shynybekov, D.Ә., Zhumabaev R.N. (2019) Geometrija 9 synyp [Geometry grade 9] [Matin]. Almaty,176. (In Kazakh). <https://elibrary.ru/item.asp?id=39164615>

[8] Serin, Hamdi. (2018). Perspectives on the Teaching of Geometry: Teaching and Learning Methods. *Journal of Education and Training*. <https://www.researchgate.net/publication/323373285>

[9] Age, Terungwa, Machaba, France. (2023). Effect of mathematical software on senior secondary school students' achievement in geometry. *EUREKA Social and Humanities*. 2023. 82-93. 10.21303/2504-5571.2023.003151. <https://unisouthafr.academia.edu/AgeTerungwa>

Ж.А. Сартабанов¹, А.К. Шауқенбаева^{1*}

¹Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан
*e-mail: akzada_2009mail.ru

МАТЕМАТИКА ТАРИХЫНДАҒЫ АҚИҚАТТАРДЫ ЖӘНЕ ФАРАБИ МҰРАСЫН ИГІЛІКТЕНДІРУ МӘСЕЛЕСІ

Аңдатпа

Қазіргі ұлт мектептерінде математика және оның тарихы жайында сөз қозғағанда ұстаздар кеңестік дәуірде жазылған әдебиеттерді қолдануда. Ол әдебиеттерде алғашқы математикалық деректер Бабылдықтар мен Мысырлықтардан жеткенін мойындай отырып, математикалық ғылымның қалыптасуын ежелгі гректерге іштарта, ал бабыл-мысырлықтарды сырттата жазған. Мысырлықтарды жаулап алған гректіктер бабылдықтармен салыстырғанда мысырлықтарға іштарта сипаттаған. Математикалық ілімі өнер туралы деректер бір ұлттық тілде өрнектелгенімен, сол ұлтты қоршаған көрші қоныстас ежелгі ұлттарға ортақ рухани байлық екені белгілі. Гректік әдебиеттерде бабылдық және мысырлық елдермен қоныстас ұлттар мен гректік емес ұлттардың даналары аталмайды. Бодандық елдердің дүниеауи және рухани байлықтары таза гректік дүниеге айналдырыла суреттелген. Дәл осы жағдай кейінгі орта ғасырлық исламдық кезең тарихында да орын алған. Дамыған арабтық өркениеттің математикалық ғылыми байлығы өліп қалған латын тілінде еуропалық дүниеге ауысқан. Бұл – руханияттылық кеңістіктегі калониялық тәсіл. Мақала математиканың дамуындағы аталған тарихи қиянаттардан тарихи ақиқаттарға шынайылықпен қарауға арналған. Тұрандық ортаазиялық елдердің ежелгі математиканың қалыптасуына қатыстығы пайымдалған. Осы бағытта ұлт мақтанышы Әл-Фарабидің математикалық мұрасының жалпы математика тарихындағы алатын орнына лайықты ой бөлінген. Қорытынды бөлігінде Фараби мұраларын ұлттық мектептер оқулығына түгел енгізу мәселесі мен тарихи ақиқаттарды игіліктендіру шаралары көтерілген. Мақала мектеп ұстаздарына, физика-математикалық мамандар мен студенттерге арналған және мектеп оқушыларына да пайдалы болмақ деп есептейміз.

Түйін сөздер: математика тарихы; тарихи ақиқат; арғы түркі - парсы – мысыр деректері; ежелгі грек ғылымы; араб-латын математикасы; фарабилік мұра; ақиқат пен мұраны игіліктендіру.

Ж.А. Сартабанов¹, А.К. Шауқенбаева¹

¹Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, г. Актобе, Казахстан

ПРОБЛЕМА ВОПЛОЩЕНИЯ В ЖИЗНЬ ИСТИН В ИСТОРИИ МАТЕМАТИКИ И НАСЛЕДИЯ ФАРАБИ

Аннотация

Говоря об истории математики в современных национальных школах учителя используют литературу, написанную в советское время. В этих изданиях, признавая, что первые математические факты дошли до нас от вавилонян и египтян, заслуги греков в формировании математической науки описываются слишком сильно возвышенным, хотя первые элементы науки все же принадлежат египтянам и вавилонянам. Если сравнить участие в этом деле египтян и вавилонян между собой, то греки покорившие египтяне, предпочтение дают египтянам, чем вавилонян. Этими образовались пятна в истории. Математическая наука была важным направлением цивилизации в древние времена. Хотя дошедшие до нас первые математические сведения написаны на языке одной нации, но они являются общим достоянием, духовным богатством всех соседних народов, окружающих эту нацию. В греческой литературе, следовательно, в литературе вообще о сопредельных с египтянами и вавилонянами народах и об их ученых, за исключением греков, не упоминаются. Такое пренебрежения характерно завоевателям. Все материальные и духовные богатства завоеванных египтян списаны, превращая их в чисто греческие. Такое обстоятельство имело место и в средневековой исламской истории. Математические и научные богатства развитой арабской цивилизации того времени переводятся на давно умерший латынский язык и они становились европейскими. Это есть способ колониалзаторов присвоения богатств в духовном пространстве. Статья посвящена установлению

исторических истин в развитии математики и описанию их со справедливым взглядом без кривотолков. Приводятся суждения об участии вместе с другими и среднеазиатских туранских народов в формировании древних математических понятий и фактов. В этом направлении представляются определенные серьезные мысли о значении наследия Фараби-гордости нации на фоне общего средневекового развития математической науки. В заключительной части поднимаются вопросы о внедрении всех фарабийских наследий в национальные школьные учебники и об использовании исторических истин и наследий в жизни и в патриотическом воспитании будущих поколений.

Ключевые слова: история математики; историческая истина; древне тюркско-персидско-египетские факты; древнегреческая наука; арабо - латинская математика; фарабийское наследие; воплощение истин и наследия.

Zh.A. Sartabanov¹, A.K. Shaukenbaeva¹

¹K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan

THE PROBLEM OF THE ANNUNCIATION OF TRUTHS AND FARABI'S HERITAGE IN THE HISTORY OF MATHEMATICS

Abstract

When talking about mathematics and its history in modern national schools, teachers use literature written during the Soviet era. In those literatures, while acknowledging that the first mathematical data came from the Babylonians and Egyptians, they write that the formation of the science of mathematics should be attributed not to the ancient Greeks, but also not to the Babylonians-Egyptians. The Greeks, who conquered the Egyptians, compared the Babylonians to the Egyptians. Mathematical science was an important branch of civilization in ancient times. Although its information is set forth in one national language, it is known to be the common spiritual wealth of the neighboring ancient peoples surrounding this nation. Because the owners of this wealth are the peoples of this region. In Greek literature there is no mention of the peoples who settled in Babylonian and Egyptian countries, nor of the sages of the non-Greek nations. The worldly and spiritual Babylonians of the country of Bodan are depicted in the pure Greek world. All the wealth was given to Pythagoras and Euclid, and the rest was related to historical truths. The same situation occurred in the history of the medieval period. The mathematical and scientific wealth of the developed Arab civilization was transmitted to the European world in dead Latin. Asian nations and rulers are not mentioned, with the exception of Al-Khorezmi. On the other hand, it is known that the names of European nations and scholars are widely used in the literature. This is a colonial approach to spiritual space. In this regard, we draw attention to the fact that this approach is still very popular and is gaining distribution. The article is devoted to the realistic approach to historical truths in the development of mathematics. In this direction, due attention is paid to the national pride of Al-Farabi's mathematical heritage. In the final part, the problem of inclusion of Farabi's heritage in the textbooks of national schools and measures to promote historical truths was raised. The article is intended primarily for teachers of general education schools. In addition, we believe that it will be useful for physics and mathematics specialists, students and schoolchildren.

Keywords: history of mathematics, historical truth, national student level, national teaching level, Turkic-Persian-Egyptian mathematics, ancient Greek mathematics, Arabic and Latin mathematics, Mathematical heritage of Farabi, honoring truth and heritage.

Негізі ережелер

Мақала мектеп мұғаліміне өте қажетті, математиканың қалыптасуына және дамуына ортаазиялық халықтардың, оның ішінде қазақ халқының қатысы жайлы мәселеден туындаған. Тарихи ақпараттарды жаңа заман тарапынан зерделеудің негізінде түзілген осы мақаланың арқауы мен қортынды-нәтижелері төмендегі тұжырымдармен сыйпатталады.

Алғашқы математикалық шамаларды таңбалау, тасқа жазып, оқып үйрену өнері әліп – биі ерте дамыған шумерлік-бабылдық және олармен көрші –қоныстас елдердің ортақ мәдениеті екендігі негізделеді. Ондай көршілес елдердің бірі-ортаазиялықтар. Демек, Тұран ойпаты мен қос дария өзендерінің бойын жайлаған халықтардың математикалық ұғым деректердің өнер-білім-ғылым болып ежелгі қалыптасуына тікелей қатысы барлығы айғақталады.

Бабылдықтардың оңтүстік–батысындағы көршілес мысырлық елде математикалық өнер–білім қарқынды дамып, ғылымдық деңгейге жеткені ескі жәдігерлер мен тарихтан белгілі. Грекиялық мысыр дәуірінде математикалық ғылым бір жүйеге түсіріліп, қағаз бетінен орын алады. Математиканың ғылыми дамуының жүйелі сатысы мысырлық грекияның еншісінде. Мақалада бірнеше тарихи бұрмалаулардың ақиқаты ашылады. Азиялық бабылдықтар мен мысырлық ғылыми жетістіктер нақақтан грекиялықтарға меншіктелуі көрсетіледі.

Математиканың ғылыми дамуының мәуелі сатысы ортағасырлық дәуірде, бұрынғы бабылдықтардың жұртында араб –парсы–ортаазиялық елдердің Хорезми мен Фараби бастаған ғалымдардың үлесіне жататындығы шынайы нақтыланады. Жоғарғы математиканың қазіргі қарқынды дамуындағы Фараби мұраларының тарихи орны тың деректермен айқындалады. Осындай ақиқаттармен қазақ халқының қазргі математикасының дамуына тікелей қатысы бар екендігіне көңіл аударылады. Математикалық ғылымның европалануындағы бұрмалануларға да ой бөлінеді.

Ұлт мақтанышы Фарабидің математикалық мұраларын ұлттық мектеп оқулықтарына терең енгізу арқылы игіліктендіру жайлы ұсыныстар келтіріледі. Мекте ұстаздарына қажетті Фараби даналығы қысқа–нұсқа беріледі.

Кіріспе

Мақалада ұлтымыздың ежелгі заманда көрші–қоныстас өркениетті ұлттармен бірге ғылымның даму толқынының көш бастауында тұрып, ұстаздықтан шәкірттік күйге түскенімізді, одан Фараби заманында ұстаздық мәртебеге көтеріліп, сосын тағыда үйренуші жағдайға ығысып, қазіргі ғылымның дамуында ұлтымыз қайтадан биікке өрлеу кезеңінде екендігін паш етіп, ұлт болашақтарына осы жолда Ұлы Ұстаз ғылымы мен өнегелерін үлгі студің жолдарын көрсетуді мақсат тұттық.

Қазақ ұлтының тарихы хандық дәуірмен шектелмейді. Оның тарихы қыпшақ, хазар, оғыз, ғұн, сақ, скиф, терминдерімен сипатталады. Ендеше, қазақ ұлтының, кемінде б.д.д. X ғасырдан басталатын, үш мың жылдық тарихы бар.

Дамудың қазіргі толқынындағы мектеп оқушыларымен математика жайында әңгіме қозғасақ, көптеген сұрақтар туындайды. Атап айтсақ, әлемдік математика ғылымының еліміздегі қолданыстылық орны; математикалық дерек, ұғым, білім және ғылым дегеніміздің мән-мағыналары; алғашқы математикалық деректер мен ұғымдардың қайда және қашан пайда болуы; олардың қалыптасуына халықтар мен елдердің қатысы; математиканың кейінгі ғылыми дамуындағы халықтар мен ұлы ғалымдардың орындары; осы бағытта ежелгі түркі тілді елдердің ғалымдарының айрықша орны және олардың математиканың дамуына қосқан үлестері; математикадағы орны бар елдер мен ғалымдардың аттары кейінгі математикалық оқулықтарда кездеспейтіндігінің сыры, тағы басқа мәселелер осы зерттеуді жүргізуге себеп болды. Зерттеу алдымен, турандық – ортаазиялқ ұлттар мен ұлыстардың тек ортағасырлық дәуірде ғана емес, математиканың бастапқы дамуына қатыстылығын пайымдауға, сосын қазіргі жасанды интеллектуалдық және цифрлық технологияларды дамытып жатқан заманауи математиканың негізіндегі Фараби еңбектерінің айшықты тарихи орнын көрсетуге арналған. Соңында Фараби өнегесін ұлт болашағының бойына сіңірудің жолдарын қарастырдық.

Мақалада көтерілген үш мәселе. 1⁰. Түркі – тұрандықтардың алғашқы математикалық ұғымдар мен деректік білімдердің қалыптасуына қатыстылығы; 2⁰. Олардың ортағасырлық ғұламаларының бірегейі – Фарабидің математикалық еуропалық дамуындағы орны; 3⁰. Фараби мұрасының ұрпағына жұғыстығы арқылы оның қазіргі ұрпақтарының ғылыми рухын көтеру жолдарын негіздеу – зерттеудің пәнін, мақсаты мен нақтыланған болжамдарын қамтиды.

Мақала *математикалық ғылым бастауы - шығыстың білімінің көлеңкесі және оның тарихи ақиқаттары* қағидасымен басталып, олардың кейінгі ортағасырлық дамуы Ұлы ұстаз-ғалым *Фараби мысалымен* көтеріледі. Бұл мәселелердің ашылуының болашақ жеткіншектер үшін біліми, тарихи және рухани патриоттық тәрбиелік маңызы жоқ емес. Осы

мәселелерді шешудің іргелі жолы математика тарихындағы ақиқаттарды аша айтудан және Фарабидің математикалық мұраларымен ұлттық заманауи мектептерді ақпараттандырудан басталуы керектігін сөз етеміз.

Қазақ – күнгейлік ел, *көлеңкедегінің көлеңкесі болмайды* деген мақалы бар халық. Кеңестік дәуірде шығыс ғылымына және тарихына Одақтың көлеңкесінде отырып, гректік-еуропалық дүрбімен қарадық. Ендігі егемендік дәуірде тарихқа-ғылымға қазақтың шынайы ұлттық көзімен қарау – ақиқат, әділдік болмақ.

Халқымыз Фараби рухын көтеру – Ел Президенті Қасым-Жомарт Тоқаевтың алғашқы көтерген ұлттық мәселелерінің бірегейі деп есептейді. Ол Президент ретінде салтанатты ұлықтаудағы өзінің «Аманатқа адал болу – қасиетті парыз» атты сөзінде «Шығыстың ұлы ұстазы Әл-Фараби адамдарды әділ болуға, ақиқатты сүйеге, ар-намысты қастерлеуге, сабырлы болуға және қашанда білімге ұмтылуға үндеді» дей келе, алдымен қанатты сөзді жастарға арнап отырғанын жеткізген. «Жастар жаңа білім алуға, тың тәжірибе жинауға көп еңбектенуі керек, үйренетін емес, өзгеге үйрететін ұлтқа айналуымыз қажет, тұтынушы емес, жаңа дүниені өндіруші ұлт атануымыз керек» деген жүрек жарды сөздері, Елбасының әдемі ойы, жастарға айтқан асыл ақылы ұран күйінде қалмауын қамтамасыз ету – заман талабы.

Әл-Фараби тек ғылымда ғана емес, тұрмыстағы сөз саптауында да ойлар логикалық жүйеде және математикалық ғылыми құрылымдар негізінде баяндалып, дәйектемелік деректермен тыянақталуын уағыздады. Дүниенің мөлшерлік қасиеттерінің кеңістікте уақытпен өзгеруін оның болмыстылығының анықтамасы екендігіне назар аударады. Математиканың табиғатты танудағы орнын терең түсінуге шақырды.

Мақалада Қазақ ұлтының арғы бабалары математикалық ғылымда шәкірттік күйден ұстаздық күйге көтерілген кезеңі болғаны баяндалады.

Әл-Фарабиді атақты философ, емші-дәруіш математик Абу Сина (980-1037) ұлы ғұлама деп бағалап, Аристотельден кейінгі Шығыстың ұстазы атандырды. Бабамыз – ғұламалық пен ұстаздықтың тізгіндерін қосып ұстаған сирек ғалым.

Әл-Фарабидің жаратылыстануындағы еңбектерін Оксфорд университетінде оқыған, кейін, математика мен физикадан сабақ берген, кемеңгер философ Бэкон Роджер (1214-1294) Ұлы Ұстаз есімін Евклидпен және Птоломеймен қатар қойған. Демек, оны математика мен астрономия ғылымдарының негіздерін салушылар қатарында мойындаған.

Көптеген іргелі ғылымда бірі – музыкатанушы, екіншісі – логик-философ Симон және Раймон Луллийлер теорияларын негіздеуде Ұлы ұстаздың еңбектеріне сүйенген. Ендеше, Әл-Фараби дыбыстар теориясын негіздеуде де математикалық тәсілдерді қолданған ғұламалардың алғашқылары қатарында, бастауында болды деп тұжырымдаймыз.

Ұлы ұстаз Фараби – XII-XIII ғасырлардағы әлемдік алғашқы еуропалық (Оксфорд, Париж, Кембридж т.б.) университеттерде оқытылған арифметикалық, геометриялық, астрономиялық және музыкалық өнер-ғылымдардың квадриумның негізін салушы. Ендеше, қазіргі математикалық ғылымның бастауындағы ұлы ғұламалар Р.Декарт, И.Ньютон, Г.Лейбниц, т.б. өздерінің бас қалаларында сақтаулы тұрған Әл-Фараби қолжазбаларымен Париж, Оксфорд, Берлин, т.б. кітаханаларынан білімдерін толықтырмағанына кім кепілдік бере алады?! Сондықтан Ұлы Ұстаз заманауи математика ғылымының негізін қалаушылар қатарында деп толық айта аламыз.

Осындай әлем мойындаған Ұлт мақтанышының мұрасын отандастарының игілігіне айналдыру мақаланың қорытындысы болып табылады.

Зерттеу әдіснамасы

Зерттеу өркениет тарихы бағытында, теориялық сипатта жүргізілген. Кеңестік Одақ 1990 жылдары ыдырап, егемендік алған қазақ елі бодан болғанға дейін қай кездері, қай жерлерде, қандай деңгейде өркениетті болғандығы жайлы тарихи сұрақтарға жауап іздеуді бастады. Осыған орай, өркениеттіліктің түбірлі саласы – математиканың дамуына, бір бөлігі қазақ ұлты

болып табылатын, түркі–тұрандық ежелгі бабалардың қатыстылығын қарастыру мәселесі туындады.

Бұл бағытта әлем мойындаған академик А.Н.Колмогоров кезеңдеген математика тарихын К.А.Рыбниковтың [1] іргелі еңбегі бойынша, туындалған мәселе тұрғысынан зерттеу жүргізуге тура келді. Тарихтың атасы гректік Геродот: “Тарихта шындық жасырылмай шырқалуы керек және тарихтың салқын немесе жылы тарта жырланғанына күмән тумауы абзал” деген екен. Кеңестік дәуірде құрандай көрген бұл [1] тарихнама Геродот талабына сай келе бермейтіндігі осы зерттеу өзегіне айналды.

Мақаланың мазмұны төменде келтірілген 10 мәселені қамтиды. Қолданылған негізгі әдістер тарихи деректер мен логикалық қағидалар болып табылады.

Зерттеу нәтижелері

1. Алғашқы математикалық деректер табылған өңірлер және олардың кезеңдері. Нәтижесі. Бұл мәселе жайлы бірінші басымдықта бабылдық елді, сосын, екінші басымдықта мысырлықтарды атауды жөн санаймыз.

Талқылауы. Қазіргі еуропалық тарихта бабылдық ел мысырлықтармен қатар аталынады. Біріншіден, шамалық деректер мен ұғымдар а) жер өлшеушілік, б) іскерлік-зергерлік, яғни қолөнерлік және в) құрылыстық–сәулетшілік өнерлерге байланысты қалыптасып дамыған. Барлық ұлттық елдерде а) және б) жағдайлар әртүрлі мүмкіндікте, әртүрлі дәрежеде дамыған. Ал в) жағдайға келсек, алғашқы әлемдік қаланы Ефрат-Тигр қос өзендерінің ең жақындасу өңіріне қаланы бабылдықтар арғы бағдаттықтар заманында салған. Дүниеден өткендерін мәңгілендіру үшін тастан ескерткіштік, құлпытастық белгілер қою да бабылдықтардың және орталық азиялықтардың қасиетті ортақ дәстүрі. Осы дерек – бабылдықтарды алға шығаратын бірінші тұжырым.

Екіншіден, бабылдықтар тасты тек қала салу үшін ғана қолданып қоймаған. Олар жазуын да тасқа ойған немесе бедерлеген. Сандарды тік қойса “сына” болатын, көлденең қойса “ілмек” болатын кескінде тасқа түсіріп, мәңгілік жазу өнерін қалдырған. Бұл тас дәуірінен келе жатқан дәстүр, біздің дәуірімізден алты мың жыл бұрынғы тарих.

Үшіншіден, бабылдықтар санауда 60-тық жүйені қолданған. Бұл жүйе 10-дық жүйемен салыстырғанда өте күрделі, қолданысқа ауыр жүйе болып табылады. Халық оңайды қиындатпаған, бірақ, қиынды оңайлатумен айналысқан. Ондық жүйеге бабылдықтар да кейін көшкен және бұл жүйе 60-тық жүйеден кейін пайда болғаны - тарихи ақиқат. Ондық жүйені, көп кейін, үнділіктер енгізгені мәлім.

Тастан құрылыс салу сәулеттік өнері мысырлықтарда да дамыған. Оларда өмірден өткен ел басқарған даналарын мәңгілендіру мақсатында пирамида түрінде қорымдық құрылыстар салу дәстүрі болған. Мұндай құрылыстар салу біздің дәуірімізге дейінгі 2 мың жылдықтың бергі маңайында қалыптасқан. Пирамидалар осы дәуірге жетіп отыр. Оларды салуда математиканың құдіреті пайдаланылғаны анық, бірақ, қолданған тастарының көлемдері мен салмақтарына байланысты салу әдістері әлі құпия.

Осы дәуірге жеткен мысырлықтардың математикалық деректері мен ұғымдары папириустың ішкі қабығына 10-дық жүйеде жазылған. Олардың математикалық жазулары бергі 10-дық жүйеде болуы, қамыс қабығы таспен салыстырғанда ұзақ сақталмайтындығы және пирамидалардың салыну дәуірінің осы дәуірге салыстырмалы жақын болуы мысырлық деректердің ежелдігін екінші басымдықта айтуға келтіреді.

Сонымен, алғашқы математикалық деректер мен ұғымдар алдымен бабылдықтарда, сосын мысырлықтарда қалыптасқан тұжырымы ойға оралады. Бұл – тарихи ақиқат.

Гректіктер, бабылдықтармен салыстырғанда, мысырлықтармен тығыз байланыста болған. Сондықтан, гректіктердің ғылымдарын ежелдендіре түспек үшін мысырлықтарға іштарпалық қағидасын ұстанған.

Ежелгі қытайлықтарда алғашқы математикалық деректер біздің дәуірімізге дейінгі XIV ғасырда, ал үнділіктерде біздің дәуірімізге дейінгі VIII ғасырларда пайда болғанын еске сала кеткен жөн.

2. Математикалық деректердің қалыптасуына ежелгі түркі тілді халықтардың қатысы. Бұл мәселе жайлы мәліметтер қазақы, жалпы түркі мектептерінің оқушыларын қызықтырары сөзсіз.

Зерттеу нәтижесі. Ең алғашқы математикалық ұғымдар мен деректер б.д.д. XX ғасырда 60-тық жүйеде тасқа “сыналы” әліпбиінде негізінен геометриялық мазмұнда жазылған есептер арқылы бабылдықтардан жеткен. Бұл жәдігер – өзара тығыз байланыста болған орта таяу шығысаялық тұран–бабыл–мысыр өркениеттік желісіне ортақ мәдениет ескерткіші.

Нәтиженің талқылауы. Ежелгі математикалық өнердің дамуын сөз қылсақ, сол кездегі тіршілік өнеріне көңіл аударуға тура келеді. Атап айтсақ, бабыл – мысырлықтар ыстыққа шықпай, бау–бақша, екпе–егін салумен, қол әдіскері–зергерлік жне құрлыс–сәулеттік өнерді игеруді бастаған шамада, тұрандық далалықтар жабайы жануарларды қолға үйретіп, жылқыны ең ұшқыр –жүйрік көлікке айналдырып; кең далада аспандағы жұлдызға қарап, жолдарының бағытын бағдарлап; жол ұзындығын аттың шабысымен барлап, уақытын ат шабысының жылдамдығымен өлшеп; тау - төбенің биіктігін оның көлеңкесімен анықтап; ауа–райын жаңа туған айдың жатысына қарап шамалап, адамның өмірін мүшел жастарға бөліп және жеті атамен таңбалап, алғашқы есептеу өнерін меңгерген.

Ұшқыр көлікті тұрандықтар шын–мәшін–мысыр және қап–балқан тауларынан байлық іздеп барып танысып, кейде табысып, кейде шабысып қайтуды өнер тұтып, аттылы тұрандықтар - сақтар атанған. Сондықтан тұрандықтардың есептік өнері қытай–үнді және бабыл – мысырдың өнерлерімен ұштасып дамуда болған.

Түркі елдердің өздерінің жазу өнері қазір VI ғасырға дейін болғандығы Күлтегін жырынан белгілі болып отыр. Көне *тұрандық жазу* бабылдықтардың *сыналы жазуы* кезінде де болғанын болжаймыз. Бірақ, ұлы далалық көшпенділік тұрмыстық құндылықтар сақтайтын қасиетті орны–адамның көкірегі болған тәрізді. Қазақтық қара есептерінің –ауыз әдебиеті арқылы қазіргі кезге дейін жетуі осы ойдың бір кепілі. Жұмбақ есептерді шешу дәстүрі жүлделі сайыстардың бір сыны болған. Сандық ой–есептеріне жүйріктілік–тапқырлық, шешендік, мергендік, жүректілік сияқты көшпенділердің асыл қасиеттерінің бірі.

Математикалық деректердің ортақтығы халықтардың қоныстастығына байланысты. Бабалдықтар қазіргі парсы тілді халықтардың ежелгі тайпасына жатса, қазіргі түркі тілді халықтарды ежелде скифтер деп атаған. Скифтер Көк теңіз – Каспий бойын жайлаған тайпа. Арал бойындағы скифтер сақ тайпасы атанған. Сақтар атты көлік ретінде өте ертеде жете меңгерген халық. Сондықтан жер алшақтығы сақтардың басқа елдермен араласуына кедергі бола алмаған. Сақтарды аттылы сақтар атаған.

Інжілдің ескі өсиетінде атты сақтар – скифтер “Ашкеназ” деп аталған және онда біздің дәуірімізге дейінгі VII ғасырда бабылдықтармен, ассириялықтармен және мысырлықтармен тығыз байланыста болғандығын келтіреді. Мысалы, сол ғасырдың басында скифтердің аттылы әскері Урарту, Мидия және Вавилонды шауып, сол дәуірдің 630 жылы Сирия арқылы өтіп, Египетті жаулады деген мәліметті келтіреді.

Ақтеңіз (Жерорта теңізі), Қаратеңіз, Көктеңіз (Каспий теңізі) және Арал теңізі аралығындағы халықтар ежелден өзара байланыста болғандығы қазақ тарихы мен әдебиетінен де белгілі. Мысалы, Арал бойындағы массагеттік сақ тайпасының ханшайымы Тұмариіс бике (Томирис) тарихы біздің дәуірімізге дейінгі 530 жылғы бабылдықтарды билеген парсылық патша Кирмен болған оқиғадан хабар береді. Сондай-ақ, біздің дәуірімізге дейінгі V ғасырдың соңында Мидия елінің Аралдың оңтүстігіндегі сақ тайпасына шапқыншылығына тойтарыс берген, сақтың Зарина патшайымының ерлігі туралы “Зарина-Стриангия” эпостық жыры да осындай текті Парсылармен байланысты сипаттайды. Қайтқанда Заринаның басына мысырлықтар сияқты үшбұрышты пирамида орнатады.

Демек, қазіргі түркі тілді халықтар – бабылдықтармен ежелден байланыста болған көрші-қоныстас елдер. Ендеше, түркі тілді халықтардың математикалық алғашқы деректер мен ұғымдардың қалыптасуына үлесі мол болған деген тұжырымды сенімді түрде айтуға болады.

Бұл тұжырымға қосымша ретінде түркі тілді елдердің басқа халықтармен, қазіргі жетекші елдермен салыстырғанда өзінің жазу мәдениеті ертерек VI-VIII ғасырларға дейін қалыптасқандығы жайлы “Күлтегін жазулары” деректерін еске саламыз. Бірақ, кейін ислам дінін қабылдауымызға байланысты араб әліп-биіне көшіп кеткенбіз. Түркі жазуы латын әліпбиі сияқты тарихтан өшкен.

Фараб сөзі қазақша *тарап* дегенді білдіреді. Дариялар теңізге тараулана құяды. Осыдан Сырдың төменгі ағысының тарабы деген ұғым шыққан. Отырар – дарияның төменгі, Арыспен қосылар тарабына орналасқан ежелгі қала болатын. Сондықтанда осы қала аймағы дария тарабы, демек, Фараб атанған.

Фараб-Бұхара-Самархан-Бағдат-Шам-Мысыр құрлықтық жолы – арғы ежелгі заманда түскен түркілік-парсылық-шумерлік-мысырлық халықтардың сауда-саттық, қарым-қатынастық, ғылыми және мәдени ынтымақтастығын анықтайтын ұлы жол. Бұл қасиетті керуен жолы, кем дегенде, біздің дәуірімізге дейінгі X-XII ғасырларда алғашқы ізін түсірген. Бабылдық Бағдат қаласы Ескендр Зұлхарнайын заманында да, кейінгі, Арабтық исламның үстемдік заманында да ғылыми-мәдени орталық болған. Ежелгі түркі халықтарының мөлшерлік атау-ұғымдары, ауызекі қара есептері осы ортақ өркениеттің тарихи жұрнақтары екендігін байқау қиынға соқпайды.

Олай болса, бабылдықтардың математикалық ілімі деректері тұрмыстық қалпы бір, тарихи дәстүрлері жақын, кейінгі діни сенімі бірдей, осы аталған халықтардың ортақ мұрасы тұжырымын ойға ұялатады. Бұл – өркениеттік дамудағы тарихи ақиқат.

3. *Математикалық ғылым және оның қалыптасуының ақиқаты* Бұл мәселе туралы айтсақ, *ғылым-дәлелі бар, негізделген білім тұжырымынан сөзімізді бастауымыз керек.*

Нәтижесі. Математикалық ғылымның негізін мысырлық-бабылдық –тұрандық ортаазиялық гұламалар бастапқы өнерлік дәрежеде қалаған. Математиканы–танымдық әдіснама түрінде теориялық ғылымға айналдырған Пифагор бастаған гректік гұламалар.

Нәтиженің талдауы. Бабылдық және мысырлық сәуегейлер: зергерлер мен өнерлі сәулетшілердің негізі өздерінің қолданысындағы математикалық ереже-тұжырымдардың дәлелдемелерін білген, демек, математикалық ілімнен хабарлары бар болған. Мысалы, қазіргі Пифагор атын жамылып жүрген, гипотенузаның квадраты катеттердің квадраттарының қосындысынан тұратындығы туралы тұжырымды олар дәлелдеулерімен білген және оған халықтық ілім ретінде қараған. Бірақ, Пифагор оның халықтық негіздеулерімен қатар, өзінің ойлап тапқан, көптеген жаңа дәлелдеулерін де қосқан. Демек, алғашқы математикалық деректер құрамында халықтық математикалық ғылым да болған. Самостық Пифагор тек дәлелдемелері бар математикалық тұжырымдарды жинастырумен және дәлелденбеген тұжырымдарды негіздеумен айналысқан. Кейін өзінің философиялық мектепіндегі шәкірттерінен осындай зерттеулер жүргізуді талап еткен. Осылайша Пифагор ғылымының негізін салушы ретінде танылған.

Пифагор ғылыми даналықты мысырлық ғалымдардан 22 жыл жүріп үйренген, қалғанын Бабылдың ғалымдарынан 12 жыл толықтырған. Осындай Пифагордың (б.д.д. 580-500ж) өмірінен және кейінгі Евклидтің (б.д.д. 360-300ж) өмірінен, біріншіден, Бабылдықтарда Мысырлықтарға қарағанда математикалық ғылым кең де, терең де дамығанын көреміз. Себебі, Мысырда 22 жыл аралаған ғалым, Бабылда тағы 12 жыл жұрмес еді. Мұны табылған деректерді салыстырып та көруге болады.

Екіншіден, Пифагор талай *Мысырлық және Бабылдық ғалымдардан көптеген ғылым үйренген* болар, бірақ, олардың аттары аталмайды. Осылайша жалғыз Пифагор бүкіл ғылымның негізін қалаушы болып шыққан. Сол сияқты, Александриядағы Евклидтің математикалық мектебінде де талай шығыстық даналар көп ғылымды түзген болар, бірақ,

оларды Евклид жиыстырып өзінің “Бастау” аталатын 13 кітабына енгізіп, шығыс ғалымдарының атын атамай, шығыстық рухани байлықты Евклид жалғыз иеленген.

Үшіншіден, бұл жерде Пифагордың математикалық ғылымдағы, ал, Евклидтің математикалық білімнің бастауындағы орындарын жүдетуден аулақпыз. Бірақ, математикалық ғылымының және математикалық білімнің бастауында тек ұлы грек халқының жекелеген ұлдары тұрды деп тұжырым жасау әділетсіздік екеніне назар аударамыз. Әділін айтсақ, математикалық ғылымның да, білімнің де негізін Бабылдық, Мысырлық және олармен көрші қоныстас Таяу және Орта Шығыс атанған Азиялық елдерінің Түркі тілді ғалымдары қалаған, ал гректік Пифагор мен Евклид бастаған ғалымдар математика ғылымының дауылды дамуының бастауында тұрды деу – ақиқат.

4. Математикалық білім мен ғылымның мысырлықтар арқылы грекиялық елге көшуі жайындағы ақиқат. Нәтижесі. Математикалық ғылым элементтері Мысырда гректіктерге қарағанда өте жоғарғы деңгейде болған. Гректіктер математиканы мысырлықтардан үйренген, сосын одан әрі дамытқан. Бұл мәселеге келсек, біздің дәуірімізге дейінгі VI-IV ғасырларда парсы-мысыр-грек елдерінің тарихына байланысты қажетті мәліметтерге жүгінеміз.

Нәтижені талқылау. Парсылар біздің дәуірімізге дейінгі VI – IV ғасырларда батыс Индиядан бастап, бүкіл бабылдық – ассириялық – мысырлық елдермен қоса, 480 жылы гректерді жаулап алған үлкен империя болған. Гректер сол дәуірдің 490 жылы Марафон маңында парсыларға соққы беріп, өздерін азат етеді. Грек патшалығының тағына сол дәуірдің 333 жылы Македониялық Филипп патша ұлы 22 жасар Александр патша отырып, Парсы империясын құлатып, Мысырды өзіне қаратып, орта Азияны жаулап алып, қыпшақтың бір сұлу қызын алып, Фараб-Бұхара-Самархан өркениетті жерлері арқылы Индияға жетеді. Вавилон оның империясының орталығы болмақ болған. Александр патшаның жаугершілік жолы сол заманғы өркеніті дамыған елдермен анықталды. Александр Македонский біздің дәуірімізден бұрын 323 жылы 33 жасында қайтыс болған. Ол жаулап алған жерлеріне грек тілін және грек өркениеттілігін жаюға тырысқан патша болған. Ол қайтыс болғаннан кейін, Александар Македонскийдің екі қолбасшысының бірі – Птоломей Египетті билеген, ал екіншісі – Селевк империяның солтүстік Шығысы – Сириялық жағын билеген. Империяның Кіші Азия, Македония және басқа гректік бөлігіне Римдіктер билік жүргізе бастаған. Парсылар, Индиялықтар, Орта Азиялықтар өз жөндерінде қалған. Ғылымды құрметтеген Птомолейлер әулеті Мысырда үш ғасыр билеп, Мысырдың дүниеауи және рухани - ғылыми байлықтарын өз игіліктеріне айналдырып, Мысыр дәулеті грек нәсілді Птоломейлер билеген этностың бодандығына енген. Птомолейліктер грекиялық өрнекте ЭлЕскендр (Александрия) қаласын Мысыр жеріне тұрғызып, оны Мысырдың грек мазмұнды саяси – мәдени – ғылыми орталығына айналдырған. Мысырды билеуге, оның ғылымы мен мәдениетін дамытуға грек нәсілдерді тартуы – калониялық жүйенің байрығы саясаты, бұл жолыда қапыда қалдырған жоқ.

Математикалық білім мен ғылымды бір жүйеге түсіруге және дамытуға Платонның бір шәкірті – Евклидті тартқан. Евклид бабыл-мысыр-грек ғалымдарынан тұратын математикалық мектебін құрған. Мектеп сол дәуірдің VI – IV ғасырлардағы Гиппократ, Пифагор, Евдокс, Теэтет, тағы басқалар жиыстырған бастапқы математика деректері мен жетістіктерін бір жүйеге түсіріп, өңдеген және қорытындылаған.

Сонымен қатар, Евклид мектебі бастапқы математиканың және оымен тығыз байланысты механиканың, астрономияның және музыканың қарқынды дамуына зор ықпал еткен.

Сол дәуірде “адам – ғибраттылықтың жаратушысы” деп таныған ұлы философ Сократтың шәкірті Платон мысырлықтар мен парсылықтарды аралап, шығыс даналықтарын грекияландырып, батыстық даналықтарға айналдырғанына назар аударған жөн. Платон философияға математикалық құрылымдар мен әдістерді енгізсе, ал оның екінші шәкірті Аристотель танымға физикалық және метафизикалық логиканы таратқан. Аристотель мысыр,

араб, бабыл, парсы, түркі, үнді халықтарын гректендіруді мақсат тұтқан Александр Македонскийдің ұстазы – тәрбиешісі.

Осылайша Македониялық гректердің жеңімпаз жаугершілігі арқасында Мысыр жерінде бүкіл танымдық ғылымдардың қос қанаты: жаратылыстану мен руханияттану ғылыми салалары шығыстық шапандарын шешіп, батыстық кафтан киген, қазіргі дүниеауи ғылымға айналған ақиқатқа келеміз.

5. Математиканың дамуының грекиялық алтын заманы және тоқырауы. Бұл мәселе жайлы қысқаша ой қозғасақ, ол дәуірде, біріншіден, қағаздың пайда болғанына және, екіншіден, жазу мәдениетінің жоғары деңгейде болғанына назар аударамыз. *Нәтижесі. Математикалық ғылым б.д.д. IV ғасыр мен осы дәуірдің V ғасыры аралығында грекиялық Мысырда орнықты. Математиканың дамуы Еуропада Римдік капиталистік дәуірге дейін тоқырауда болды.*

Бұл – белгілі тұжырым математиканың дамуының сабақтастығы үшін келтіріліп отыр және біз өз талқылауымызды ұсынып отырмыз.

Нәтиженің талқылауы. Математикалық ғылымның іргесінің бекуі біздің дәуірімізге дейінгі IV ғасырдағы Мысырлық Александрияда Евклид (360-300) мектебінің жинақтарынан басталып, сол дәуірдің III-I ғасырларындағы Сиракуздық Архимедтің (287-212), Кіші Азиялық (Пергамдық) Аполлонийдің (260-160) және басқа ғұламалар еңбектерімен орнығады.

Элементар математика біздің дәуіріміздің бастауында александриялық Герон, Птоломей, Диофант т.б. еңбектері негізінде I-III ғасырлық қарқынды дамуын жалғастырған.

Одан әрі, Римдік дәуірдің I- IV ғасырларында Афиндік гректер қоса өмір сүруде болды. Сондықтан Евклид, Архимед, Аполлоний т.б. гректік ұлы ғалымдар еңбектеріне комментарийлар жазылып, математиканың дамуы өз толықтыруларын тапқан. Бұл комментарийлар ғылымды дамытудың қазіргі ғылыми мақалалық зерттеулер тәсілінің бастауы еді.

Сөйтіп, өткен дәуірдің VI ғасыры мен біздің дәуірдің VI ғасыры аралығында Грек империясы ғалымдары Мысырдың Александрия қаласында математиканың ғылыми негізін қалады және оны қарқынды дамытты. Сондықтан бұл кезең элементар математиканың ғылыми дамуының александриялық-грекиялық алтын заманы деуге әбден лайық.

Осы жерде жалпы математикалық ғылымның дамуы Еуропаның тек грекиялық бөлігін ғана қамтығанына назар аударамыз. Ал империялық билік гректерден римдіктерге толық көшкен кезден бастап математика өз дамуын бәсеңдете түсіп, VI ғасырда дамуын тоқтатты десе де болғандай. Бұл гректік өркениетті жойып, ғылымға құштарлығы жоқ жаңа феодалдық римдік мәдениетті орнатудың нәтижесі еді. Осы тоқырау Еуропада XII ғасырға дейін созылды.

6. Математиканың қарқынды дамуының арабтық өркениетке ауысуы. Бұл мәселе туралы сөз бастасақ, VII ғасырда Арабтық Мекке және Мәдинада дүниеге келген Ислам дінінің тарихының бастауына жүгінеміз.

Нәтижесі. Арабтық өркениет рухани құндылықтарды дүниеауи байлықтардан жоғары қоя отырып, әлемдік кеңістікте, ислами дін аясында араб тілінде әділдікпен дамытуды қолдады. Сондықтан бұрынғы математикалық барлық жетістіктер арабтарға телінген жоқ. Математикалық даму табиғи жүйеде жалғасын тауып, қарқынды өркен жайды.

Нәтиженің талқылауы. Ғылымды хош көрген жаңа дін, христандық діннің 6 ғасырлық жолын 610-632 жылдардағы 22 жылда өтіп, Ислам өркениетін орнатуды жедел бастады. Адамдардың өзара құрметі мен әділдікті сүйген Ислам дінін Арабия төңірегінде әрі тез, әрі түгел қабылдады. Олардың құрамына Мысыр, Ассирия, Парсы, Түркі, Үнді, Орталық Азия, Ақтеңіз (Жерорта теңізі) маңы елдері кірді. Бағдаттың арабтық ғылым мен мәдениет орталығы болуын Ислам мақұл көрді. Сөйтіп, ӘлЕскендір-Дамшық-Бағдат-Самархан-Бұхара-Отрар өркениет желісі дамудың жаңа арабтық кезеңіне көшті. Араб тілі үстемдік алып, ресми құжаттар, тарихи-әдеби шығармалар, діни және ғылыми-мәдени ізденіс-зерттеулер араб тілінде қанат жайды. Бағдатта ескі бабылдық рух қайта оянып, жаратылыстану медреселері ашылып, астрономиялық абсерваториялар ұйымдастырылып, Даналық үйі бой көтерді.

Бағдаттың математик ғұламалары бабылдықтардың мұрасы 60-тық жүйелермен қатар, үнділік 10-дық жүйені де қатар қолданды. Олардың зертеулерінде екі бағыт айқын байқалады. Оның бірінің бастауында Орта Азиялық Әл-Хорезми тұрған алгебралық бағыттағы іргелі еңбектер. Хорезм тумасы, IX ғасырда өмір сүрген Мұхамед бен-Муса әл-Хорезмидің қолданған әл-Жебр-әл-Мұкабала тәсілі “Алгебра” атауын және оның есептеу ережесі – оның латынша аты “Алгоритм” терминін өмірге келтіріп отыр.

Екінші зерттеулер бағыты комментариялық тәсілде логика – арифметика – геометрия – астрономия – музыка салалары бойынша осы ғылымдардың негізін қалаған классик ғалымдардың зерттеулерін дамыту аясында жүргізілген, осы бағыттарды кемелдендіруге арналған. Бұл бағыттың арабтық бастауында Отырар тумасы Әбу Насыр Мұхаммед ибн Мұхаммед ибн Тархан ибн Ұзлақ Әл-Фараби ат-Турки еңбектері тұр. Әл-Фараби зерттеулері Аристотельдің логикалық, Гиппократ пен Евклидтің геометриялық, Птоломейдің астрономиялық еңбектерінің теориялық дамытуларына және олардың баяндамалық түсіндіру әдістеріне арналған. Ал, Оның музыкалық өнердің математикалық негізі жайындағы зерттеулері Әл-Фарабидің өзінің ғылыми өрнегіне жатады.

Осы екі бағытта XI-XV ғасырларда Шам-Бағдат, Отырар-Самархан, Хорезм-Бируни, Хорасан-Меруа, Бұхара-Ходжент т.б. өңірлерден шыққан Ислам елдерінің математик ғалымдары математиканың негізін салушыларды жалғастырушылар ретінде ондап-жүздеп саналады. Олардың қатарында, Әл-Хорезми және Әл-Фарабиден басқа, Әл-Хабаш (VIII-IX), Әл-Жауһари (IX), Абул Раф (X), Әл-Уклидиси (X), Әл-Бируни (X-XI), Ибн-Сина (X-XI), Әл-Карна (XI), Әл-Бака (XI), О.Хаям (XI-XII), Эт-Туси (XIII), Әр-Руми (XIV-XV), Әл-Каши (XV), Ұлықбек (XIV-XV), тағы басқаларды атауға болады. Сол себепті бұл элементар математиканың кемелдену кезеңін қазіргі математиканың негізінің дамуының арабтық алтын заманы деу әбден орынды.

Әл-Хорезми мұрасы математикада мәңгілік орын тепті. Ал, Әл-Фарабидің жаратылыстануда ғұлама – тұлғалық орны бар да, бірақ, ғылыми оқулықтарында аты аталмайды. Басты себеп – араб ғылымдары аталмай, латын тіліне гректік ғылымдарының атына көшіріле аударылуында. Осы кезеңде ғылымды кемелдендіре дамытудағы *арабтық ғалымдардың* және олардың артында тұрған *елдердің* еленбеуінің сыры арабтық шапанды еуропалық костюмге ауыстыруында, еуропалық дамыта аударушылардың атына көшуінде. Сондай-ақ, Ұлы ғұлама Фарабидің мұрасының ескерусіз қалуының бір себебі өзінің іргелі математикалық және астрономиялық зерттеулерін Евклид пен Птоломей еңбектері мен есімдеріне тіркеп, қарапайымдылықпен комментариялық деңгейге түсіре атағандығы да әсер еткен болу керек. Бұл да оның алдыңғылардың көлеңкесінде қалуына себеп болуы мүмкін.

7.Әл-Фараби даналығы және оның математикалық мұрасының ұлттық мектеп мұғалімі тарабынан баяндалуы. Бұл мәселеге келсек, әрбір пән ұстазы оның ғұламалығы жайында және өз пәні бойынша ғалымның мұрасы туралы нақты деректемелі әңгімені алғашқы кіріспе сабағында бастауы керек.

Нәтижесі. *Әл – Фараби тіл мен логика жаратылыстанудың физика, химия, биология, зоология тараулары, математика мен музыка, теология, саясат-құқықтану, қалалық елді басқару бойынша іргелі ғылыми еңбектер қалдырған; шығыстық ғұламалар Аристотельден кейінгі екінші ұстаз санаған, ал, батыстық ғұламалар Платон – Аристотель – Евклид – Птолейлердің жолын қуған, ортағасырлық көп ғылымның негіздерін қалаушы энциклопедист ғұлама атаған, ұлттық біртуар, дара да, дана да тұлға.*

Бұл тұжырым бұрыннан белгілі, бірақ, біз өз талқылауымызды ұсынып отырмыз.

Зерттеудің талқылауы. Фараби – энциклопедист ғалым, ғылымның барлық түрі бойынша терең ойлар мен дәлелді тұжырымдар қалдырған. Лингвистика, риторика, логика, философия, тарихи таным, руханияттық және жаратылыстық танымдар, математика, физика, астрономия, география, химия, биология, зоология, анатомия, теология және оның тарихы, саясаттану, пәндік әдістемелер, ұстаздық тағлымдар, музыкалық өнер, эстетика, әдептік ғұрыптар негізі,

тәрбиелік тағылымдар негізі, тағы басқа салалар – Фараби айналысқан ғылымдар. Олардың кейбіреулері заманауи мектептерде пәндік атаумен кездесе бермейтінін ескерген жөн.

Әл-Фараби тума – дарынды адам болған. Ол ғылыммен есейе келе, азамат болып қалыптасқан шағында айналысқан. Оның тілге шешендігі, қыпшақи логикалық ойлау қабілеті; шығыстық даналық пен ән-күйлік саздарды түсіну, түрлі музыкалық аспаптарды ойнай білуі; қайраттылыққа, ептілікке, шеберлікке келетін адами әдіс-айлаларды меңгерген; қолөнер мен сәулетшілік өнерді танитын; суармалы егістік еңбекті, төрттүлік малды жайлауды игерген; аттылы саққа тән жауынгерлікті білетін; сауда-саттық кәсіпті түсінетін; тарих-шежірені бойына сіңірген сегіз қырлылық – бір сырлылық қасиеттер ана сүтімен бойына енген, табиғи мінез-құлықты болатын.

Ол Ұлы Жібек жолының Отырар–Бұхара–Самархан тармағы бойындағы түркі әліп-биі мен тәңірге табынудың, елде жаңадан таралып жатқан араби жазба мен ислами дінге бет бұрыстың қыр-сырын меңгеріп, өмірдің адами рахаттарын ғылыми рухани қызықтарына бой алдыра бастайды. Білімін тереңдетуді түсініп, Бағдат–Мекке–Мысыр–Александрия өркениетіне енуді армандайды. Осылайша Әл-Фараби Бағдаттың Даналық үйінің төрінен орын алады, Сократ пен Платонның еңбектерін шығыс даналығымен салыстырып, Платонның екі шәкірті Аристотель мен Евклидтің логикалық және математикалық еңбектерімен және кейінгі ғалымдардың, әсіресе, Птоломейдің астрономиялық зерттеулерімен танысып, оларды әлі де жетілдіре дамыта түсудің қажеттігін біледі. Демалыс-тыныстау сәттерінде қыпшақтың әртүрлі ішекті-сыбызғылы аспаптарымен ойнап, парсылық-ассириялық-мысырлық аспаптарды меңгерумен айналысады, аспаптардың дыбыс ерекшеліктерін зерттеумен әуестенеді, дыбыстық теория жасауды ойластырады.

Әл-Фарабидің ғұламалығы жайында сөз қозғағанда қазіргі әдебиеттерде Платон–Аристотель–Евклид–Архимед–Птоломейлерден ешқандай ғылым қалмаған сияқты көрінеді. Мектеп ұстазының мақсаты олардың қазіргі ғылымдардың бастауында тұрғанын мойындай отырып, Әл-Фараби тарихи дамудың арабтық дәуіріндегі ұлы абстрактілі ойшыл философы, геометриялық тылсым-рухани ғылыми әдістің зергері, музыка теориясының негізін салушы және ұлы ұстаз екендігін жасөспірім болашақтың құлағына сіңіру болып табылады.

Шығыс философиясының біраз тұжырымдары аксиоматикалық формада, өсиет түрінде баяндалады. Әл-Фараби – оны кең және терең бойлаған шығыстың жұлдызы әрі дүлділі. Шығыс философиясына Сократша адами жылылық беріп, Платонша математикалық құрылымдар негізінде дәйектемелік әдістермен мақұлдатуды Әл-Фараби терең меңгерген. Ол Аристотельдің физикалық логикасын және метафизикалық ілімін кеңейте білген, тың ойлармен толықтырған және ұстаздық кемеңгерлікпен түсіндіре білген. Сондықтан да, Әбу-Сина шиеленісті-күрмеуі көп логикалық теорияның негіздерін, мазмұнын ортайтпай, дамыта, көкірекке құя білген ғұлама – Әл-Фарабиді *шығыстың бірінші, батыстың* Аристотельден кейінгі, *екінші ұстазы* атандырған.

Адами бес сезім күшімен шешілетін геометриялық есептер баршылық. Олардың көптеген түрлері Евклидтің Бастамаларында келтірілген. Әл-Фараби мән-мағынасын бес сезім арқылы ұстап, көңілге түюге болмайтын геометриялық есептер түрі бар екеніне назар аударған алғашқы геометр болып табылады. Ондай есептерді шешу үшін табиғи бес сезім жеткіліксіз деген. Оларға адами түйсіктік, ой-саналық, көзден жүйрік, рухани алтыншы *ой сезімді* қосу керектігін айтқан. Демек, Фараби тылсым рухани әдістермен зерделенетін геометриялық құпияларды ашумен айналысу мәселесін қояды. Евклидтің Бастамаларындағы шикіліктерді пісіріп, баяндауды ұстаздық ұстанымдармен толықтырып, геометриялық дамудың жаңа асқақтату аясына көтерілу мәселесін қойған ұлы математика ғұламасы.

Математиканың гректік даму кезеңі өзінің шарықтау шегіне жеткеннен кейін, дамудың толықтыру – жетілдіру – саралау кезеңіне түседі. Осы тұста классикалық жетістіктерге комментариялық – сараптамалық толықтырулар негіздегі зерттеулер орын алады. Олардың бастауында Гемин, Теон, Гипатия, Папп, Прокл, Евтокий, тағы басқа ғалымдар тұрды. Бұл

дәстүр Арабтық дәуірде Әл-Хорезми, Әл-Фараби, Әл-Бируни, Әл-Ферғани бастаған шығыстың шоқ жұлдыздары еңбектерімен жалғасын тапты.

Әл-Фараби – Александриялық Птоломейдің астрономиялық көп кітапты еңбегіне көп тараулық сараптама жүргізген алғашқы ғалымдардың бірегейі. Бұл зерттеудің 14 тарауы тригонометриялық және 45 тарауы астрономиялық бақылаулық–теориялық бағытты дамытуға арналған. Сөйтіп, Әл-Фараби тригонометрия мен астрономия негіздерін қалауға өзінің бедерлі таңбасын қалдырған математик–ұстаз, әрі астроном. Тригонометриялық негізгі ұғымдардың анықтамаларын ол үнділерден бөлек, өзінің ұстаздық дарынымен, ғылыми ұғынықтылығын қамти, өзгеше түрде берген атаулармен атаған. Кейін оларды еуропалықтар аударғанда латын тіліне ауыстырған.

Әл-Фараби “Музыка туралы үлкен кітап” атты зерттеу қалдырған ғалым. Ол Сирияда жазылып, Египетте және Францияда баспадан шығарылып, сирек кездесетін, өте үлкен көлемді қолжазба ретінде сақталуда. Фараби түрлі аспаптарда ойнай білген; музыка өнерінен лязат ала білген; терең түсініп, талдай білген; музыка аспаптарын жасай білген; алғаш дыбыстық және ырғақтық өлшемдерді математика тілінде енгізген; музыканы қағаз бетіне жазып, оны түсіндіре білген музыка өнерінің дүлдүлі.

Арифметика – математиканың бастауы. Сондықтанда оны басқаға түсіндіру, үйрену үлкен ұстаздық өнерді қажет етеді. Фараби үшін, бұл мәселе балыққа суда жүзуді үйреткендей, жеңіл болған. Себебі, Ол – дүниенің өлшемдік қасиеттерін адамға түсіндірудің қас шебері. Ол – сандардың құпия қасиеттерінің; жер өлшеулердің рухани әдістерінің; аспан әлеміндегі жұлдыздардың жердегі көлеңкелері арқылы туралап та, бұрыштап та өлшеудің ерекшеліктерінің; дыбыстық толқын–ырғақтардың өлшеулердің терең білгірі, әулиесі болған адам.

Жылдың 360 күн шамасында анықталуы, яғни шамамен 6 алпыс күн екендігі; айдың $\frac{1}{2}$ алпыс күннен тұратындығы; сағаттың алпыс минуттан, ал минуттың алпыс секундтан тұратындығы математикадағы алғашқы санаудан – біздің бабаларымыздың *алпыстық санау жүйесінен* хабар беріп тұрғаны араб–парсы–түркі нәсілді ел ұрпақтарына математика ғылымын игеруде үлкен рух беруі тиіс.

Әл-Фараби мұрасы Батыс Еуропаның жетекші мемлекеттерін түгел қамтитын 25 елдің 163 кітапханаларында сирек қолжазбалар қорында сақтаулы тұр. Ол–гректік, мысырлық, арабтық, парсылық, түркілік халықтар тілдерін білген жез таңдай ғалым, ал еңбектер еуропалық тілдерге аударылған. Әл-Фарабидің даналығы және мұрасы жайлы осы қысқа да нұсқа сөздер мектептің математика мұғалімінің аузынан осылай ағытылуының орны бөлек.

8. *Әл-Фараби мұрасының Еуропадағы қайта өрлеу кезеңіндегі маңызы. Нәтиже. Еуропаның қайта өрлеу кезеңі қарсаңында ашылған алғашқы университеттерде Әл – Фарабидің арифметика – геометрия–астрономия–музыка квадриумы аттас сабақтар ұйымдастырылған. Сол университеттер орналасқан қалалардың кітапханаларында Фараби мұралары әлі сақтаулы тұр. Бұл жағдай кездейсоқтық емес. Ол –Фараби еңбектері математиканың еуропалық даму кезеңінде жетекші орынға ие болғандығының кепілі.*

Бұл нәтижені теріске шығару мүмкін емес, бұл жағдай Фарабидің заманауи математикалық ғылымының дамуындағы тарихи орнын анықтайды.

Нәтиженің талқылауы. Бұл мәселені сөз етсек, Оның сол дәуірдегі ұлылардың Ұстазы деген құрметтеуінің беті ашылады. Еуропада VI-XVI феодалдық даму ғасырларында математика дамуын тоқтатты десе де болғандай. Бірақ, XV-XVI ғасырда капиталистік қатнастың Еуропада орнығуының алтын заманы болды. Оны тарихта Еуропадағы қайта өрлеу кезеңі деп атайды. Осы кезеңде өндірістік–техникалық және онымен бірге мәдениет пен білім орасан жоғары шапшаңдықпен дамыды. Бұл өрлеудің алғашқы кезеңі XII ғасырда еуропалықтар математиканы қайта қолға алады. Өздерінде математика ұмытылуға айналған еуропалықтар Араб математиктеріне жүгінеді. Әл-Хорезми мен Әл-Фараби бастаған Араб

математиктерінің еңбектерін еуропалықтар өз тілдеріне аударып, құрып кеткен латын тілінде ғылыми атаулар мен белгілеулер енгізген. Басқаша айтсақ, ақ селделі – түйе жүн шапанды киімдерін шешіндіріп араб математикаларына, ежелгі гректер сияқты, еуропалық костюм кигізген. Осылайша ежелгі гректер мен римдік коментаторлар математикалық ғылымның бастауына қайта отырғызылған.

XII-XIV ғасырларда еуропада алғашқы университеттер ашылған. Олар италиялық Балонье және Салерно университеттерінен басталып, Оксфордте (1167 ж) және Парижде (1167 ж), Кембридже (1209 ж), Неаполде (1224 ж), Прагада (1347 ж), Венада (1367 ж) тағы сол сияқты қалаларда ашылған. Сол университеттерде грамматика-риторика-диалектика тривиумы және *арифметика-геометрия-астрономия-музыка квадривиумы* оқытылған. Осы жерде квадривиумның негізін салушы Әл-Фарабидің шоқтығы өз биігінен көрінеді. Сондай-ақ, не себепті Әл-Фараби еңбектері Оксфорд және Кембридж университеттерінің кітапханасынан Лондон, Берлин, Париж ұлттық мұражайларынан ойып орын алғандығының құпиясы ашылады. Математиканың ұлылары И.Ньютон мен Г.Лейбниц ғылыми өнердің квадривиумынан Кембридже және Берлинде сабақ алғандарын еске саламыз. Бірақ, ғылымның негізін салушылардың аттары аталмайды да, ғылымға еуропалық киім кигізгендердің аттары негізін салушылардың орнын басады. Бұл – колониялық елдердің варварлық тәсілі.

Жалпы, математика 1) бабыл-мысыр заманында білім дәрежесінде қалыптасқан, 2) грек заманында ғылым дәрежесінде түзілген, 3) араб заманында ғылыми кемел дәрежесіне жеткен, 4) еуропалық заманында жоғарғы математика дәрежесіне көтерілген.

Сөз соңында, грек – латындық елдердің ғалымдарының математиканы дамытудағы жетістіктерін мойындамау үлкен әділетсіздік болар еді, ал парсы-мысыр-араб-түркілік елдердің ғалымдары математиканың негізін салушылар екендігін ескермеу – әдепсіздіктің шыңы болады деу орынды. Дін мен ғылым Азияда туып, Еуропада шарапаттық қанатын жайып, қазір бүкіл дүниеге таралған деген ойды түйіндеу – тарихи ақиқат.

9. Әл-Фарабидің математикалық мұрасының заманауи ұлттық мектеп оқулығындағы тағдыры. Нәтиже. Ұлт мақтаншысы - Фарабидің мұралары ғалымның Отанының мектеп оқулықтарында жоқ немесе жоқтың қасы.

Фараби мұралары элементар математикаға байланысты болғандықтан, оның мұраларының кейбіреулері айқын түрде, ал қайсібірі айқындалмаған жағдайда мектеп оқулықтарында кездеседі. Олардың барын Фарабидің қарастырғанын, ал жоғын білім сапасын көтеру мақсатында оқулыққа енгізу - алдағы тұрған қасиетті міндет.

Нәтиженің талқылауы. Оқулық жайында пікір білдірсек, ол әлі кеңестік – еуропалық күйдің көлеңкесінде жатыр, әлі табиғи ұлттық – қазақылық кейіпіне енген жоқ. Бұл жерде еуразиялықтарды бір-біріне қарсы қоюдан аулақпыз, бірақ, шындық әділеттілігін алуы керек. Кеңестік дәуірде еуропалық ғалымдар алдында бодандық ғалымдар бұқпантайлық бассауға ұстанды. Енді егемендік дәуірде ақиқаттан ауытқымай, әділдікпен жүруге мүмкіндік туды. Ұлы Ұстазды өз орны – мектеп оқулықтарының төріне шығаруымыз керек. Бұл мақтаншылық мақсатта емес, тәрбиелік мақсатты көздейді. Ұлы Әл-Фарабиді алдымен отбасында, сосын мектепте, одан әрі адами тіршілігімізде үлгі тұтып, одан рух алып отыратын уақытқа жеттік. Қазіргі, Әл-Фараби рухы елдің зиялыларының ғана аузында, ал негізгі буын – жалпы білімдік орта мектептер бұл жағынан әзір қалың ұйқыда. Оның басты себебі – Әл-Фараби рухы жаратылыстану мен философиялық ғылыми тілде ғана өз сипатын табады, оны ауызекі сөзбен балаға немесе қалың бұхараға жеткізу оңай шаруа емес. Ол рух жалпы білімдік мектептерде пәндік оқулықтардан орын алуы керек. Оның математикадағы рухани әдістері геометрия мен тригонометрия құпияларын ашуда менмұндалап, нұрын шашып тұруы керек.

„Фараби анықтамасы“, „Фараби берген ұғым“, „Фараби әдісі“, „Фараби тәсілі“, „Фараби тұжырымы“, „Фараби теоремасы“, „Фараби леммасы“, „Фараби есебі“, „Фараби мәселесі“ тәрізді сөз тіркестері әр ұстаздың және әр оқушының әніне айналуы керек. Өкінішке орай, математикалық оқулықтарда Ұлы Ұстаздың атымен берілген теориялық мұрасын да, ұстаздық

өнегесін де көре алмайсың. Оқулықтағы Ұстаздың өз заманында *ғылым* болған әдістері, қазір көпке таныс математикалық *білім* екендігін атап өтудің өзі жетіспей тұр. Бұған оқулық жазушы ұстаздар бастарын ауыртпай, дайыннан көшіріп, адам құлағы естімеген бір авторитеттерге сілтеме жасап, өзінің көп білетіндігін көрсетуге тырысу қалпын ұстайды. Мектеп ұстаздары тағы білмейді. Себебі, оларды дайындаған университеттерде де Әл-Фараби рухы тарампаған, профессорлары ондай ойға жарымаған. Бәріміздің білетініміз біреу: *Ол – Әл-Фараби ұлы*. Ол қалайша ұлы, несімен ұлы, оған дәйектілікпен жауап берер қауһарымыз жоқ. Ал жауап сөздер шаң басып, Ұлттық Академия кітапханасы мен дүкен сүрелерінде жатыр, әлемдік 25 жетекші елдердің 160 кітапханасында сақтаулы. Білген ұстаз өз пәнімен байланыстыра, бес – алты қағидалық сөздермен тәжірибелік тұжырым берер еді, ал оның шәкірттері өздері үшін біліп, білгенін жұртқа таратар еді. Сөйтіп, Әл-Фараби рухы халқына қызмет етер еді. Бұл – әзірше арман. Білім Ордаларында математик-ғалымдар тізімінде Пифагор, Евклид, Архимед, Хорезми, Фараби, Декарт, Ньютон, Лейбниц, тағы басқалар – ретімен құрметтелуі тиіс.

Осыған сәйкес, Ақтеңіз – Қаратеңіз – Көктеңіздің шығыс жағалауларындағы бабыл–парсы, грекиялы мысыр, араб–ассирия, орта азиялық түркі елдерінің математикасы еуропалық елдерінің заманауи ғылымына ұласқанын насихаттау парыз. Сондай-ақ, Вавилон–Бағдат, мысырлық Александрия, Дамаск, Отырар–Хорезм–Бұхара–Самархан астрономиялы математикасы кейін Рим–Лондон–Берлин–Париж–Петербург–Москва математикалық ғылыми орталықтарына ауысқандығы жайлы аталуы тиіс.

Бұл - жастарымызды ғылымға рухтандыруда айтылуы кеміс болып келе жатқан ақиқат.

10. *Әл-Фарабидің математикалық мұрасын ұлттық мектеп оқулықтарына сіңіру тәсілдері. Игіліктендірілмек нәтижелері мен оның талдаулары.* Бұл тақырыпшаның тәсілдері әзірше жүзеге асырылмаған ойдағы ұсыныстар болып табылады. Оны іс жүзінде асыру мәселесіне келсек, алдымен ұстаздар дайындайтын университеттік және колледждік оқу орындарының математикалық мамандықтарында Әл-Фарабидің геометриялық және тригонометриялық еңбектері түгел оқытылуы қажеттігін айтуымыз керек. Олардың бағдарламаларына Ұлы ұстаздың математикалық трактаталарындағы еңбектеріндегі әрбір геометриялық фигураның тылсым - нәзік табиғи құпиялары мен оларды ашудағы рухани өнерлік тәсілдері туралы 10 тараулық 145 есебінің және шеңбердің доғаларының хордаларының ұзындықтары мен доғалардың синусы, косинусы, тангенсі, котангенсі шамаларын анықтау жайлы 14 есебінің талдануы енулері қажет. Ұстаз тригонометриялық мұраларында қазақ тілінің төл сөздері «доғаның жебесі» және «доғаның көлеңкесі» терминдерін пайдаланып түсіндіреді. Мектеп оқулықтарында қазақы ділге жақын осы сөздерді пайдаланып, Әл-Фарабиге сілтеме жасап, қолдануы керек, оның әдістемелерінің ерекшеліктері талқылануы тиіс.

Осылайша мектеп ұстаздарын дайындауда Әл-Фараби мұрасын енгіземіз.

Дискуссия

Келесі, қадам Әл-Фараби қарастырған 159 есептің мектеп оқулықтарына енгендерін анықтап, оларды арнайы белгілермен көрсетіп, бұл есептерді Әл-Фарабидің де талдағанын, ерекшелігін жазу керек. Оқулықтарда «Фараби есебі», «Фараби әдісі», «Фараби анықтамасы», «Фараби теоремасы», т.б. атаулар орын алуы абзал. Бұл оқулықтардың авторларының алдына қойылатын негізгі талап болуы тиіс. Әл-Фараби аты кең көрсетілген оқулықтарды қолдау, олардың рейтингісін көтеру патриоттық қажеттілік.

Оқулықтардағы Әл-Фараби қолданған әдістер, қазақшаланған терминдер мен ұғымдық анықтамалар басқа да ұстаздық қағидалар оқулықтарда кең қолданыс табуы керек. Мысалы, Евклид нөлді «өлшемі жоқ» шама ретінде анықтаса, Әл-Фараби «өлшемі жоқ, орны бар» деп нөлдің болмыстылығына мән беріп толықтырады. Евклид нүктеден қисыққа, одан денеге көші индукциялық әдісін қолданса, Әл-Фараби жас бүлдіршінге түсіндіруге алдымен денені, одан кейін қисықты, сосын нүктені ұғындырған жөн деген дедукциялық нұсқаны ұсынады. Әр

есепті қарастырғанда Ұлы Ұстаз кемінде бір тәсіл қолданған. Ол тәсіл басқа жерде қайталана қолданса, оның фарабилік тәсіл екендігіне назар аударыла жазылуы керек. Егер оқулықта көрсетілмеген болса, мектеп ұстазы осындай ұстаныммен толықтыруы тиіс.

Әр мектепте ғылыми пәндік бұрыш немесе мұражай болуы қазіргі заман талабы. Әдеби мұражай Абай атында болса, ғылыми мұражай Әл-Фараби атында болуы керек, немесе біріктірілген Фараби-Абай мұражайы мектепке сән беріп тұруы қажет. Фарабидің әрбір ғылым саласы бойынша бір-бірден қанатты сөзі тұрса, оның оншақты өнегелі ойы мұражайды жарқырата безендірмек.

Мектептерде, сондай-ақ, аудандық деңгейде мектеп ұстаздары мен оқушылар үшін ғылыми-әдістемелік «Фараби оқуларын» өткізуді қалыптастыруымыз керек. Ұлы Абайдың адами-тәрбиелік өнегелері бұхаралық қалыптан ұлттық деңгейге көтеріліп, бүкіл әлемдік құндылық дәрежесіне құшақ жаюда. Ал, Фарабилік ғибраттылықтар мемлекеттік құрылым деңгейінен басталғанымен, бұхаралық іргелі толқынға және жалпы мектептік жеткіншектерге тамырын жайып сіңе алмай тұрған күйді кешуде. Құндылық бала бойына сіңген тастұғырға айналмай, ұлттық өркениетке сүйеніш бола алмайды.

Егер ғылыми-әдістемелік конференциялар және фарабитанымдық әңгімелер мен тәрбиелік сағаттар мектептерде ұйымдастырылса ұстаздар мен оқушылар *Фарабитану* ғылымымен түгел айналысар еді де, ол сөзсіз халықтық фарабитанымға ұласар еді.

Демек, бұл мәңгілік қазақ өркениеттігін орнықтырудың бір кепілі болмақ.

Мектептерде Фараби атындағы пәндік олимпиадалар, ғылыми үйірмелер оқушылар мен ұстаздардың конкурстары ұйымдастырылуы етек жаюы керек. Жергілікті билік орындарының ұстаздар үшін Фараби атындағы марапаттарының болғаны дұрысқа соғады.

Фараби мұралары ғылыми-зерттеулерде магистрлік деңгейдегі азын-аулақ докторлық дәрежедегі тақырыптарға ене бастады, оны кеңейту – алда тұрған, Ұлттық Республика Академиясы мен университеттер қолға алатын көп салалы шаруа.

Заманауи мектепті Фараби мұраларымен ақпараттандыру мәселелерін жедел шешуде Республикалық бағдарлама қабылданып, Министрлік билік өз құзырларын қолдануы керек. Қарсы жағдайда, «ұзын арқан, кең тұсау» күймен, ұзаққа созылуы әбден ықтимал.

Қуанарлық жағдай: Әл-Фараби аты мемлекеттік деңгейдегі медальдық және сыйақылық марапаттарда, ақша-теңге беттерінде, мектеп-ауыл-көше аттарында баршылық. Әрине, бұл үрдіс өрбітіле түсуі тиіс.

Қазіргі *бозторғай қой үстіне жұмыртқалайтын* тыныш заманда халықтық рухты көтере ұстау – маңызды мәселе. Ол үшін елдің рухын біріктіретін, ұрандата атқаратын жалпыхалықтық істер қолға алынуы керек. Ірі қалалық құрылыстар, алып ауылшаруашылықтық-өндірістік техникалық концерндер, заманауи нәзік тылсымды ғылым қолданылатын интеллектуалды-роботтық құрылыстар жасайтын әртүрлі зауыттар қауымдастығы – осындай істер қатарында болмақ. Отырар жерінде мал мен егіндік өнімдерін өңдейтін, сауда-саттықты дамытатын, Тұран ғылыми орталығын жаңғыртатын, болашақ жастардың Жетігендегі Алатау сияқты зауыт-фабрикалы *Фараби қаласын* салу ұйымдасырылса Жошы ұлысы – Көк Ордадағы үлкен патриоттық іс болар еді. Отырар өркениеттігі қайта орнағандай сезінер едік.

Қорытынды

Бұрын үлкен империяның қол астында болғандықтан ұлтқа тән тарихты көп қозғамадық. Бодандықтан босанып, егемендік алғаннан кейін, мәдениеттің, оның ішінде ғылымның қырынан қараған ұлттық танымымызды анықтай түсуімізге тура келеді. Ұлттың ғылыми тарихтағы орнын нақтылау қажет. Ел еуропалыққа бағынғаннан кейін батыстың әніне салдық. Енді тарихты батыстық баяндаудан ақиқатқа аяндау керек болып тұр. Мысалы, батыс әдебиеті математика тарихын Мысырдан бастағанды жөн көреді. Себебі, Мысырдан грекке, демек, батысқа шығу оңтайлы. Шындығында, математика бабылдықтардан басталады. Тұрандық сақтар - бабылдықтар-мысырлықтар қатнасы, сауда-мәдени өркениет желісі өте ертеде тас

дәуірінде қалыптасқан, көршілес елдер. Ал, ғылым мен білім тұрмыстың айнасы. Ендеше, шамалық ұғымдар арқылы сыйпатталатын кәсіптік өнерлер-тұрмыстас көршілес елдер үшін ортақ дүние. Осыдан математика ғылымы сақ-бабыл-мысыр өркениетінің рухани байлығы болатындығы тұжырымына келдік. Қазіргі оқулықтардан математика ғылымы тек ежелгі гректерден бастау алғанын байқаймыз. Шындығында, бұл ғылым Бабылдықтар елінде қалыптасқанын, кейін мысырлықтар арқылы гректіктер иемденгенін көрдік және оны бір жүйеге түсіріп, дамытқанын білдік. Қысқасы, математика ғылымының шығыстық шапанын гректік қафтанға ауыстырғанын түсіндік. Одан соң математика дамуы батыста 1000 жылдық үзіліс алып, арабтық үстемдік заманында Хорезм-Фараб ғалымдары бастауымен математиканың дамуын кемелдендіргенін көрдік. Содан кейін, еуропалық қайта өрлеу кезеңінде батыстың жетекші елдері өздеріне ортақ латын тіліне Хорезм-Фараб ғалымдарының араб тіліндегі барлық ғылымын аударғанын анықтадық. Сөйтіп, орталық азиялықтардың математика ғылымы арқылы өмірден өшкен латын тілін қайта тірілтікенін көрдік.

Осылайша, математиканың жаңа латындық костюмі құтты киім болып шықты. Себебі, математика қарапайым *элементар күйінен* көтеріліп, *жоғарғы математика күйіне* көшті. Сонымен, математиканың дамуында шығысымыз батысқа айналғанын түйіндедік.

Алдағы уақытта математика тарихындағы батыстық баяндауды ұлттық оқулықтарда және жалпы білімдік ақпаратта арғы бабаларымыздың ғылымы жайлы ақиқатқа бұрылыс жасалуы керек деп тұжырымдаймыз. Бұл - әлемдік ғылымда ұлттық рухты көтерудің амалы, ұлтты әлемге таныстырудың жолы.

Әл-Хорезми математикасы әлемдік ғылымда орнықты орнын тапқан. Ол алгебра және алгоритм терминдерімен анықталып отыр. Ал, ұлт мақтанышы Әл-Фарабидің математикасы Евклид-Архимед сияқты ұлылардың көлеңкесінде қалып отыр. Жарқыраған Ұлы ұстаздың математикадағы өз еліне көлеңкесін айшықтау - оның отандастарының қасиетті парызы. Ғалымның математикалық мұрасын ұлт болашағына білдіріп, бойына сіңіру, олардың мақтанышының тұғыртасына айналдыру. Бұл жерде, сайып келгенде, ғылымды дамытуға ұлттық жастарды рухтандырушы үлкен патриоттық іс екеніне және Ұлы ойшыл мұрасы арқылы ғылымның тарихи төріндегі Ұлттың орнын анықтау мақсатымыз болатынына баса көңіл қоямыз.

Мақаланың математика тарихына байланысты тұжырымдары [1-3] еңбектер негізінде келтіріліп, Ұлы Ұстаздың математикалық мұралары жайындағы тұжырымдар [4-6] зерттеулерге сүйенілген. Фараби мұраларымен заманауи мектептерді ақпараттандырудың отандық бірегейі - [7] баяндама авторы көтерген мәселелер [8-10] басылымдардағы және осы зерттеудің дәйекті ұсыныстарын зерделеуге мұрындық болды.

АЛҒЫС

Сөз соңында осы мақаладағы ойлардың келуіне бірден-бір себепкер болған, Фараби мұрасының жанашыры – профессор Бидайбеков Есен Ықыласұлына зор ықыласымызды білдіреміз.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

1. Рыбников К.А. *История атематики М: Издательство МГУ, 1974. 456с.*
2. Кэннон Вутто и др. *Библейская энциклопедия (перевод). М: Первая образцовая типография комитета РФ по печати, 1996, -352 с.*
3. ҚұлМұхаммед М. *және басқалар Қазақстан тарихы (энциклопедиялық анықтамалық). Алматы: Аруана, 2010, -768 б.*
4. Нысанбаев Ә., Құрманғалиева Ғ., Сандыбаев Ж. „Әл-Фараби. Таңдамалы трактаттары“ . Алматы: Арыс, 2009ж. -656 б.
5. Аль-Фараби. *Математические трактаты. Алма-Ата: Наука, 1972, -322с.*
6. Кубесов А. *Математические наследие Аль-Фараби. Алма-Ата: Наука, 1974, -247 с.*

7. Бидайбеков Е.Ы. Әл-Фарабидің математикалық мұралары заманауи білім беру аясында. II Международный форум «Аль-Фараби и современность 2015, 7-8 апреля, Алматы: КазНУ им. Аль-Фараби.

8. Сартабанов Ж.А., Шаукенбаева А.К. және басқалары А. Көбесов зерттеулері негізінде Фараби тағылымының заманауи мектеп тұтынымындағы орынын анықтау мәселесі. Халықаралық ғылыми тәжірибелік конференция, Фарабитанушы-профессор А.Көбесовтың 90 жылдығына арналған. Алматы, 2022ж. 587-590 бб.

9. Сартабанов Ж.А., Шаукенбаева А.К. және басқалар. Әл-Фараби заманауи математикалық ғылымның іргетасын қалаушылардың бірегейлері қатарында.// Дифференциалдық теңдеулер, анализ және алгебра проблемалары. Ақтөбе: Жұбанов университеті баспасы, 2023. -256 б.

10. ZH. Sartabanov Al-Faarabi's place of honor in the scientific world and the information of mathematical education by hi scientific legacies. VII World Congress of Matematicians of the Turkic World (TWMS Congress -2023) Turkestan, (Kazakhstan), 20-23.09.2023.

References

1. Rybnikov K.A. (1974) *Istoriya atematiki [History of Mathematics]*. M: Izdatelstvo MGU, 456. (In Russian)

2. Kenon Vutto i dr. (1996) *Biblejskaya enciklopediya (pervod) [Bible Encyclopedia (translation)]*. M: Pervaya obrazcovaya tipografiya komiteta RF po pechati, 352. (In Russian)

3. KulMuhammed M. zhane baskalar (2010) *Kazakstan tarihy (enciklopediyalyk anyktamalyk) [Kazakhstan tarikh (encyclopedialyk anyktamalyk)]*. Almaty: Aruana, -768. (In Kazakh)

4. Nysanbaev A., Kurmangalieva G., Sandybaev Zh. (2009) „Al-Farabi. Tandamaly traktattary“ [„Al-Farabi. Tandamali traktattara“]. Almaty: Arys, 656. (In Kazakh)

5. Al-Farabi. (1972) *Matematicheskie traktaty [Mathematical treatises]*. Alma-Ata: Nauka, 322. (In Russian)

6. Kubesov A. (1974) *Matematicheskie nasledie Al-Farabi [Mathematical Legacy of Al-Farabi]*. Alma-Ata: Nauka, 247. (In Russian)

7. Bidajbekov E.Y. (2015) *Al-Farabidin matematikalyk muralary zamanaui bilim беру ayasynda [Al-Farabi's mathematical legacy in the context of modern education]*. II Mezhdunarodnyj forum «Al-Farabi i sovremennost, Almaty: KazNU im. Al-Farabi. (In Kazakh)

8. Sartabanov Zh.A., Shaukenbaeva A.K. zhane baskalary (2022) *A. Kobesov zertteuleri negizinde Farabi tagylymynyn zamanaui mектеп tutynymyndagy orynyn anyktau maselesi [The problem of determining the place of Farabi's teachings in modern school consumption based on Kobesov's research]*. Halykaralyk gylymi tazhiribelik konferenciya, Farabitanushy-professor A.Kobesovtyn 90 zhyldygyna arналған. Almaty, 587-590. (In Kazakh)

9. Sartabanov Zh.A., Shaukenbaeva A.K. zhane baskalar. (2025) *Al-Farabi zamanaui matematikalyk gylymnyn irgetasyn kalaushylardyn biregejleri katarynda [Al-Farabi is among the unique founders of modern mathematical science]*. *Differencialdyk tendeuler, analiz zhane algebra problemalary*. Aktobe: Zhubanov universteti baspasy, 256. (In Kazakh)

10. ZH. Sartabanov (2023) *Al-Faarabi's place of honor in the scientific world and the information of mathematical education by hi scientific legacies*. VII World Congress of Matematicians of the Turkic World 8(TWMS Congress -2023) Turkestan, (Kazakhstan).

ИНФОРМАТИКА
COMPUTER SCIENCE

ҒТАХР 33.29.00 12.31.00

10.51889/2959-5894.2025.89.1.012

С.А. Адилжанова¹, Г.А.Абдулкаримова², Ф.Р. Гусманова^{1*}, Г.Т. Жубанышева¹

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан.

² Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: grfarida77@gmail.com

АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК САЛАСЫНДАҒЫ ТӘУЕКЕЛДЕРДІ ТАЛДАУ ЖӘНЕ
БАСҚАРУ ҮШІН ПЛАТФОРМА ҚҰРУ

Аңдатпа

Бұл мақала цифрлық егіздер технологиясын қолдану кезінде туындайтын ақпараттық қауіпсіздік тәуекелдерін талдау және басқаруға арналған платформа әзірлеуге бағытталған. Зерттеу цифрлық егіздердің 4.0 Индустриясы шеңберіндегі рөлі мен маңызын, әсіресе өндіріс, энергетика, ақылды қалалар және киберфизикалық жүйелер салаларында қарастырады. Ақпараттық қауіпсіздікке қатысты тәуекелдер мен олардың себептері анықталып, оларды азайту жолдары ұсынылады. Прогностикалық талдау, жасанды интеллект, адаптивті қауіпсіздік жүйелері, криптографиялық технологиялар және блокчейн сияқты жаңашыл әдістер талқыланып, олар цифрлық егіздер платформаларының қауіпсіздігін арттыруға және ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Бұл әдістер цифрлық егіздер жүйелерінің сенімділігін арттыру үшін маңызды құралдар, ал оларды интеграциялау платформалардың жұмысын тиімді әрі қауіпсіз етуге ықпал етеді. Осының нәтижесінде, цифрлық егіздер жүйелерінің қауіпсіздігін қамтамасыз ету арқылы оларды басқарудың тиімділігін арттыру, бизнес процестерді оңтайландыру және жаңа мүмкіндіктер ашу мақсатында қолданылады. Сонымен қатар, осы әдістер ақпараттық қауіпсіздік талаптарына сай болуын және цифрлық егіздер платформаларының ұзақ мерзімді тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Түйін сөздер: Индустрия 4.0; тәуекелдерді басқару; машина оқыту; прогностикалық талдау; криптографиялық технологиялар.

С. А. Адилжанова¹, Г. А. Абдулкаримова², Ф.Р. Гусманова¹, Г. Т. Жубанышева¹

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

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г.Алматы, Казахстаны

СОЗДАНИЕ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ОБЛАСТИ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Аннотация

Статья посвящена разработке платформы для анализа и управления рисками информационной безопасности, возникающими при использовании технологии цифровых близнецов. В исследовании рассматривается роль и значение цифровых близнецов в Индустрии 4.0, особенно в таких областях, как производство, энергетика, умные города и киберфизические системы. Будут выявлены риски, связанные с информационной безопасностью, и их причины, а также предложены способы их снижения. Обсуждаются новаторские методы, такие как прогностический анализ, искусственный интеллект, адаптивные системы безопасности, криптографические технологии и блокчейн, которые позволят повысить безопасность платформ цифровых близнецов и обеспечить информационную безопасность. Эти методы являются важными инструментами для повышения надежности цифровых систем близнецов, а их интеграция способствует повышению эффективности и безопасности работы

платформ. В результате этого цифровые близнецы используются с целью повышения эффективности управления системами за счет обеспечения их безопасности, оптимизации бизнес-процессов и открытия новых возможностей. Кроме того, эти методы обеспечивают соответствие требованиям информационной безопасности и долгосрочную стабильность платформ цифровых двойников.

Ключевые слова: Индустрия 4.0; управление рисками; машина обучение; прогностический анализ; криптографические технологии.

S.A. Adilzhanova¹, G.A. Abdulkarimova², F.R. Gusmanova¹, G.T. Zhubanysheva¹

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

CREATION OF A PLATFORM FOR INFORMATION SECURITY RISK ANALYSIS AND MANAGEMENT

Abstract

This article is devoted to the development of a platform for the analysis and management of information security risks arising from the use of digital twin technology. The study examines the role and importance of digital twins in Industry 4.0, especially in areas such as manufacturing, energy, smart cities, and cyber-physical systems. The risks associated with information security and their causes will be identified, as well as ways to reduce them. Innovative methods such as predictive analysis, artificial intelligence, adaptive security systems, cryptographic technologies and blockchain are being discussed, which will enhance the security of digital twin platforms and ensure information security. These methods are important tools for improving the reliability of Gemini digital systems, and their integration contributes to improving the efficiency and security of the platforms. As a result, digital twins are used to improve the efficiency of system management by ensuring their security, optimizing business processes and opening up new opportunities. In addition, these methods ensure compliance with information security requirements and long-term stability of digital twin platforms.

Keywords: Industry 4.0; risk management; machine learning; predictive analysis; cryptographic technologies.

Негізгі ережелер

Зерттеу 4.0 индустриясының негізгі рөлін ескере отырып, цифрлық егіздердің ақпараттық қауіпсіздігі саласындағы тәуекелдерді талдау және басқару платформасын әзірлеудің маңыздылығын көрсетеді. Цифрлық егіздер деректерге шабуыл, желілік инфрақұрылымның осалдығы және құпия ақпараттың ағуы сияқты киберқауіптерге бейім. Құрылатын платформа нақты уақыт режимінде деректер мен жүйелерді қорғауды қамтамасыз ететін тәуекелдерді анықтау, талдау және азайту құралдарын ұсыну үшін қандай әдістерді қолдану керектігі қарастырылған. Зерттеудің негізгі қорытындысы-цифрлық егіздерді қолданудағы сенімділікті арттыру және өндіріс процестеріндегі ақауларды болдырмау үшін жасанды интеллект технологиялары мен үлкен деректерді біріктіру қажеттілігі.

Кіріспе

Ақпараттық қауіпсіздік қазіргі қоғамда және экономикада маңызды рөл атқарады. Жаһандану мен цифрландыру процесі ақпараттың құндылығын арттырып қана қоймай, оған қатысты қауіптер мен тәуекелдерді де күшейтеді. Ақпараттық жүйелер мен деректердің қорғалуы ұйымдар мен мемлекеттер үшін стратегиялық маңызға ие бола отырып, оларды түрлі кибершабуылдар мен қауіптерден қорғау қажеттілігі туындайды. Бұл тұрғыда ақпараттық қауіпсіздіктің тәуекелдерін талдау және басқару жүйелерінің тиімділігі артқан сайын, жаңа платформалар мен технологияларды қолдану маңыздылығы да арта түсуде.

Бұл жұмыста «Индустрия 4.0» шеңберіне аса назар аударып, цифрлық егіздер платформаларындағы ақпараттық қауіпсіздік тәуекелдерінің негізгі түрлері, олардың туындау себептері мен ықтимал шешімдері қарастырылады. Сонымен қатар, тәуекелдерді азайту үшін жаңа технологиялық шешімдер, оның ішінде жасанды интеллект, криптография және блокчейн технологияларын қолдану тәсілдері ұсынылады. *Цифрлық егіздер: тәуекелдер мен қауіпсіздік.* Цифрлық егіздер технологиясы «Индустрия 4.0» шеңберінде өндіріс процесін

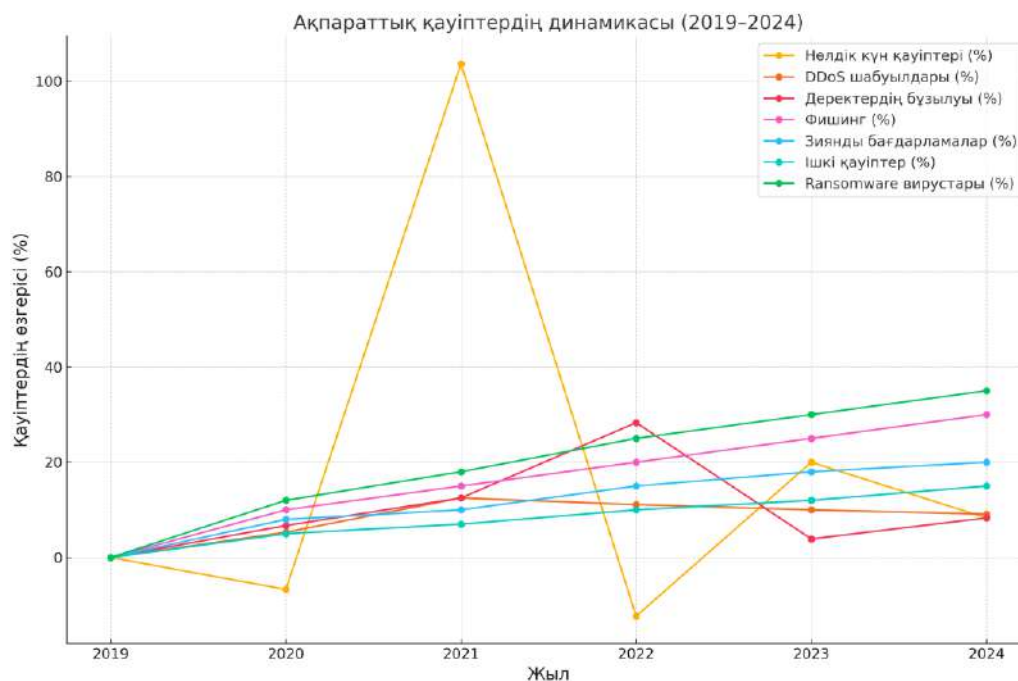
автоматтандыру және тиімділікті арттыруда маңызды рөл атқарады. Бірақ бұл технологияны қолдану ақпараттық қауіпсіздікке байланысты жаңа тәуекелдерді тудырады. Қауіптер цифрлық егіздер жүйесінің күрделілігіне, киберфизикалық жүйелер арасындағы өзара байланыстың артуына және ақпарат алмасу процестеріне негізделеді [1]. Деректер қауіпсіздігі мәселелерін қарастыруымызға болады. Цифрлық егіздер платформаларының мәлімет алмасу функциялары олардың қауіпсіздігіне тәуелді. Индустрия 4.0 цифрлық және физикалық әлемдер арасындағы алшақтыққа көпір салу үшін цифрлық егіздер технологиясына сүйенеді [2]. Рұқсатсыз қолжетімділік, деректердің ұрлануы немесе бұрмалануы сияқты қауіптер өндіріс процесінің бұзылуына алып келеді. Мысалы, өндірістік жабдықтың жағдайы туралы жалған мәліметтер енгізу жүйенің сенімділігін төмендетіп, дұрыс емес шешімдер қабылдануына ықпал етуі мүмкін. Мұндай жағдайлар өнімділіктің төмендеуіне және қаржылық шығындарға алып келеді [3]. Сонымен қатар цифрлық егіздер серверлерге бағытталған кибершабуылдар олардың тұрақтылығын төмендетіп, өндірістік процестердің үзілуіне әкелуі мүмкін. Мысалы, DDoS шабуылдары сервердің жұмысын шектесе, ал ransomware шабуылдары мәліметтерге қолжетімділікті толығымен шектеуі мүмкін [4] Мұндай жағдайлар компанияның өндірістік процестерін тоқтатып, айтарлықтай шығындар әкеледі. Ал бағдарламалық қамтамасыз ету осалдықтарына келетін болсақ, цифрлық егіздер күрделі бағдарламалық қамтамасыз ету жүйелеріне негізделгендіктен, жүйедегі осалдықтар зиянды бағдарламаларды енгізу немесе платформаның жұмысына кедергі келтіру қаупін арттырады. Бұл осалдықтар ақпараттық қауіпсіздік саясатына да кері әсерін тигізеді. Қателерді жою және қауіпсіздікті арттыру мақсатында тұрақты жаңартулар мен жүйелі тексерістер қажет болады [5].

Желілік инфрақұрылым тәуекелдерінде қарастырып өткеніміз жөн, себебі цифрлық егіздер желілік инфрақұрылымдарға тәуелді болғандықтан, желідегі осалдықтар жалпы жүйеге теріс әсер етуі мүмкін. IoT құрылғыларының қорғалмағандығы, әсіресе, бұл құрылғыларды кибершабуылдарға осал етеді [6].

Адам факторына байланысты қауіптер де кеңінен таралған. Цифрлық егіздерді басқару кезінде адам тарапынан жіберілетін қателіктер тәуекелдерді арттырады. Қате конфигурациялау, қауіпсіздік хаттамаларын сақтамау немесе құпия ақпараттың жариялануы жүйенің бұзылуына алып келуі мүмкін. Мұндай мәселелер жүйені пайдаланушылардың ақпараттық қауіпсіздік мәдениетінің жеткіліксіздігінен туындайды [7]. Сондықтан да қызметкердерді оқыту басты міндет.

Осылайша цифрлық егіздер технологиясының қауіпсіздігі мен тиімділігі олардың ақпараттық қауіпсіздік тәуекелдеріне төтеп беру қабілетіне байланысты. Қауіптерді азайту үшін деректерді шифрлау, көпфакторлы аутентификацияны енгізу, қауіпсіздік хаттамаларын жүйелі түрде жаңарту және тұрақты мониторинг жүйелерін қолдану қажет [8]. Бұл шаралар цифрлық егіздер жүйесінің сенімділігін арттырып, «Индустрия 4.0» шеңберіндегі инновациялардың қарқынды дамуына ықпал етеді. Төмендегі деректер әлемдік киберқауіпсіздік талдауларына негізделген, оның ішінде Kaspersky lab және Cybersecurity Ventures секілді зерттеулерінен алынған (1-сурет).

2021 жылы Нәлдік күн қауіптері өте көп таралуының себептері кейбір компаниялар мен ұйымдар бағдарламалық жасақтамаларды және жүйелерді жаңартуды кешіктіріп немесе елемей, осалдықтарды түзетпей қалдыруы, ақпараттық жүйелер мен желілердің күрделенуі, әсіресе қашықтан жұмыс істеу және бұлтты қызметтерге тәуелділік жоғарылағандықтан, осалдықтар мен қауіптердің көбейуіне ықпал етті [9]. Сонымен қатар осы жылдары бұл қауіп түрін шабуылдаушылар көбірек пайдаланып, нарыққа шығаруды және оны басқа қылмыскерлерге сатуды үйренді. DDoS шабуылдары, фишинг, деректердің бұзылуы кеңінен таралған, олар серверлерді немесе желілерді шамадан тыс жүктеу арқылы олардың жұмысының тоқтауына себеп болу арқылы, қолданушыларды алдау арқылы құпия ақпаратты (парольдер, банктік деректер) алу әрекеті, құпия деректердің рұқсатсыз жария етілуі немесе ұрлануы арқылы болатын шабуылдар [10].



Сурет 1. Ақпараттық қауіпсіздік саласындағы қауіптердің тенденциялары

Қазіргі таңда бұл қауіптер туралы ақпараттарды толыққанды біліп, әрдайым білімімізді жаңартуымыз керек. Цифрлық егіздер мен физикалық жүйелер арасындағы өзара байланыс олардың қауіпсіздігін күрделендіреді. Мысалы, цифрлық егіздердің көмегімен басқарылатын өндірістік процеске бағытталған шабуыл тек ақпараттық қауіпсіздікті бұзып қана қоймай, физикалық өндіріс процесін де тоқтата алады. Бұл индустриалды инфрақұрылымға, энергия жүйелеріне немесе көлік саласына да қауіп тудыруы мүмкін. Цифрлық егіздер мен олардың ақпараттық қауіпсіздігі арасында маңызды байланыс бар. Бұл жүйелердің қауіпсіздігі тек виртуалды әлемде ғана емес, физикалық объектілер мен процестерге де әсер етеді [11]. Осыған байланысты, сыртқы және ішкі шабуылдар, қызметкерлердің қателіктері және жеткізушілермен байланыстардағы осалдықтар цифрлық егіздер жүйесін бұзу немесе тоқтату мақсатында қолданылуы мүмкін [12]. Осы қауіптерді басқару үшін ақпараттық қауіпсіздік шараларын қатаң сақтап, жүйелерді үздіксіз қадағалап отыру қажет.

Цифрлық егіздер негізінде платформа құру әдістері. Ақпараттық қауіпсіздік тәуекелдерін басқару платформасын дамыту «Индустрия 4.0» талаптарына жауап беруі және цифрлық егіздер технологиясының күрделілігін ескеруі тиіс [13]. Менің зерттеуімнің нәтижесінде бірнеше талдау тәсілдерін қарастырсақ болады. Төмендегі мен ұсынған тәсілдер платформаның қауіпсіздігін күшейтіп, оны заманауи сын-қатерлерге бейімдейді.

1. Болжаулық талдау және жасанды интеллект негізіндегі мониторинг. Кәдімгі мониторинг жүйелері нақты уақыттағы аномалияларды анықтауға бағытталған болса, прогностикалық талдау жүйесі болашақта туындауы мүмкін қауіптерді алдын ала болжауға мүмкіндік береді. Жасанды интеллект алгоритмдерін пайдалану арқылы платформаның қауіпсіздік деңгейін арттыруға болады. Мысалы, Machine Learning технологиясы пайдаланушылардың әрекет үлгілерін үйреніп, күдікті әрекеттерді ерте кезеңде анықтайды [14]. Бұл тәсілдер тәуекелдерді басқаруда проактивті әдістерді қолдануға жол ашады.

2. Киберқатерлерді автоматты түрде нейтрализациялау. Цифрлық егіздер платформалары үшін кибершабуылдарды автоматты түрде анықтап, блоктайтын жүйелерді дамыту қажет. Бұл жүйелер шабуылдың типін жылдам анықтап, оны дер кезінде тоқтата алады. Мысалы, арнайы алгоритмдер honeypot технологияларын пайдаланып, кибершабуылдаушыларды жалған

жүйеге бағыттайды және олардың әрекеттерін зерттейді [15]. Бұл ақпарат болашақ шабуылдарға дайындалуға көмектеседі.

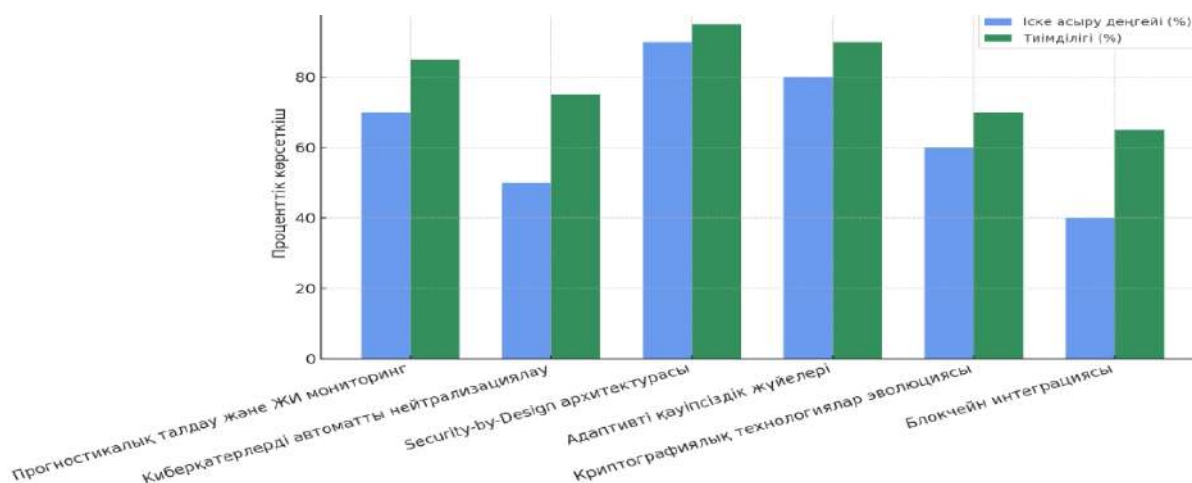
3. Қауіпсіздікке негізделген архитектуралық дизайн. Цифрлық егіздер платформаларының дизайны ақпараттық қауіпсіздік талаптарына толықтай сәйкес болуы керек. Бұл ретте Security by Design қағидасын қолдану ұсынылады. Бұл тәсіл платформаны жобалау кезеңінен бастап барлық қауіпсіздік аспектілерін ескере отырып жасалуды көздейді [16]. Платформаның әрбір модулі деректер шифрлау, аутентификация және желі қауіпсіздігі тұрғысынан тәуелсіз қорғаныс деңгейіне ие болуы тиіс.

4. Бейімделгіш қауіпсіздік жүйесі. Қауіпсіздік қатерлерінің өзгеруіне икемделе алатын адаптивті жүйелер цифрлық егіздер платформалары үшін ерекше маңызды. Бұл жүйелер динамикалық конфигурациялау арқылы нақты уақытта жаңа қауіптерге бейімделіп, өз жұмысын тиімді жалғастырады. Мысалы, бұлттық есептеулер негізінде жұмыс істейтін адаптивті жүйелер әртүрлі деңгейдегі шабуылдарға қарсы қосымша ресурстарды жылдам іске қосады [17].

5. Криптографиялық технологиялардың эволюциясы. Қазіргі шифрлау әдістері жеткілікті деңгейде тиімді болғанымен, кванттық есептеу технологияларының дамуымен олардың әлсіреуі ықтимал. Осыған байланысты, цифрлық егіздер платформаларын қорғау үшін квантқа төзімді криптография әдістерін енгізу маңызды. Бұл әдістер деректерді болашақта мүмкін болатын кванттық шабуылдардан қорғауды қамтамасыз етеді [18].

6. Блокчейн технологиясын интеграциялау. Деректердің тұтастығын сақтау және оның заңсыз өзгертілуіне жол бермеу үшін цифрлық егіздер платформаларында блокчейн технологиясын қолдану ұсынылады. Блокчейн әрбір мәліметтің өзгерісін қадағалап, деректердің қайталанбас және сенімді сақталуын қамтамасыз етеді [19]. Бұл тәсіл әсіресе желілік инфрақұрылым тәуекелдерін азайтуға көмектеседі. Осы келтірілген әдістерімнің деңгейін төменгі сызбадан көре аласыздар (Сурет 2).

Цифрлық қауіпсіздік шараларының тиімділік диаграммасы



Сурет 2. Әдістеріге талдау

Көріп отырғанымыздай:

- Прогностикалық талдау және ЖИ мониторингі жоғары тиімділігі (85%) және едәуір кең қолданылуы (70%) арқылы қауіпсіздікті болжауда маңызды рөл атқарады.

- Киберқатерлерді автоматты нейтралзациялаудың тиімділігі 75%, бірақ іске асыру деңгейі 50%, себебі оның жүзеге асырылуы үшін күрделі технологиялар қажет.

- Security-by-Design архитектурасының тиімділігі 95%, бұл оны ең сенімді әдістердің бірі етеді.

- Адаптивті қауіпсіздік жүйелері 90% тиімділік және 80% іске асыру көрсеткіші бұл тәсілдің

кеңінен қолданылатынын көрсетеді.

- Криптографиялық технологиялар эволюциясының тиімділігі 70%, ол деректердің қауіпсіздігін жақсарту үшін қажет.

- Блокчейн интеграциясы 65% тиімділік және 40% іске асыру деңгейі оның әлі де дамуды қажет ететінін көрсетеді.

Жаңа технологиялық тәсілдерді енгізу цифрлық егіздер платформаларының қауіпсіздігін арттырып, тәуекелдерді басқару тиімділігін күшейтеді. Жоғарыда ұсынылған әдістер «Индустрия 4.0» талаптарына сәйкес келетін сенімді жүйелерді дамытуға бағытталған. Цифрлық егіздер экожүйесінің күрделілігін ескере отырып, әрбір компоненттің қауіпсіздігіне ерекше көңіл бөлу маңызды. Ғылыми зерттеулер мен тәжірибелік сынақтарды жалғастыру бұл бағытта үздік шешімдерді табуға ықпал етеді.

Зерттеу әдіснамасы

4.0 индустриясындағы цифрлық егіздердің ақпараттық қауіпсіздігі саласындағы тәуекелдерді талдау және басқару платформасын әзірлеуді зерттеу әдістемесі қолданыстағы шешімдерді талдауды, негізгі қауіптер мен осалдықтарды анықтауды және машиналық оқытуды қолдана отырып тәуекелдерді бағалау моделін құруды қамтиды. Зерттеу кезеңдері талаптарды жинауды, алгоритмдерді әзірлеуді, бар жүйелермен интеграциялауды және нақты деректерді тексеруді қамтиды. Қауіпсіздіктің жоғары деңгейін қамтамасыз ететін цифрлық егіздер жағдайында тәуекелдерді бақылау мен басқарудың тиімді жүйесін құру күтілуде.

Зерттеу нәтижелері

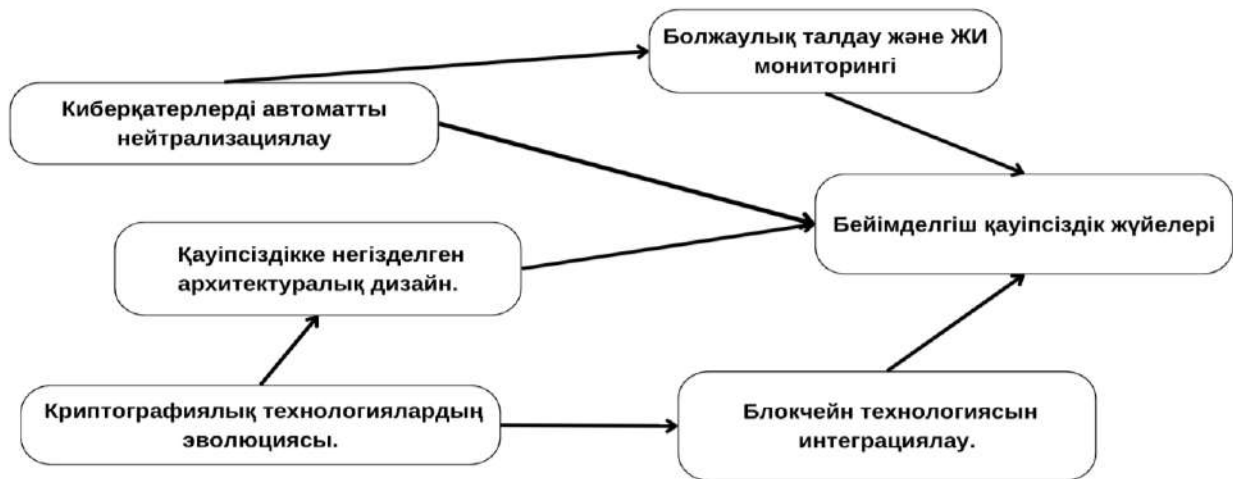
Цифрлық егіздерге тікелей қатысты киберқауіптерді автоматты нейтрализациялау әдісі толықтыруларды қажет етеді, себебі оған қосымша шараларды қоса енгізу керек. Мысалы, қауіптерді автоматты түрде нейтрализациялау үшін ЖИ мен машиналық оқытуды қолдана отырып, шабуылдарды алдын ала болжауға және әрекет етуге арналған алгоритмдерді дамыту арқылы, жиі кездесетін шабуыл түрлерін анықтау үшін нейрондық желілер мен шешімдер ағаштарын қолдануға болады, яғни бұл әдісті іске асыру үшін шабуылдарды алдын ала болжау аса маңызды. Дәл солай, қауіптерді ерте кезеңде анықтау үшін жүйенің барлық әрекеттерін бақылау және деректерді талдау үшін нақты уақыттағы мониторинг жүйесін құру жүйе шабуылдардың ерекше белгілерін анықтап, оларды автоматты түрде белгілей алады. Қауіпсіздік бейімделгіш және инфрақұрылымды қорғаудың басқа әдістерінің қамтуы керек [20]. Қауіптерді нейтрализациялау үшін инциденттерді басқару жүйесі де маңызды рөл атқарады. Ал қауіптер анықталғаннан кейін олардың ауқымын бағалау және оларды басқару үшін инциденттерді тіркеу мен олардың деректерін сақтау керек, осылайша бұл шаралар шабуылдың таралуын болдырмауға көмектеседі. Жасанды интеллект, мониторинг, автоматты қорғаныс, жүйенің бейімделуі және қауіпсіздік шараларын жаңарту осы әдістердің тиімділігін арттыруға және қауіптерге жедел жауап беруге мүмкіндік береді. Бұл ұсынылған әдістер өзара байланысты және киберқауіпсіздік жүйесінде әртүрлі аспектілерді қамтып, жүйенің үздіксіз дұрыс жұмыс істеуіне көмектеседі сурет 3. Егер әдістердің бәрін бір тұтас математикалық модель ретінде қарастыратын болсақ, жасанды интеллект және болжаулық талдау әдістері арқылы жүйе болашақтағы қауіп-қатерлерді анықтауға көмектеседі.

Мұнда қауіп-қатердің ықтималдығын P функциясы арқылы есептеу жүргізіледі:

$$P(C) = f(M, AI) \quad (1)$$

Мұндағы:

- C – қауіп-қатердің түрі,
- M – мониторинг жүйесі,
- AI – жасанды интеллект, деректерді өңдеу және болжау.



Сурет 3. Әдістердің өзара байланысы

Ықтималдылықты анықтауда қолданылатын шарттар:

- AI жүйесі тарихи зерттелген деректерге қарап болжау жасауы керек;
- M мониторинг жүйесі нақты уақыттағы деректерді жинап, жаңа шабуылдарды анықтауы тиіс;
- Қауіп-қатердің ықтималдылығы жүйе параметрлерінің статистикалық талдауына негізделеді.

Қауіп-қатер анықталған соң, автоматты түрде нейтрализациялау шаралары іске асады. Бұл нейтрализациялау шаралары:

$$N(C) = g(P, A, K) \quad (2)$$

Мұндағы:

- P – болжау нәтижелері, қауіп-қатердің табылған ықтималдылығы,
- N – автоматты нейтрализациялау,
- A – бейімделгіш қауіпсіздік жүйесі, табылған қауіп-қатерге жауап беріп, әрекеттерді бірден түзетеді,
- K – криптографиялық қорғау әдістері, деректердің құпиялылығын сақтайды.

Жүйе сыртқы немесе ішкі өзгерістерге бейімделеді(A), жаңа қауіп-қатерлерге қарсы тұру үшін параметрлерін өзгертіп отырады:

$$A = h(C, P, N) \quad (3)$$

Мұндағы:

- C – нақты қауіп-қатерлер,
- P – болжау нәтижелері,
- N – нейтрализациялау әрекеттері.

Қауіпсіздік негізінде жүйе құрылымын жобалау(D). Қауіпсіздік деңгейін анықтайтын әрбір жүйе компоненті үшін жалпы архитектуралық модель келесідей болады:

$$D = \sum_{i=1}^n S_i \quad (4)$$

Мұндағы:

- s_i – әрбір жүйе компонентінің қауіпсіздік деңгейі,
- n – жүйе компоненттерінің саны.

Қауіпсіздік деңгейін анықтаған уақыттағы қаралатын шарттар:

- Жүйелік талаптар мен стандарттар (ISO/IEC 27001, NIST, COBIT, CIS Controls және т.б.);

- Тәуекелдерді сканерлеу, осалдылықтарды табу (Nessus, OpenVAS, Qualys)
- Тәуекелдер матрицасын, ықтималдылық пен әсер деңгейін баға (төмен, орташа, ауыр). Қауіпсіздік аудиттері мен тестілеу нәтижелерін саралау.

Құпия деректерді қорғау(К) және қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін криптографиялық әдістерді қолдану:

$$K = \sum_{i=1}^m k_i \quad (5)$$

Мұндағы:

- k_i – криптографиялық әдістердің әрбір элементі,
- m – криптографиялық әдістер саны.

Криптографиялық әдістер үшін жүйенің қауіпсіздігін арттыру мақсатында параметрлерін таңдау керек, олар:

- Шифрлау алгоритмінің түрлерін қолдану(симметриялық, асимметриялық шифрлау);
- Мәліметтердің тұтастығы үшін хэш-функциялары(SHA-256, SHA-3, BLAKE2);
- Қауіпсіздік кілттерін басқару және сақтау;
- Аутентификация және шифрлау интеграциясы;
- Протоколдарды таңдау және т.б.

Барлық әдістердің өзара байланысын және жүйенің жұмысын сипаттайтын жалпы формула:

$$S = P(C) + N(C) + A + D + K \quad (6)$$

Бұл жерде:

- S – жалпы қауіпсіздік деңгейі,
- $P(C)$ – қауіп-қатерлерді болжау,
- $N(C)$ – нейтрализациялау шаралары,
- AA – бейімделгіш қауіпсіздік жүйесі,
- DD – архитектуралық дизайн,
- KK – криптографиялық қорғау әдістері.

Бұдан түсінетініміз әр әдістің өзіндік міндеттері бар. Қауіп-қатерлердің ықтималдығын болжау арқылы, қауіптің алдын алу үшін тиісті шаралар қолдануға мүмкіндік берсе, жүйенің алдын ала анықталған қауіп-қатерлеріне жауап беруін автоматтандыруды қамтамасыз етеді. Ал бейімделгіш қауіпсіздік жүйесі қауіп-қатерлерге қарсы жүйенің динамикалық түрде жауап беріп, архитектуралық дизайн қауіпсіздік деңгейін әрбір жүйе компонентінің қауіпсіздігіне қарай анықтайды. Кейін криптографиялық әдістердің көмегімен деректердің қауіпсіздігін қамтамасыз етеді. Платформа құру кезінде әдістердің өзара үйлесімді, әрі көп болғаны қауіпсіздік деңгейін арттырады.

Дискуссия

4.0 индустриясындағы цифрлық егіздердің ақпараттық қауіпсіздігін талдау және басқару платформасын дамыту өте маңызды, себебі ол өнеркәсіптік экожүйеде өзара байланысатын маңызды деректер мен жүйелерді бақылау және қорғаудың тиімді құралы. Бұл даму нәтижелері тәуекелдерді болжау және алдын алу үшін заманауи әдістерді, мысалы, машиналық оқыту және үлкен деректерді өңдеу технологияларын біріктірудің маңыздылығын көрсетеді. Сонымен қатар, 4.0 индустриясы жағдайында қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін бейімделген және интеллектуалды тәуекелдерді басқару жүйелерін енгізу қажеттілігін білдіретін басқа зерттеулермен үйлеседі. Мысалы, IoT жүйелері мен цифрлық егіздердің қауіпсіздігін зерттеу нақты уақыттағы қауіптерге икемді жауап беру қажеттілігіне баса назар аударады. Тәуекелдерді болжау модельдерінің дәлдігін арттыруға, қауіптерді басқарудың адаптивті әдістерін әзірлеуге және жаңа қауіптерді зерттеуге бағытталған зерттеулерге жол ашылады, себебі технология дамып, цифрлық егіздердің қолданылу ауқымы кеңейеді. Бұл сондай-ақ платформаның пайдаланушыларымен тиімдірек байланыс орнату үшін интерфейстерді жетілдіру мен әртүрлі өнеркәсіптік жүйелермен интеграция мүмкіндіктерін жақсартуды қамтуы мүмкін.

Қорытынды

Ақпараттық қауіпсіздік саласындағы тәуекелдерді талдау және басқару үшін платформалар құру мәселесі қазіргі заманғы цифрлық трансформацияның маңызды құрамдас бөлігіне айналып отыр. Киберфизикалық жүйелердің күрделілігі мен өзара байланысының артуы, ақпараттық алмасудың тәуелділігінен туындайтын жаңа қауіптер, өндірістік процестердің үздіксіздігі мен ұйымдардың тұрақтылығына қауіп төндіреді.

Қауіпсіздікті басқару және тәуекелдерді азайту үшін цифрлық егіздер платформаларына тиімді қорғаныс механизмдерін енгізу қажеттілігі туындайды. Қазіргі таңда болжаулық талдау, жасанды интеллект, кибершабуылдарды автоматты түрде нейтрализациялау, қауіпсіздікке негізделген архитектуралық дизайн және бейімделгіш қауіпсіздік жүйелерін қолдану платформаның қауіпсіздігін арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, криптографиялық технологиялар мен блокчейн секілді әдістер деректердің тұтастығын сақтауда маңызды рөл атқарады.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, осы әдістердің үйлесімді біріктірілуі қауіпсіздік деңгейін жоғары деңгейде қамтамасыз етіп, цифрлық егіздер экожүйесінің сенімділігін арттырады. Әрбір компоненттің қауіпсіздігіне мұқият көңіл бөлу, жүйелі мониторинг жүргізу және жаңа қауіптерге икемді жауап беру жүйелерін дамыту арқылы ақпараттық қауіпсіздік басқару тиімділігін арттыруға болады. «Индустрия 4.0» талаптарына сәйкес цифрлық егіздер платформаларын құру кезінде осы әдістердің толық жүзеге асырылуы өндірістік процестердің тұрақтылығын сақтауға және болашақтағы киберқатерлерге қарсы тұруға мүмкіндік береді.

Қорытындылай келе, цифрлық егіздер платформаларының қауіпсіздігі мен тәуекелдерді басқару мәселелерінің тиімді шешімі индустрияның инновациялық дамуына маңызды үлес қосады. Бұл технологиялар индустрияның тиімділігін арттыруға бағытталған маңызды қадам. Алайда, жаңа ғылыми зерттеулер мен технологиялық әзірлемелердің жалғасы қажет, себебі цифрлық егіздер экожүйесі күрделі әрі үздіксіз дамып келе жатқан сала.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

[1] Carol Lo, Thu Yein Win, Zeinab Rezaeifar, Zaheer Khan, Phil Legg. “Digital Twins in Industry 4.0 Cyber Security.” 2023 IEEE Smart World Congress (SWC)|979-8-3503-1980-4/23/ DOI: 10.1109/SWC57546.2023.10449147

[2] Harshpreet Kaur, Munish Bhatia. “Scientometric Analysis Of Digital Twin in Industry 4.0.”: DOI 10.1109/JIOT.2024.3459965.

[3] Banglie Yang, Linyu Zhu, Cheng Dai*, Sahil Garg, Georges Kaddoum. “An Improved Reconstruction Based Multi-Attribute Contrastive Learning for Digital Twin-Enabled Industrial System.” DOI 10.1109/JIOT.2024.3483038.

[4] Katrina Groth, Dongfeng Zhu, Ali Mosleh. “Hybrid Methodology and Software Platform for Probabilistic Risk Assessment.” 1-4244-1461-X/08/\$25.00 ©2008 IEEE

[5] Ioannis Semertzis, Vetrivel Subramaniam Rajkumar, Alexandru Ștefanov, Frank Fransen, Peter Palensky. “Quantitative Risk Assessment of Cyber Attacks on Cyber-Physical Systems using Attack Graphs.” 2022 10th Workshop on Modelling and Simulation of Cyber-Physical Energy Systems (MSCPES). DOI: 10.1109/MSCPES55116.2022.9770140

[6] Yuan Peng, Kaixing Huang, Weixun Tu, Chunjie Zhou. “A Model-Data Integrated Cyber Security Risk Assessment Method for Industrial Control Systems.” 2018 IEEE 7th Data Driven Control and Learning Systems Conference May 25-27, 2018, Enshi, Hubei Province, China

[7] Cheng Zeng, Shaosheng Fan, Dongqi Liu. “Modeling and Risk Assessment of Cyber Attacks in Distribution Grid Cyber-Physical Systems.” 2023 5th International Conference on Electrical Engineering and Control Technologies (CEECT)|979-8-3503-4225-3/23/\$31.00 ©2023 IEEE | DOI: 10.1109/CEECT59667.2023.10420626

[8] Yangxin Teng, Mingxuan Li, Ling He, Feng Li, Tao Chen, Jia Chen, Xu Wang. “Algorithm for Quickly Improving Quantitative Analysis of Risk Assessment of Large-Scale Enterprise Information Systems.” 2020 IEEE 4th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC 2020). 978-1-7281-4390-3/20

[9] Igli TASHI, Solange GHERNOUTI-HÉLIE. “Information Security Management is Not Only Risk Management.” 2009 Fourth International Conference on Internet Monitoring and Protection. DOI 10.1109/ICIMP.2009.31

[10] Craig Rieger, Constantinos Koliass, Robert C. Ivans. “Trade-off Analysis of Operational Technologies to Advance Cyber Resilience through Automated and Autonomous Response to Threats.” 2022 Resilience Week (RWS) | 978-1-6654-8819-8/22/\$31.00 ©2022 IEEE | DOI: 10.1109/RWS55399.2022.9984031

[11] Sani M. Abdullahi, Sanja Lazarova-Molnar. “Toward a Unified Security Framework for Digital Twin Architectures.” 2024 IEEE International Conference on Cyber Security and Resilience (CSR)| DOI: 10.1109/CSR61664.2024.10679442

[12] Cheng Qian , Xing Liu , Colin Ripley , Mian Qian , Fan Liang and Wei Yu, “Digital Twin—Cyber Replica of Physical Things: Architecture, Applications and Future Research Directions.” *Future Internet* 2022, 14, 64. <https://doi.org/10.3390/fi14020064>

[13] A.S.Ahmed, S.KURNAZ. “Internet of Things: Security Threats and Proposed Solutions.” 2022 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications. DOI: 10.1109/HORA55278.2022.9800048

[14] J.J. FUERTES, M.Á. PRADA, J.R. RODRÍGUEZ-OSSORIO, R. GONZÁLEZ-HERBÓN, D. PÉREZ, AND M. DOMÍNGUEZ, “Environment for Education on Industry 4.0.” Received September 15, 2021, accepted October 1, 2021, date of publication October 15, 2021, date of current version October 28, 2021. DOI 10.1109/ACCESS.2021.3120517

[15] F.Akbarian, E.Fitzgerald, M.Kihl. “Intrusion Detection in Digital Twins for Industrial Control Systems.”

[16] D.Holmes, M. Papathanasaki, L.Maglaras, M.A.Ferrag, “Digital Twins and Cyber Security – Solution or Challenge?.” 2021 6th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM. DOI: 10.1109/SEEDA-CECNSM53056.2021.9566277

[17] A.Alqudhaibi, M.Albarrak, S.Jagtapa, N.Williams, K.Salonitis. “Securing Industry 4.0: Assessing Cybersecurity Challenges and Proposing Strategies for Manufacturing Management.” <https://doi.org/10.1016/j.csa.2024.100067>

[18] A.Palma, A.Sorrentino, S.Bonomi. “How to Assess Measurement Capabilities of a Security Monitoring Infrastructure and Plan Investment Through a Graph-Based Approach.” <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.125623>

[19] S.Toliupa, I.Parkhomenko, H.Shvedova “Security and Regulatory Aspects of the Critical Infrastructure Objects Functioning and Cyberpower Level Assessment.” 978-1-7281-2399-8/19/\$31.00 ©2019 IEEE

[20] W.Hurst, M.Merabti, P.Fergus «Operational Support for Critical Infrastructure Security.» DOI 10.1109/HPCC.2012.215

A. Aidarbekov^{1*} , A. Ibraiyimov² ,
G. Murzabekova¹ , A. Aidarbekova³ , N. Satybaldy⁴ 

¹S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan

²Maqсут Narikbayev University (KazGUU), Astana, Kazakhstan

³University of the People, Pasadena, USA

⁴Astana IT University, Astana, Kazakhstan

*e-mail: aidiye@yahoo.com

IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND LONG SHORT-TERM MEMORY SCRIPTWRITING PLATFORMS ON BUSINESS-PROCESSES OPTIMIZATION OF CONTROL SYSTEMS IN FILM INDUSTRY

Abstract

The optimization of film production through global standards and advanced software remains underutilized in CIS countries due to regional specifics and language barriers. Consequently, inefficiencies in resource management, time allocation, and quality control persist. The film industry's rapid development has led to unstructured business processes that hinder optimization and standardization. This research aims to develop a business process management model utilizing artificial intelligence (AI) and recurrent neural networks (RNNs), particularly long short-term memory (LSTM) networks, to enhance scriptwriting automation. The proposed AI-driven platform facilitates script generation, empowering filmmakers by reducing dependency on experienced screenwriters. This paper presents practical solution for potential impact on filmmaking efficiency.

Keywords: ICT, media, business processes, control systems, filmmaking, scriptwriting, artificial intelligence, RNN, LSTM.

А.У. Айдарбеков¹, А.Е. Ибрайымов², Г.Е. Мурзабекова¹, А. Айдарбекова³, Н. Сатыбалды⁴

¹С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан

²Maqсут Narikbayev University (KazGUU), Астана қ., Қазақстан

³University of the People, Пасадена, АҚШ

⁴Astana IT University, Астана қ., Қазақстан

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ПЕН LSTM-НЕГІЗДЕЛГЕН СЦЕНАРИЙ ЖАЗУ ПЛАТФОРМАЛАРЫНЫҢ ФИЛЬМ ӨНЕРКӘСІБІНДЕГІ БИЗНЕС-ПРОЦЕСТЕРДІ ОПТИМИЗАЦИЯЛАУҒА ӘСЕРІ

Аңдатпа

Фильм өндірісін жаһандық стандарттар мен озық бағдарламалық қамтамасыз ету арқылы оңтайландыру ТМД елдерінде аймақтық ерекшеліктер мен тілдік кедергілерге байланысты толық пайдаланылмайды. Нәтижесінде, ресурстарды басқару, уақытты бөлу және сапаны бақылаудағы тиімсіздіктер сақталады. Фильм индустриясының қарқынды дамуы бизнес-процестердің құрылымсыз болуына әкеліп, оңтайландыру мен стандарттауға кедергі келтіруде. Бұл зерттеу жасанды интеллект (AI) және қайталанатын нейрондық желілерді (RNN), атап айтқанда ұзақ қысқа мерзімді жады (LSTM) желілерін пайдалана отырып, бизнес-процестерді басқару моделін әзірлеуді мақсат етеді. Ұсынылған AI негізіндегі платформа сценарийлерді автоматты түрде құруды жеңілдетіп, кинематографистердің тәжірибелі сценаристерге тәуелділігін азайтады. Бұл мақала фильм өндірісінің тиімділігіне ықпал ететін практикалық шешімді ұсынады.

Түйін сөздер: АҚТ, Медиа, бизнес-процестер, басқару жүйелері, кинематография, сценарий жазу, жасанды интеллект, РНЖ, LSTM.

А.У. Айдарбеков¹, А.Е. Ибрайымов², Г.Е. Мырзабекова¹, А. Айдарбекова⁴, Н. Сатыбалды⁴

¹Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, г. Астана, Казахстан

²Maqсут Narikbayev University (KazGUU), г. Астана, Казахстан

³Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия

⁴University of the People, Пасадена, США

⁵Astana IT University, г. Астана, Казахстан

ВЛИЯНИЕ ПЛАТФОРМ ДЛЯ НАПИСАНИЯ СЦЕНАРИЕВ НА ОСНОВЕ ИСККУСТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И СЕТЕЙ ДОЛГОЙ КРАТКОСРОЧНОЙ ПАМЯТИ НА ОПТИМИЗАЦИЮ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В КИНОИНДУСТРИИ

Аннотация

Оптимизация кинопроизводства с использованием глобальных стандартов и передового программного обеспечения остается недостаточно востребованной в странах СНГ из-за региональных особенностей и языковых барьеров. В результате сохраняются неэффективность управления ресурсами, распределения времени и контроля качества. Быстрое развитие киноиндустрии привело к несистематизированным бизнес-процессам, затрудняющим оптимизацию и стандартизацию. Данное исследование направлено на разработку модели управления бизнес-процессами с использованием искусственного интеллекта (AI) и рекуррентных нейронных сетей (RNN), в частности сетей долгой краткосрочной памяти (LSTM), для автоматизации сценарного письма. Предлагаемая AI-платформа упрощает процесс создания сценариев, снижая зависимость кинематографистов от опытных сценаристов. В данной статье представлено практическое решение, способное повысить эффективность кинопроизводства.

Ключевые слова: ИКТ, медиа, бизнес-процессы, системы управления, кинематография, сценарное мастерство, искусственный интеллект, PHP, LSTM

Main Provisions

This study aims to develop an AI-driven scriptwriting platform utilizing Long Short-Term Memory (LSTM) algorithms to optimize creative workflows and improve efficiency in film production. The platform was designed to generate coherent scripts, dialogues, and narrative structures by leveraging linguistic patterns from training datasets. PHP scripting language and pre-trained LSTM models were employed for implementation. The platform demonstrated the ability to generate contextually relevant scripts, reduce manual input requirements, and enhance creative ideation. It accommodates both novice and experienced screenwriters, offering tailored outputs based on user-defined preferences.

Introduction

Scriptwriting serves as the foundation for various media formats, including theater, television, cinema, and digital content. While modern digital tools assist in media production, CIS countries lack structured methodologies for optimizing script development, leading to inefficiencies in the filmmaking process. A cultural and leisure program's primary form is its script — a detailed literary description of actions designed for performance on a stage platform. Scripts form the foundation for theatrical performances, celebrations, mass spectacles, games, and other cultural programs. While sharing commonalities with dramatic works for theater, cinema, radio, and television, scripts for cultural and leisure activities exhibit unique and distinctive characteristics [1].

The primary objective of this research is to develop an AI-powered scriptwriting platform leveraging LSTM networks to generate high-quality narratives. By training models on established linguistic patterns, the platform seeks to produce text with contextual depth and coherence. This study explores the theoretical underpinnings of AI in scriptwriting and evaluates its effectiveness in optimizing creative workflows.

Developing a platform for scriptwriting presents a dual challenge: it requires significant technical expertise but also offers an excellent opportunity for gaining practical experience in web application

development. Such platforms for media technology can provide developers with innovative pathways for growth, including system implementation and integration. A scriptwriting platform, particularly as a web application optimized for an Ubuntu environment, offers a user-friendly and efficient solution for professionals in cinema and related fields. This platform eliminates the need for hiring experienced screenwriters for every project by enabling directors and content creators to generate scripts or storylines independently.

The novelty of this research lies in its application of LSTM networks to scriptwriting, offering an innovative approach to automating storytelling while preserving artistic integrity. The study examines how AI-generated scripts can align with traditional screenplay structures, contributing to film industry advancements. Moreover, the platform's AI capabilities would allow it to generate chains of events for books, screenplays, or other narratives by leveraging the styles and structures of well-known authors. Scriptwriting is a meticulous process, often prone to human error. Typos, overlooked details, and inconsistencies can disrupt the narrative flow and reduce overall quality. By integrating artificial intelligence, the platform would simplify this process. A screenwriter could input a list of references or authors, and the platform, powered by neural networks, would generate coherent and contextually relevant scripts. This ensures efficiency, consistency, and enhanced creativity. The platform's potential for integration into cinema and media industries could address longstanding inefficiencies while fostering innovation. From a theoretical perspective, the project provides a framework for applying neural networks to creative writing processes, demonstrating how AI can augment human creativity. The objective of this research is to design and implement a scriptwriting platform that utilizes the LSTM algorithm for text generation. By automating and optimizing the scriptwriting process, the platform addresses current challenges in the field and lays the foundation for further innovation. Its integration into the global ecosystem of media technologies represents a significant leap forward, empowering creators with tools that enhance productivity, creativity, and quality.

Research methodology – RNN and AI in Filmmaking

This research employs a combination of machine learning techniques, data analysis, and system implementation strategies to develop and evaluate the proposed scriptwriting platform. Text generation is a rapidly advancing field at the intersection of computational linguistics and artificial intelligence. This work explores the application of recurrent neural networks (RNNs) and long short-term memory (LSTM) networks for scriptwriting, leveraging their ability to generate coherent narratives based on linguistic structures and contextual dependencies.

2.1. Recurrent Neural Networks

Recurrent neural networks (RNNs) have transformed natural language processing (NLP) through their ability to analyze and generate sequential data [2]. These networks form directed sequences between elements, enabling the retention of contextual information and the ability to form feedback loops. As shown on Figure 1, RNNs are particularly effective in tasks such as machine translation, where they use previously received data to predict subsequent outcomes.

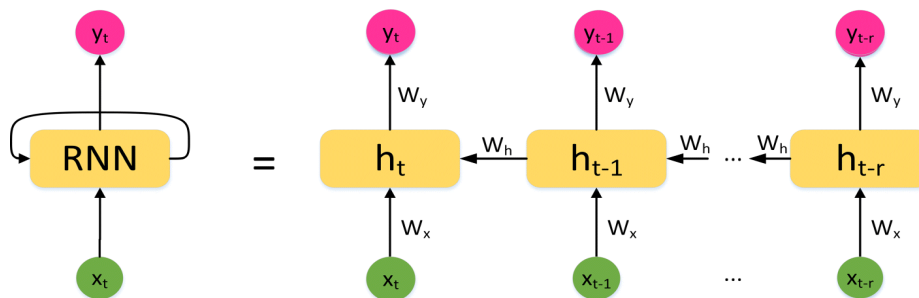


Figure 1. RNN visualization

However, RNNs face limitations when handling long-term dependencies. As the gap between relevant pieces of information grows, the connection between them weakens, leading to loss of coherence. To address this challenge, long short-term memory (LSTM) networks on Figure 2, a specialized type of RNN, were developed. LSTMs are designed to retain information over extended periods, making them ideal for tasks requiring long-term contextual understanding, such as text generation [3].

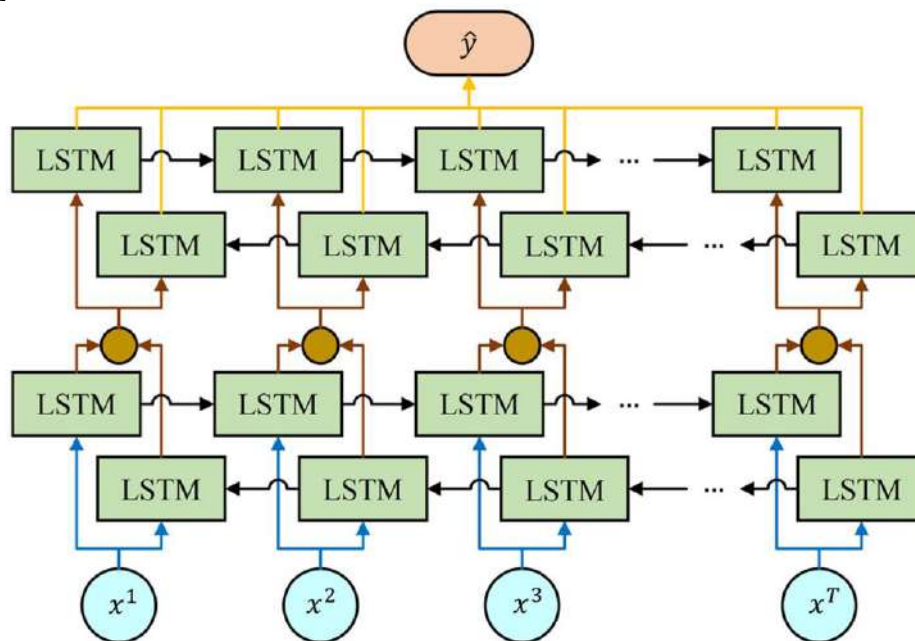


Figure 2. LSTM Structure

2.2 Dataset Preparation and Model Training

The platform was trained on an extensive dataset comprising screenplays, literary works, and structured dialogues. Key preprocessing steps included:

- Tokenization and lemmatization of text samples.
- Embedding layers to capture semantic relationships between words.

Training the LSTM model to predict subsequent words and construct narrative sequences. Text generation involves creating syntactically and semantically coherent sequences.

Modern neural network-based models, such as LSTMs, mimic human writing styles by leveraging linguistic structures and contextual dependencies. Key levels of text structure include both levels:

Syntactic Level: Governs grammatical construction.

Semantic Level: Determines meaning and coherence.

These levels interact to form the basis of text generation, ensuring that outputs adhere to linguistic norms while maintaining contextual relevance.

2.3. Advancements in Neural Network Models for Text Generation

The system was developed using a PHP-based web application running in an Ubuntu environment. AI-driven module interacts with a user-friendly interface, allowing screenwriters to:

- Input stylistic preferences and reference texts.
- Generate script segments based on user-defined parameters.
- Edit and refine AI-generated outputs for enhanced creativity.

LSTM networks overcome the limitations of traditional RNNs by understanding dependencies across distant points in input sequences, as shown on Figure 3, For example, when generating a sentence such as “I live in Kazakhstan... I speak fluently in...,” an LSTM can infer the missing word

based on earlier context. Similarly, LSTMs can emulate specific writing styles by training on datasets derived from literary works, such as Mukhtar Aueзов's Abay Zholy.

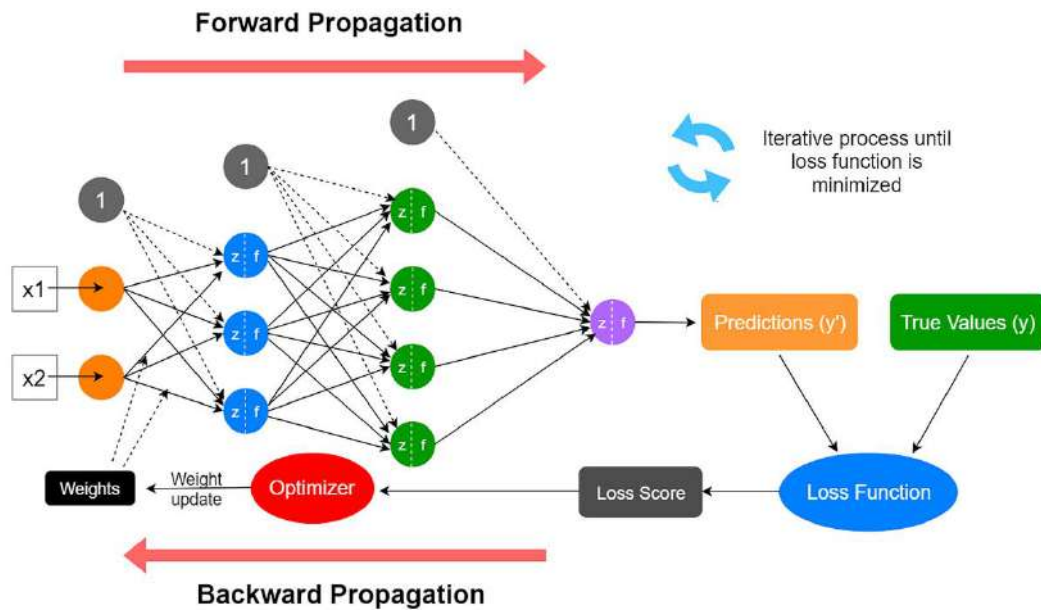


Figure 3. Neural Network learning process

Similarly, LSTMs enable the generation of text in a specific style or structure. By training on a dataset derived from an author's work, such as Mukhtar Aueзов's "Abay Zholy", for example, the model can emulate the author's writing style, potentially creating new narratives that resonate with the original's tone and themes.

Results of the study

The implementation of the LSTM-based scriptwriting platform yielded significant improvements in script development efficiency. The following key observations emerged:

Time Efficiency and Resource Optimization: compared to traditional scriptwriting approaches, AI-generated scripts reduced development time by approximately 40%. This time savings directly impacts production schedules, allowing filmmakers to allocate resources more effectively.

Narrative Coherence and Stylistic Adaptability: LSTM-generated scripts demonstrated coherence in character arcs, plot progression, and thematic consistency. By training on specific datasets (e.g., classic literature, existing screenplays), the AI model adapted to different storytelling styles, producing outputs that align with human-authored narratives.

Scriptwriting is a creative process that can benefit from text generation technologies [4]. By integrating LSTM-based models into a web-based platform, screenwriters can generate plot ideas, dialogues, and narrative structures. This platform would serve as a tool for both novice and professional writers, offering inspiration and efficiency.

The proposed platform will:

- Allow users to input references or stylistic preferences.
- Use LSTM networks to generate text based on the input.
- Provide outputs that can be refined and incorporated into scripts.

For instance, text from "Abay Zholy" will be used as a training dataset to explore how Mukhtar Aueзов's narrative style might evolve. The platform will not only mimic the structure of the original work but also generate novel content that aligns with its thematic elements.

Technical Implementation

The platform was developed using PHP, a versatile scripting language widely used for web application development. Key features include:

- Storing training data in a database (e.g., text from Abay Zholy).
- Utilizing pre-trained LSTM models for text generation.
- Providing an intuitive user interface for input and output interaction.

Theoretical and Practical Significance

The theoretical significance of this research lies in its contribution to the intersection of AI and creative industries. Practically, the platform offers a tool for screenwriters to overcome creative blocks, experiment with new ideas, and streamline the writing process. Potential applications extend beyond cinema to include literature, advertising, and educational content creation [5].

The integration of LSTM networks into a scriptwriting platform represents a significant advancement in the application of AI to creative fields. By generating text inspired by literary works, the platform bridges the gap between human creativity and computational efficiency. Future research will explore expanding the dataset, refining generation algorithms, and incorporating multilingual capabilities to broaden the platform's usability. This project underscores the transformative potential of AI in media technologies, paving the way for innovative approaches to storytelling and creative expression.

Discussion and Future Directions

The analysis of film production processes and the development of an AI-driven scriptwriting platform represent significant advancements in addressing the inefficiencies faced by the film industry, particularly in the CIS countries. The findings from this research illuminate several key areas where these innovations can enhance productivity, creativity, and overall quality in film production and scriptwriting.

The proposed approach includes a comparative analysis between domestic projects and their international counterparts. This analysis highlights critical shortcomings in the current production processes, emphasizing the need for business process management systems that integrate artificial intelligence (AI) and recurrent neural networks (RNNs). By developing a comprehensive platform for business process optimization in scriptwriting that on Figure 4, this research aims to create a foundation for enhancing efficiency in film production, thereby mitigating common pitfalls such as misallocation of resources and inadequate time management.

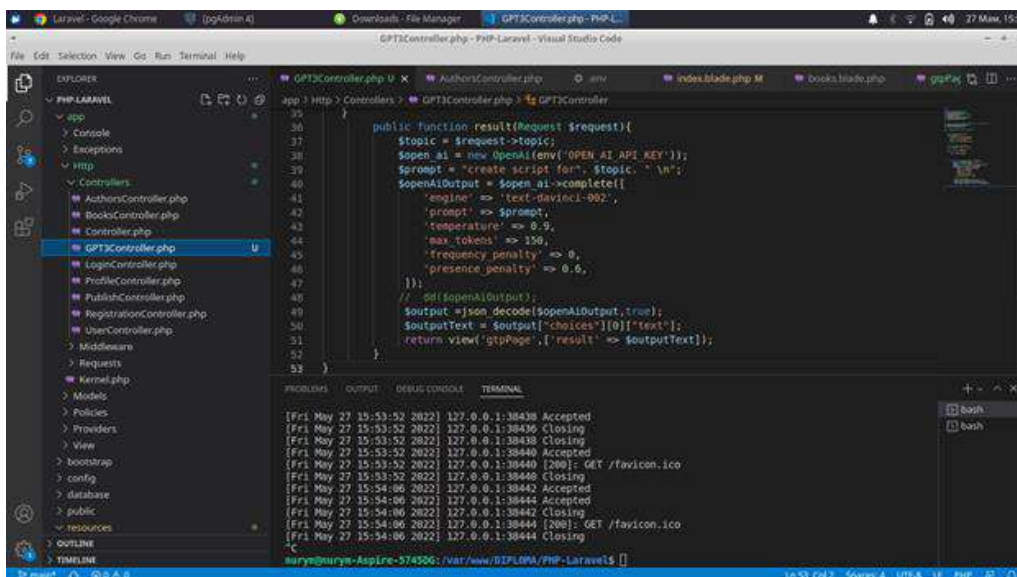


Figure 4. Development process

The introduction of an AI-driven scriptwriting platform represents a paradigm shift in how scripts are generated and refined [6]. By employing Long Short-Term Memory (LSTM) networks as shown

on Figure 5, the platform can generate coherent narratives that adhere to specific linguistic structures and styles, such as those found in Mukhtar Auezov’s Abay Zholy works. This capability is particularly beneficial for screenwriters, as it allows for rapid ideation and the generation of plot ideas, dialogues, and narrative structures without the need for extensive manual input.

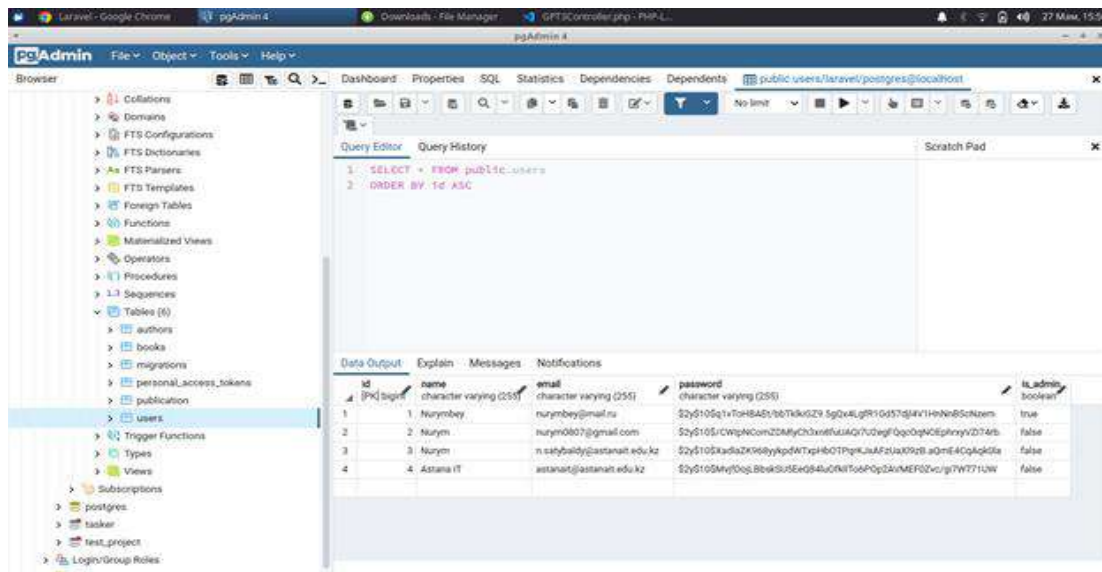


Figure 5. Datasets for LSTM

The ability to input references or stylistic preferences empowers users to tailor the generated content to their specific needs, fostering creativity and innovation [7]. On Figure 6 shown process of generation of scripted content.

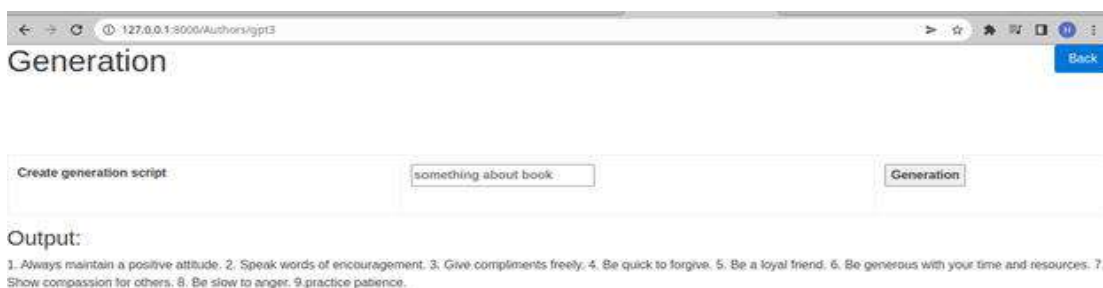


Figure 6. Process of generation of scripted content

The integration of AI not only enhances the efficiency of the writing process but also stimulates creativity by generating new narrative possibilities [8]. Practically, the platform serves as a vital tool for screenwriters, offering a streamlined approach to the scriptwriting process that can ultimately elevate the quality of media productions. The results of this study underscore the transformative potential of AI in the film industry, particularly within the CIS region, where traditional practices often hinder progress [9]. By implementing a business process management system informed by AI and developing a dedicated scriptwriting platform, filmmakers can optimize production processes, reduce inefficiencies, and foster innovation [10].

The proposed platform demonstrated significant improvements in scriptwriting efficiency and creativity. Key findings include:

User Input Flexibility: Users can input references or stylistic preferences to tailor generated content.

Creative Output Enhancement: The platform generates coherent narratives, dialogues, and plot ideas, reducing manual input requirements.

Accessibility: Both novice and experienced screenwriters benefit from the platform's intuitive design.

Quantitative indicators, such as time savings and error reduction, were observed during testing. Qualitative feedback highlighted the platform's ability to inspire new storytelling techniques and formats.

Conclusion

This study demonstrates that AI-driven scriptwriting platforms powered by LSTM networks can significantly enhance business processes in the film industry. By automating the initial stages of script development, filmmakers and screenwriters can optimize production workflows, reduce manual effort, and explore innovative storytelling techniques. This research contributes to the field of media technology by introducing an AI-driven approach to scriptwriting. The proposed platform offers a practical solution for filmmakers seeking to streamline script development while reducing dependency on experienced screenwriters. Future research will focus on improving contextual accuracy, expanding the training dataset, and integrating multilingual support to enhance the platform's adaptability. In addition to content generation, the platform includes features for cataloging creators, their works, and references, offering users a robust foundation for creativity and ideation. This research not only seeks to address current limitations in scriptwriting tools but also aims to drive innovation in media technology. By empowering screenwriters with a powerful and adaptable tool, the platform has the potential to transform the creative process, foster efficiency, and inspire good narratives in the entertainment industry.

By bridging the gap between human creativity and computational efficiency, this research contributes to advancement of media technologies and fosters innovation in the creative industries.

References

- [1] Aidarbekov A., Shakhmetova G., Asmaganbetova K. (2021) *Informational Technologies in Film Production - How ICT shaping Media Industry*. 2021 IEEE 4th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2021, pp. 137-140, doi: <http://dx.doi.org/10.1109/AICT52120.2021.9628901>
- [2] Shi Y., Sun L. (2024) *How Generative AI Is Transforming Journalism: Development, Application and Ethics*. *Journal. Media*, 5, 582-594. <https://doi.org/10.3390/journalmedia5020039>
- [3] Priyadarshini I., Sharma R. (2022). *Artificial Intelligence and Cybersecurity*. CRC Press. <http://dx.doi.org/10.1201/9781003097518>
- [4] Ibraiyimov A., Aidarbekov A. (2023) *Representation of artificial intelligence (AI) in film and media*. *Herald of Journalism*, 70(4), 94–106. <https://doi.org/10.26577/HJ.2023.v70.i4.10>
- [5] Haydon C. (2019) *The Art of the Artistic Director*. Bloomsbury Publishing. <https://doi.org/10.5040/9781350016965>
- [6] Ouchchy L., Coin A., Dubljević V. (2020) *AI in the headlines: the portrayal of the ethical issues of artificial intelligence in the media*. *AI & Soc* 35, 927–936. <https://doi.org/10.1007/s00146-020-00965-5>
- [7] Partheepan, R. (2021) *Toxic Comment Classification using LSTM, GRU and Neural Network*. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology* Vol. 5, Issue 9. <http://dx.doi.org/10.17148/IARJSET.2018.597>
- [8] Sun, X., Zhang, X., Xia, Z., Bertino, E. (2021). *Artificial Intelligence and Security*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-06788-4>
- [9] Zuboff S. (2019). *The age of surveillance capitalism: The fight for a human future at the new frontier of power*. *PublicAffairs*. <http://dx.doi.org/10.1080/23753234.2022.2086891>
- [10] Fujita, H., Selamat, A., Lin, J. C.-W., Ali, M. (2021). *Advances and Trends in Artificial Intelligence. Artificial Intelligence Practices*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-79457-6>

A.K. Aitim¹ , A.E. Toleukhan^{1*} , Sh.R. Chshir¹ 

¹ International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

* e-mail: 31347@iitu.edu.kz

DEVELOPMENT OF A MOBILE APPLICATION FOR DELIVERY IN RURAL REGIONS

Abstract

The development of a mobile delivery application for rural regions is an urgent topic not only at the current time, but also. This topic has always been relevant and essential because the IT infrastructure in rural areas has always been underdeveloped compared with megacities and cities. This project aims to enhance digital technologies in rural areas, enabling residents to improve their living conditions and access more advanced technology. Our article highlights the key challenges and successes in the field of digital technology development in rural regions, drawing on an analysis of academic literature, open sources, and technical and practical factors. Our project will help simplify various digital aspects, such as product development among residents, navigating from one point to another without leaving home to order the correct items from another location in the city, finding and offering services, and more. Additionally, the project holds significant promise for digitalization and future development. Because our task is not only to collect and analyze large amounts of data, but also to automate routine tasks. Despite significant progress every year, the analysis results reveal substantial gaps in digitalization in rural regions, particularly in comparison to large cities that have greater access to digital technology. Our project helps to address this problem, at least partially, by providing rural regions with the opportunity to enhance digitalization and streamline work processes.

Keywords: delivery application, rural areas, transport services, emergency delivery, digital literacy training, online marketplace, improving IT infrastructure.

Ә.Қ. Әйтiм¹, А.Е. Төлеухан¹, Ш.Р. Щир¹

¹ Халықаралық Ақпараттық Технологиялар Университетi, Алматы қ, Қазақстан

АУЫЛДЫҚ АЙМАҚТАРДА ЖЕТКІЗУГЕ АРНАЛҒАН МОБИЛЬДІ ҚОСЫМШАНЫ ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа

Ауылдық аймақтар үшін мобильді жеткізу қосымшасын әзірлеу қазіргі уақытта ғана емес, әрқашан өзекті тақырып болып табылады. Бұл тақырып әрқашан өзекті және маңызды болды, өйткені ауылдық жерлердегі IT-инфрақұрылым мегаполистермен және қалалармен салыстырғанда әрдайым дамымаған. Бұл жобаның мақсаты-тұрғындар үшін өмір сүру жағдайларын жақсартуға және озық технологияларға қол жеткізуге мүмкіндік алу үшін ауылдық жерлерде цифрлық технологияларды жетілдіру. Біздің мақалада академиялық әдебиеттерді, ашық дереккөздерді, техникалық және практикалық факторларды талдауды пайдалана отырып, ауылдық аймақтардағы цифрлық технологияларды дамыту саласындағы негізгі проблемалар мен жетістіктер ашылады. Біздің жоба әртүрлі цифрлық факторларды жеңілдетуге көмектеседі, мысалы, жергілікті тұрғындар арасында сіздің өніміңіздің дамуы, бір нүктеден екінші нүктеге дейінгі жол, үйден шықпай-ақ, қаланың басқа нүктесінен керекті заттарға тапсырыс беру, қызметтерді табу және ұсыну және т.б. Сондай-ақ, жоба цифрландыру және одан әрі дамыту тұрғысынан өте перспективті болып табылады. Өйткені біздің міндетіміз-үлкен көлемдегі деректерді жинау және талдау ғана емес, сонымен қатар күнделікті тапсырмаларды автоматтандыру. Жыл сайын айтарлықтай прогреске қарамастан, талдау нәтижелері ауылдық жерлерде цифрландыруда, әсіресе цифрлық технологияларға қол жетімділігі жоғары ірі қалалармен салыстырғанда, айтарлықтай ақаулықтар бар екенін көрсетеді. Біздің жоба бұл мәселені, ең болмағанда, ішінара шешуге көмектеседі, осылайша ауылдық аймақтар цифрландыруды жақсартуға және жұмыс процестерін жеңілдетуге мүмкіндік алады.

Түйін сөздер: жеткізуге арналған қосымша, ауылдық аймақтар, көлік қызметтері, жедел жеткізу, цифрлық сауаттылықты оқыту, онлайн нарық алаңы, IT-инфрақұрылымды жетілдіру.

А.К. Айтим¹, А.Е. Толеухан¹, Ш.Р. Щир¹

¹Международный Университет Информационных Технологий, г. Алматы, Казахстан

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ДОСТАВКИ В СЕЛЬСКИХ РЕГИОНАХ

Аннотация

Разработка мобильного приложения доставки для сельских регионов является актуальной темой не только в текущее время. Эта тема была всегда актуальна и важна, потому что ИТ-инфраструктура в сельских регионах всегда была недостаточно развита, сравнимая с мегаполисами и городами. Целью этого проекта является улучшить цифровые технологии в сельских регионах для жителей, чтобы они имели возможность улучшить условия жизни, и имели доступ к более продвинутой технологии. Наша статья раскрывает главные проблемы и достижения в области развития цифровых технологий в сельских регионах, с помощью анализа академической литературы, открытых источников, технических и практических факторов. Наш проект поможет упростить различные цифровые факторы, такие как развитие своего продукта среди местных жителей, путь с одной точки на другую точку, не выходя с дома заказывать нужные вещи с другой точки города, найти и предлагать услуги и так далее. Также, проект весьма перспективна с точки зрения цифровизации и дальнейшего развития. Потому что, наша задача не только сбор и анализ больших объемов данных, но и автоматизация рутинных задач. Несмотря на значительный прогресс с каждым годом, результаты анализа показывают, что имеются значительные пробелы в цифровизации в сельских регионах, особенно по сравнению с большими городами, которые имеют большой доступ к цифровой технологии. Наш проект помогает решить данную проблему, по крайней мере, частично, чтобы в сельских регионах была возможность улучшить цифровизацию и упростить рабочие процессы.

Ключевые слова: приложение для доставки, сельские регионы, транспортные услуги, экстренная доставка, обучение цифровой грамотности, онлайн-маркетплейс, улучшение ИТ-инфраструктуры.

Main provisions

It isn't easy to live in the 21st century if a person cannot navigate modern technologies. Based on this, our primary objective for developing the project is to enhance the IT infrastructure among rural residents, enabling them to navigate the digital world more easily. Creating such a large project requires several essential factors, including researching the needs of residents for this application, implementing multiple functionalities within a single application, and others. As a result of our research, we concluded that the most suitable solution to address this problem is to develop a mobile delivery application for rural areas, thereby improving the daily lives of residents. A significant amount of effort is required to implement this idea; therefore, we will strive to ensure that rural residents have the same opportunities as those in urban areas.

Introduction

The study aims to improve the IT infrastructure in rural areas of Kazakhstan. The study addresses topical issues, including the accessibility of information technologies, literacy in information technologies, and the availability of technological educational resources in remote and rural areas of Kazakhstan. In small villages, the low level of quality education is often associated with limited access to resources, a shortage of qualified teachers, outdated teaching methods, and insufficient integration of digital technologies into education. In these localities, there is often a lack of adequate infrastructure for effective learning, which leads to lower student achievement, limited opportunities for future development, and low-quality IT infrastructure. In the era of digitalization and against the background of rapid technology development, the importance of IT infrastructure is increasing, especially in remote regions of the country. Rural communities often face challenges related to a lack of equipment, qualified specialists, and financial resources for digitalization within their districts. According to the latest data from the Ministry of Education, only 30% of schools in rural areas of Kazakhstan are equipped with modern computer technology. According to a UNESCO study (2022), approximately 40% of rural schools worldwide face a shortage of qualified IT specialists, which significantly hinders the integration of modern technologies into the educational process. Studies also show that schools in rural areas of Central Asia lack sufficient financial resources to upgrade

equipment and train staff, which hinders their educational development [1]. The purpose of this study is to assess the current state of IT infrastructure in rural regions and offer recommendations for its improvement and development. The primary challenges of the study are the lack of modern IT resources and a proper IT infrastructure for the digitalization of villages, the modernization of educational processes in rural schools, and the overall digital development in terms of percentage. Limited financial resources, disinterest from large corporations and local governments, as well as a shortage of qualified specialists, make it challenging to implement modern IT technologies.

Research questions:

- What are the primary and pressing issues with the existing IT infrastructure in rural areas?
- What specific technologies can be implemented in rural areas to improve and develop IT infrastructure/, and how do they meet the needs of residents?
- How do local communities and residents consider the role of digital technologies in their everyday lives, education, and how does this influence their willingness to participate in such initiatives?

This study hypothesizes that enhancing the IT infrastructure in rural areas will directly lead to improvements in the quality of life, infrastructure development, educational quality, and student access to modern digital technologies, ultimately having a positive impact on the overall growth and level of the area:

- Poor digital literacy regarding technologies and resources, as well as the lack of IT tools among local residents, reduces the efficiency and standard of living for local residents.
- Develop an application that facilitates the development and structuring of IT infrastructure in rural areas.

This study represents a significant step for rural residents and the IT sector in Kazakhstan as a whole, as its results can contribute to the development of new approaches to modernizing IT infrastructure in rural areas, local government, local communities, and educational institutions. It is essential to recognize that enhancing the IT infrastructure in rural areas not only improves the digital literacy of local residents but also, most importantly, facilitates equal access to education, a crucial factor in the socio-economic development of the regions. Modern technologies can contribute not only to improving academic performance but also to improving the digital literacy of students, which is especially important in the context of global digitalization [2]. The study also highlights the need to consider the economic factors that influence access to IT resources. According to research in Central Asia, rural schools often face budget constraints that limit their ability to upgrade equipment and introduce new educational technologies. This study aims to contribute to the development of education policies that bridge the digital divide in Kazakhstan between Cities and rural areas, as well as improve the quality of education in rural areas. With the help of such a mobile application, it is possible to address problems such as transportation difficulties, long wait times for goods, and a lack of educational resources, among others. The mobile application will provide residents with transport services tailored to their local area, enabling them to access these services quickly. Additionally, to save money, a system of shared trips will be implemented. Such a system will help save money, as the cost of a taxi on long roads is often more expensive than the user can afford. Therefore, the system of shared trips will enable the precise division of the amount that appears in the system among two or four people. This system has been widely implemented in large projects, such as YandexGo, inDrive, Uber, and others. However, these applications do not scale to all regions of the city; they are mainly aimed at large and central areas. Therefore, a mobile application for rural areas will enable residents of rural regions also to use such services and be closer to growth. Of course, when implementing such a system, it will be easier for residents to obtain the goods they need through the application, allowing them to order items that are not available in rural areas. Large projects do not study all points of the country so extensively, so every resident needs such an opportunity. Such opportunities enable residents to master digital technologies more effectively.

Research methodology

A quantitative approach was used in this study. This method was chosen to obtain a more comprehensive understanding of the state of IT infrastructure in rural areas and schools, identifying both objective data and subjective opinions from the study participants. A quantitative approach, in the form of a survey, also helps compensate for the shortcomings of each approach and expand the possibilities of analysis. Quantitative data were collected through a questionnaire survey of students, enabling the analysis of objective data for statistical purposes.

Quantitative sampling. Stratified sampling: A stratified approach will be used to ensure a representative sample of residents, teachers, and parents. Students will be classified by class, and parents will be categorized by educational level and socioeconomic status. Local residents will be classified by their lifestyle and occupation. This will enable you to obtain data from various categories and strata of the population.

For a study on the development of IT infrastructure in rural areas, the target audience will be the following groups. Teachers are key figures in the educational process, providing valuable insights into the quality of education and the availability of resources.

- Students are both high school and college students who can share their experiences and ideas about educational opportunities in rural areas.
- Parents of students are essential participants whose opinions on the quality of education and the availability of resources can be valuable for research.
- Local authorities, representing government and educational institutions, can provide information on the state of the IT infrastructure and educational initiatives in the region.
- Educational service providers are representatives of private educational centers and organizations that can share their experience and the results of their programs.
- Local residents – individuals who use and/or provide daily services, who can share their experiences and initiatives related to digitalization.

The study involved 20 rural schools in Kazakhstan, located in different regions of the country, which enabled the coverage of various geographical and economic conditions. The total number of participants was 200 people, comprising 50 teachers, 50 students, 25 representatives from the school administration, 25 representatives from local authorities, and 50 residents. Teachers and administrative staff represented different age and professional groups, which allowed us to get other opinions about the state of the IT infrastructure. The students were randomly selected from high school (aged 15-18), which allowed us to obtain more objective data on their digital literacy and technology experience. Questionnaires and semi-structured interviews were used to collect the data. The questionnaires for students included questions about access to IT resources, the frequency of computer and Internet use, and how the use of technology affects their learning. The questionnaire also included questions about digital literacy and cloud service skills. Interviews with teachers, local residents, and IT professionals included questions about the difficulties they face in implementing new technologies, as well as the level of support from school management and government agencies.

Surveys (questionnaires) Development of IT infrastructure in rural regions.

Questionnaire Design: We developed a structured questionnaire comprising both closed-ended and open-ended questions, covering topics such as internet access, quality of education, and satisfaction with educational resources. Questions to participants will also include their opinions on government initiatives in education.

Dissemination: We utilized online platforms (e.g., Google Forms) and distributed questionnaires at meetings with parents and in schools.

Data collection: We collected data from a sufficient number of participants (100 -200).

Data Analysis: We analyzed the results using statistical methods to identify trends and dependencies

A correlation analysis was conducted to investigate the relationship between the level of IT resource availability in rural areas, digital awareness in rural schools, and student academic performance. This method allowed us to determine whether there is a significant relationship between

the availability of IT tools, the number of computers, Internet access, and the efficiency and simplified lifestyle of local residents, as well as the educational results of students. Descriptive analysis was employed to examine the frequency of IT resource use, the level of digital literacy among local residents, students, and their experiences with IT technologies. This allowed us to identify general trends and average indicators that help us better understand the current state of IT infrastructure in rural regions. A thematic analysis was employed to process the qualitative data collected during the interviews. The main topics identified as a result of the study included aspects such as a lack of IT resources, low-quality Internet, a low level of teacher knowledge on the use of IT technologies, a general lack of technology, inadequate support from government agencies, and a lack of initiative from local authorities. By conducting a study using a quantitative method of analysis, it becomes more flexible. The advantages of quantitative data enable you to view the situation from different angles and gain insight into problems and hypotheses. In the context of studying infrastructure in rural areas, and more specifically in rural schools, where there are objectively significant problems such as a lack of resources, inadequate support, and a lack of initiative, this approach proved convenient. Thanks to this approach, we were able to identify both factual data and the actual causes of problems related to the implementation of IT technologies. Taking these factors into account, we present Table 1 below, which outlines the data collection process.

Table 1. Planning the data collection process

<i>Stage</i>	<i>Action</i>	<i>Data Collection place</i>	<i>Time</i>	<i>Data collection method</i>	<i>Ethical issues</i>
<i>Preparation</i>	<i>Questionnaire and interview design</i>	<i>Google Forms (online)</i>	<i>1 week</i>	<i>Online questionnaire</i>	<i>Informing participants about the study's purpose and confidentiality. Obtaining consent to participate.</i>
<i>Selection of participants</i>	<i>Identify target audience (teachers, parents, students)</i>	<i>Online (social media, educational institutions) Offline (Schools, Small villages)</i>	<i>1 week</i>	<i>Purposive sampling</i>	<i>Notification of the right to withdraw at any time.</i>
<i>Data collection</i>	<i>Conducting interviews</i>	<i>In person/online</i>	<i>2 weeks</i>	<i>In-person interview/video calls</i>	<i>Obtaining informed consent to record the interview. Promise of confidentiality.</i>
<i>Data collection</i>	<i>Distribution of the online questionnaire</i>	<i>Online (using a platform)</i>	<i>2 weeks</i>	<i>Online questionnaire</i>	<i>Informing participants about the purpose of the survey and the anonymity of responses.</i>
<i>Observation</i>	<i>Observation of learning in the classroom</i>	<i>Schools</i>	<i>1-2 weeks</i>	<i>Observation</i>	<i>Consent for participation from the school administration and parents. Ensuring anonymity.</i>
<i>Completion</i>	<i>Processing and analyzing the data collected</i>	<i>Online</i>	<i>1 week</i>	<i>Data analysis</i>	<i>Notification to participants of the study results (optional).</i>
<i>Total time: 2-2,5 months</i>					

As shown in Table 1, we will require 2-2.5 months to collect the research data. During these months, we will explore various aspects, including data collection, participant recruitment, analysis, and other related topics. To summarize, we can say that quantitative data collection helped us better understand the need to implement our project in rural areas.

Results of the study

The study's results are presented in a logical sequence. Tables and diagrams are used to visualize data on the state of IT infrastructure in rural educational institutions. These data help to answer the key research questions. To understand the key research questions, refer to Table 2.

Table 2. Availability of IT resources in rural schools

School	Number of Computers	Internet-connection (+/-)
1	10	+
2	8	-
3	15	+
4	7	-
5	12	+

As shown in Table 2, only three out of five schools have access to an Internet connection, confirming the problems with Internet connections in rural areas. The number of computers also varies, and most schools face a shortage of equipment. To understand the general level of IT resource use in rural regions, we used rural schools as a basis. The study's results demonstrate the level of development of IT infrastructure in rural schools. Table 3 provides information on the number of computers and the availability of Internet connections in each school. Based on these data, we can conclude that the problems with Internet access and the lack of equipment in educational institutions indicate a very low overall level of use.

Table 3. Utilization of cloud technologies in rural schools

School	Use of cloud technologies (+/-)	Level of digital literacy
1	+	High
2	-	Medium
3	+	High
4	-	Low
5	+	Medium

Data analysis from Table 3 shows that schools using cloud technologies have demonstrated a higher level of digital training among both students and teachers. This highlights the importance of introducing modern technologies to improve the quality of education [2,3].

Table 3 shows the relationship between the use of cloud technologies and the level of digital literacy in rural schools. Schools that use modern technology have a higher level of training for both students and teachers. The diagram in Figure 1 illustrates the percentage of cloud technology usage in these schools, highlighting the importance of adopting advanced technologies to improve the quality of education.

Correlation between the availability of IT resources and student performance. To analyze the impact of IT infrastructure on the educational process, a correlation analysis was conducted, which revealed that the availability of modern technologies contributes to improved academic performance among students. In schools with access to the Internet and modern IT resources, students showed higher grades in key subjects such as mathematics and science [4, 5].

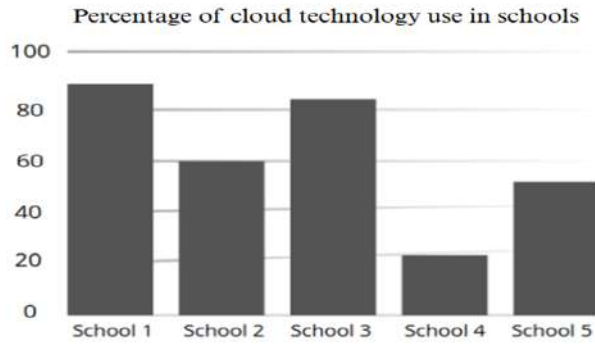


Figure 1. Percentage of cloud technology use in schools

Key results

- Many schools lack access to computers and the internet.
- Schools using cloud technologies have shown a higher level of digital literacy among students and teachers.
- There is a direct relationship between the level of IT infrastructure and student academic performance.

One of the solutions is an APP that has all the functions and supports teaching new IT technologies to people in rural areas [6]. This is an application that promotes essential tasks, including taxi services for drivers and passengers, delivery, an online market for local goods, a recruitment and search service, a Map, and a section on digital literacy studies. The development of a mobile application is one solution to improve digital literacy in rural areas. We illustrate this more clearly in Figure 2.

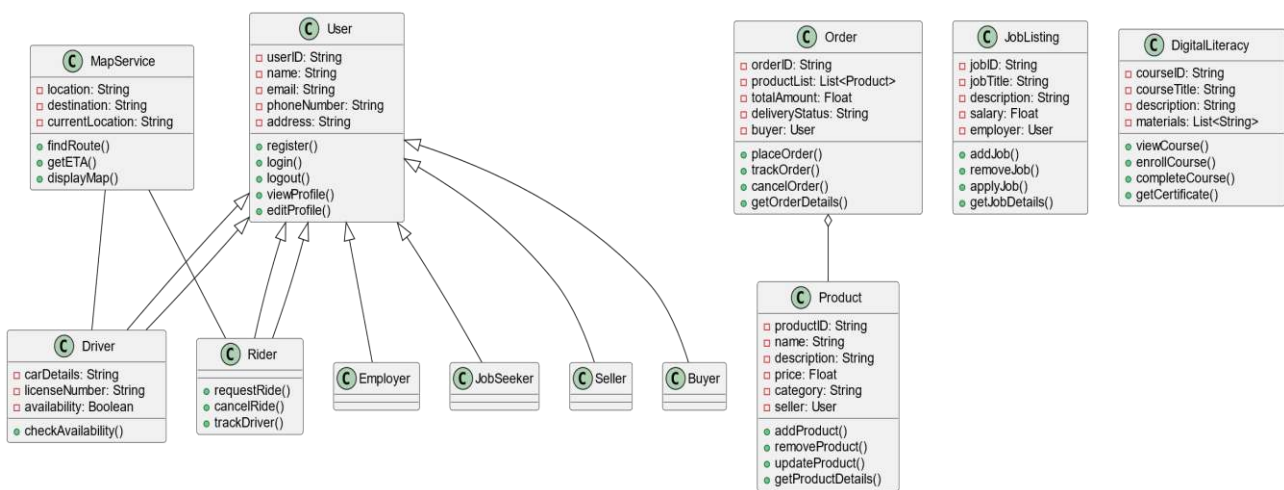


Figure 2. The UML diagram of the concept of the system for a mobile application

The UML diagram in Figure 2 illustrates the concept of a mobile application system that encompasses various functions, including taxi services, goods delivery, online marketplaces, maps, and digital skills training. This app can be a vital tool in supporting the local population.

We have illustrated the initial stage of interaction between the server and the user in the algorithm model. Each stage of the model is closely related to the subsequent one, ensuring consistent and accurate information processing. You can see an example in Figure 3. The algorithm consists of several consecutive steps, beginning with data input and culminating in the final result. The main components of the algorithm include the steps of data preprocessing, solution method selection, result evaluation, and optimization [7]. To clearly illustrate how our social project and volunteering system will function, we have created a UML diagram for the system concept. More can be seen in Figure 4.

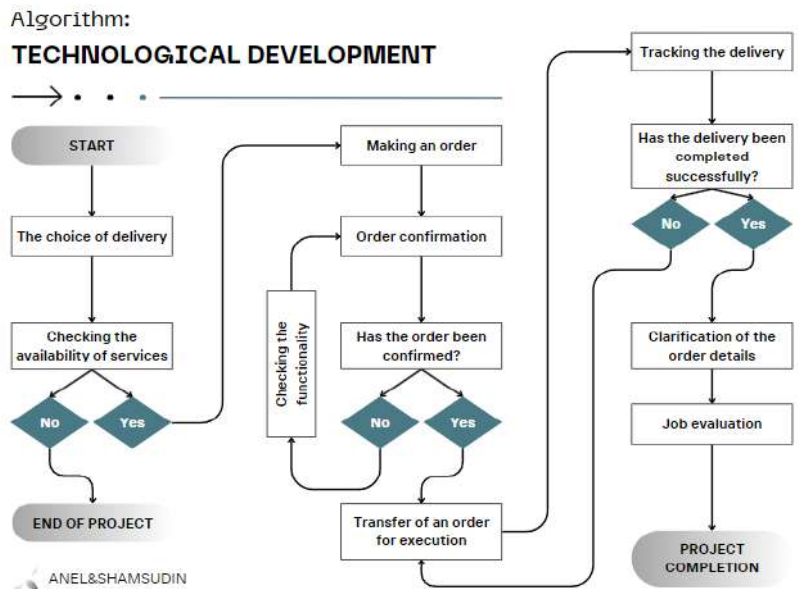


Figure 3. Model of an algorithm

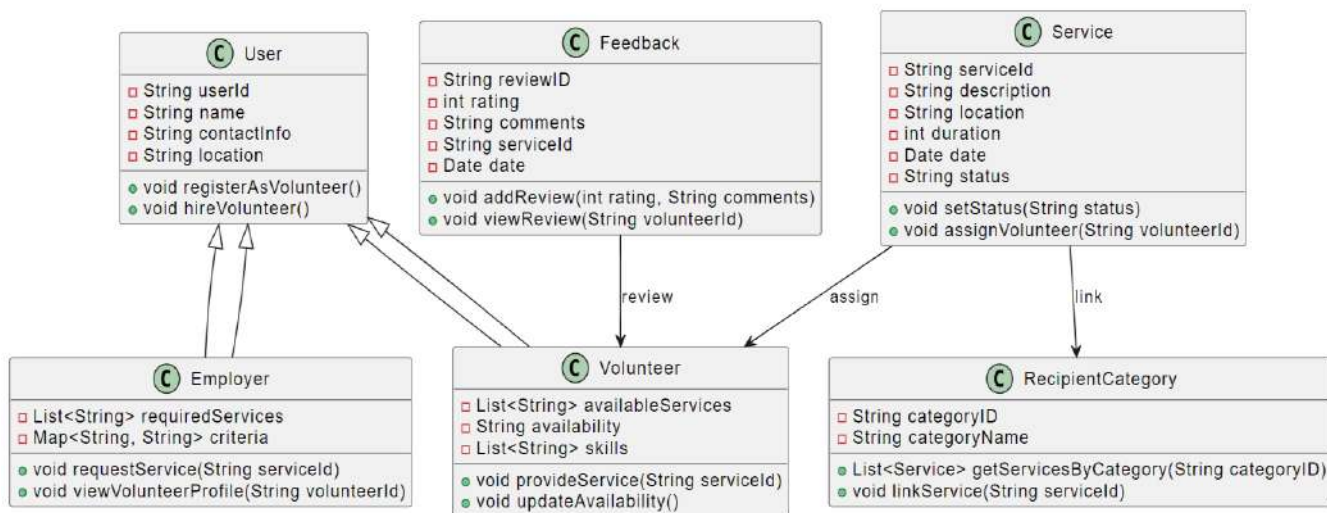


Figure 4. The UML diagram of the concept of the system of social projects and volunteering

One of the main sections in the application is "volunteering". Users of the application can become volunteers in various areas of life or connect with others to participate in specific activities, events, or public causes. We can see the structure in Figure 5. Section for hanging digital literacy and training in the use of IT technologies for all comers. The principle of operation is quite simple. In this section, users can choose the current level of their knowledge of technologies. Based on this, they can continue to gain knowledge and learn digital literacy. The structure and algorithm of work are illustrated in Figure 5. To make the Interface more quickly and readable for all ages, refer to the visual layout in Figure 6. These layouts illustrate the various screens, including the home screen, navigation menu, and user interaction interface. The layouts are carefully designed to provide intuitive navigation and usability. For example, buttons and input fields are arranged to enable the user to easily navigate between application functions.

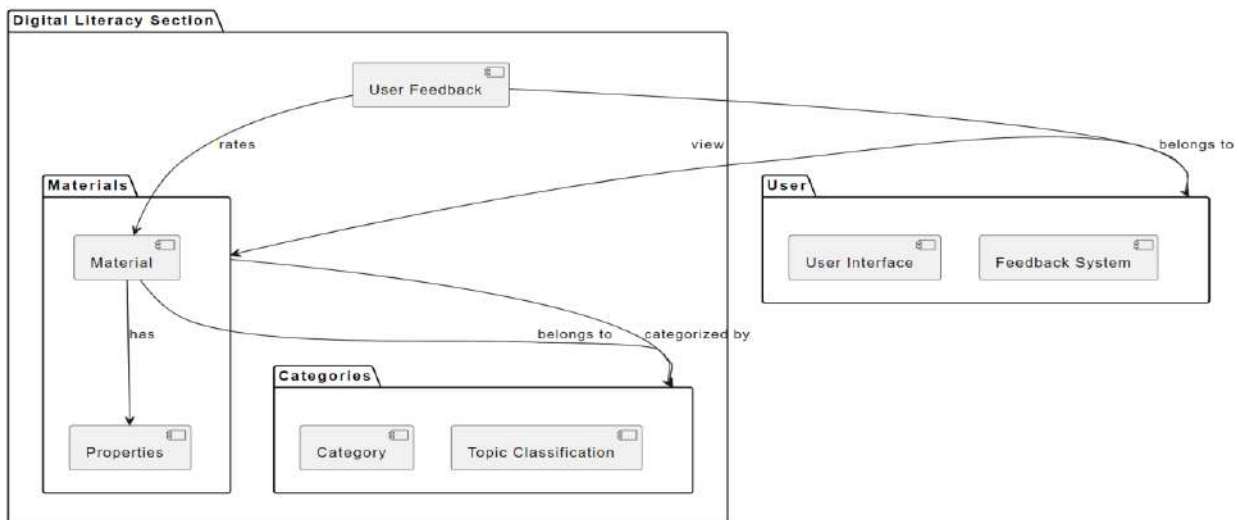


Figure 5. UML diagram of the concept of a video tutorial system for digital literacy

At each stage of the layout, it is possible to see how the system responds to the user and how the user interacts with the interface [8].

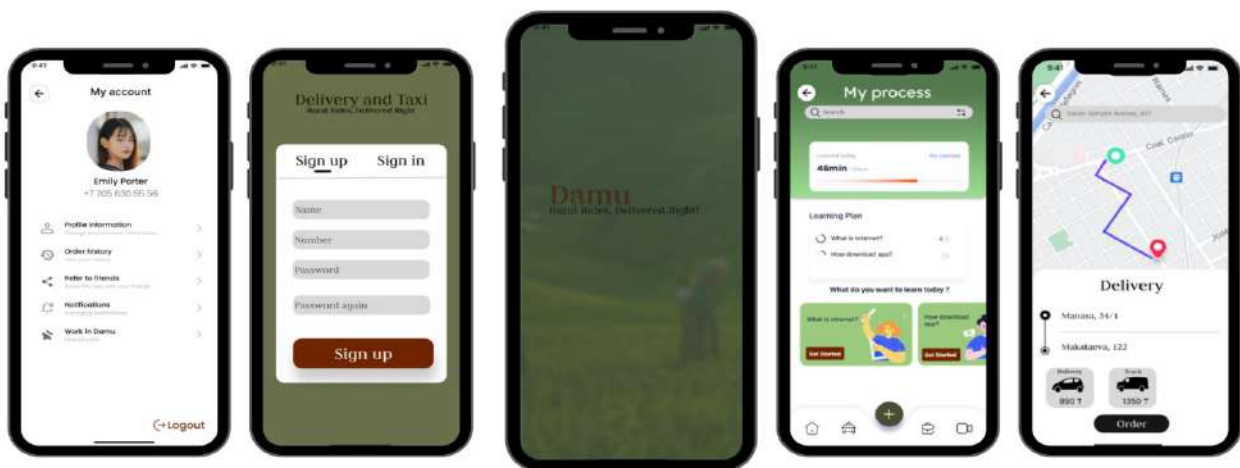


Figure 6. Mockup of the app

To implement this project, you can examine a piece of code that reflects processes such as processing user queries, interacting with the database, and performing calculations on the server side of the system. The code is designed with efficiency and ease of scalability in mind, allowing the application to be adapted to different workloads and usage scenarios. Important points include proper resource management, data security, and error handling, which ensure the application's stability. These are illustrated in Figure 7, which outlines the main elements of the code implementation.

The result of the algorithm's work is the receipt of visualized data that corresponds to the user's requests. As a result, the processed information is presented in a clear and easy-to-understand format, enabling users to analyze the obtained data and make informed decisions. This result demonstrates the effectiveness of the developed code and the accuracy of the algorithm. Based on careful analysis and hypotheses, this program is one of the most relevant and valuable solutions, since large corporations are not aimed at this market, this is an ideal opportunity for the state to increase the digital literacy of the people, as well as a good opportunity for businessmen to invest in a promising project, but most importantly, this application contributes and will increase the level of IT infrastructure in rural areas [9].

```
class Rider extends User {
    public Rider(String userID, String name, String email, String phoneNumber, String address) {
        super(userID, name, email, phoneNumber, address);
    }

    public void requestRide() { System.out.println(name + " заказывает такси."); }
}

class Driver extends User {
    String carDetails;

    public Driver(String userID, String name, String email, String phoneNumber, String address, String carDetails) {
        super(userID, name, email, phoneNumber, address);
        this.carDetails = carDetails;
    }

    public void updateLocation() { System.out.println(name + " обновил местоположение."); }
}
```

Figure 7. Code implementation

The research results confirm the initial hypothesis about the uneven distribution of IT resources among rural schools of Kazakhstan. As Table 2 shows, many schools lack computers and stable Internet access, which directly affects the quality of education. Internet access has a direct impact on the quality of education. This finding is consistent with the results of other studies, which indicate a significant lag behind rural schools in terms of IT infrastructure development compared to urban schools [10]. Additionally, the study's results showed that schools with higher levels of digital literacy tend to be more active in utilizing cloud technologies. This highlights the importance of integrating modern technologies into the educational process to enhance learning effectiveness, as noted in the works of UNESCO and other international organizations [11]. An unexpected result was the identification of a very low level of IT infrastructure development in one of the schools, despite its proximity to a large population center. The expectation is that schools closer to urban centers should have more developed infrastructure. However, this study has shown that even in such cases, there may be problems in providing the necessary resources. Possible reasons could include a lack of funding, inefficient resource allocation, or a lack of skilled professionals to manage the IT infrastructure. This aligns with previous studies that highlight the need for improved management and planning in the education system. In conclusion, we would like to note that the mixed-method approach helped us analyze the data more effectively. By combining quantitative and qualitative methods, we have obtained a more comprehensive and nuanced result.

Discussion

The study revealed differences in the IT infrastructure of rural schools, as only a few of them have access to the Internet and the corresponding computers. Schools that utilize cloud technologies demonstrate higher digital literacy among both teachers and students. There is also a clear link between improving IT infrastructure and student academic performance. The findings of this study are consistent with those of international studies, which also emphasize the existence of inequalities in IT resource allocation between rural and urban schools [12]. For example, studies conducted in rural schools in China and South Korea have also shown that schools located in remote areas face significant difficulties in accessing the Internet and modern technologies, which negatively impact the educational process. This study has several limitations. Firstly, it covers a limited number of schools (20 educational institutions), which may not provide a comprehensive picture of the state of IT infrastructure in rural schools in Kazakhstan. Additionally, data collection was hindered by the remoteness of some regions, which limited the ability to collect information from the most remote areas. These limitations should be considered when interpreting the results. It is also worth noting that qualitative data obtained during interviews may contain subjective opinions of participants, which require additional verification and analysis in the future [13]. For a more in-depth study of the problem, it is recommended to conduct research with a broader geographical coverage, including

schools from different regions of Kazakhstan, and to increase the sample size to 50-100 schools for a more accurate analysis. It is also essential to cover schools from the most remote and hard-to-reach areas to understand how geographical location affects access to IT resources. It is also recommended that attention be paid to examining the long-term impact of cloud technology and its use on student achievement, as well as teacher professional development. Including a more detailed analysis of economic factors and teacher training in the use of IT can help develop strategies for more successful digital inclusion in rural schools.

Conclusion

The study revealed that rural schools in Kazakhstan face numerous challenges in integrating modern information technologies into their educational processes. The main problems identified include an insufficient number of computers, outdated equipment, and limited access to high-speed Internet. Only 28% of rural schools have access to online educational resources, which puts them at a disadvantage compared to urban schools. The results confirm the hypothesis that there is a significant disparity in the distribution of IT resources between rural and urban schools, a key issue in Kazakhstan's education sector. In the context of Kazakhstan's digital initiatives, the importance and impact of accelerating the introduction of digital technologies have highlighted the need for significant reforms in the field of computer infrastructure in rural areas. The problem identified in the study is that, in the absence of proper investments or a strategic plan, the gap between urban and rural schools will continue to widen. This, in turn, may exacerbate the existing social inequality in the country. Applying the study's results in practice can help develop specific measures to bridge the digital divide, enhance students' digital literacy, and improve their readiness for further education and employment. This study makes a significant contribution to the scientific debate about the digital education gap. It complements existing theoretical research by providing empirical data that can inform the development of new government strategies and programs. The practical value of this research lies in the fact that government agencies can use it to inform decisions on the allocation of funding and the modernization of IT infrastructure in rural schools, a key step in achieving educational equality. Recommendations for future research: Expansion of geographical coverage: Future studies should cover more regions of Kazakhstan to identify regional differences in access to IT and educational resources. This will help to understand better the current state of IT infrastructure in rural schools. Study of teacher training: Special attention should be paid to studying the training of rural school teachers in the use of digital technologies. It is essential to evaluate the existing training programs and identify areas for improvement to optimize the utilization of IT resources. Research on the impact on students: Future research could aim to analyze the effect of access to modern technology on student achievement. This will help better understand the long-term impact of the digital divide and develop interventions to address it. Focus on teacher training: It is worthwhile to examine the extent to which teachers in rural schools are prepared to use digital technologies. The study should evaluate existing training programs and identify opportunities for improvement to optimize the utilization of IT resources. Research on the impact on students: Future research could focus on the effects of access to modern technology on student achievement in rural schools. This would enable a more accurate assessment of the long-term impacts of the digital divide.

Recommendations for Practical Implementation: Investments in Internet Infrastructure. Additional investments in high-speed Internet are necessary to enhance the quality of education in rural schools. This will allow more schools to connect to online resources and improve access to modern educational technology. Grant programs for schools: States should establish grant programs to upgrade IT infrastructure in rural schools, helping to bridge the technology gap between urban and rural schools.

Expand teacher training programs: It is essential to enhance teacher access to educational programs on the effective use of digital technologies. This will lead to better utilization of IT resources and improve student learning through increased digital literacy. Creating grant programs: States could establish grant programs to assist local schools in upgrading their IT infrastructure and purchasing necessary equipment. Expand teacher training programs: It is essential to increase access to

educational programs that train teachers in the effective use of digital technology. This not only promotes more efficient use of IT resources but also more effective student learning.

Ultimately, the study identified the existing problems faced by rural schools in Kazakhstan when implementing IT technologies and offered practical recommendations for their solution. Overcoming digital inequality will contribute not only to improving the educational process but also to promoting long-term social justice. Upgrading the IT infrastructure of rural schools should be a priority for Kazakhstan if it wants to achieve equal access to quality education for all students, regardless of their geographical location.

References

- [1] A. Kurmangaliev, "ISSUES OF ICT INTEGRATION IN RURAL SECONDARY SCHOOLS OF KAZAKHSTAN," *Scientific Journal of Astana IT University*, pp. 84-93, 2021, doi: [10.37943/AITU.2021.45.41.008](https://doi.org/10.37943/AITU.2021.45.41.008)
- [2] C. Shou, X. He, R.Wu and G.Zhang, "Using Food Delivery Data to Identify Urban -Rural Areas: A Case Study of Guangzhou, China," in *Environmental Informatics and Remote Sensings*, vol. 10, March 2022, doi: <https://doi.org/10.3389/feart.2022.860361>
- [3] D.Divall, T. Kureya, T.Bishop, C.Barber, C.Green and S.Clark, "The potential role of mobile phone technology in rural motorcycle and three-wheeler taxi services in Africa," *Transportation Planning and Technology*, vol. 44, pp. 30-44, Dec. 2020, doi: <https://doi.org/10.1080/03081060.2020.1851446>
- [4] P.T. Simelane, M. Lall and O.P. Kogeda, "A mobile phone application for agricultural extension in marginalised rural areas of Pongola region, Zululand district, South Africa," *Department of Computer Science, Tshwane University of Technology*, vol. 47, no. 1, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.17159/2413-3221/2019/v47n1a495>
- [5] S. Kuek, "Mobile Applications for Agriculture and Rural Development," *Research Papers in Economics*, 2024. Available: https://www.academia.edu/116877807/Mobile_Applications_for_Agriculture_and_Rural_Development
- [6] Aitim, A. (2024). Developing methods for automatic processing systems of Kazakh language. *KazATC Bulletin*, 133(4), pp. 254–265. <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-133-4-254-265>
- [7] M.C. Reddy, M.Kelly and S.Purao, "Developing IT Infrastructure for Rural Hospitals: A Case Study of Benefits and Challenges of Hospital-to-Hospital Partnership," *Journal of the American Medicinal Informatics Associations*, vol. 15, pp. 554-558, July 2018, doi: <https://doi.org/10.1197/jamia.M2676>
- [8] T.S. Parikh and E.D. Lazowska, "Designing an architecture for delivering mobile information services to the rural developing world," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Human-Computer Interaction in Aerospace (HCI-Aero)*, vol. 06, pp. 791-800, May 2019, doi: <https://doi.org/10.1145/1135777.1135897>
- [9] L.Barreto, A.Amaral, and S.Baltazar, "Mobility as a Service (MaaS) in rural regions: An overview," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 68, no. 6, pp. 1760-1776, June 2019, doi: [10.1109/IS.2018.8710455](https://doi.org/10.1109/IS.2018.8710455)
- [10] A. Amirova, K. Nurumov, R. Kasa, A.Akhmetzhanova and A.Kuzekova, "The impact of the digital divide on synchronous online teaching in Kazakhstan during COVID-19 school closures," *Educational Digital Transformation: New technological Challenges for Competence Development*, vol. 7, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.1083651>
- [11] Aitim, A. and Satybaldiyeva, R. 2024. A systematic review of existing tools to automated processing systems for Kazakh language. *Bulletin of Abai KazNPU. Series of Physical and mathematical sciences*. 87, 3 (Sep. 2024), 106–122. DOI:<https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.87.3.009>.
- [12] J.A.O. Umeze and P.M. Nnamchi, "Mobil Applications for Agriculture and Rural Development," *Journal of Rural Development*, vol. 40, pp. 1-16, Jan. 2021. Available: https://www.researchgate.net/publication/268420568_Mobil_Applications_for_Agriculture_and_Rural_Development
- [13] Aitim A.K., Satybaldiyeva R.Zh., Wojcik W. The construction of the Kazakh language thesauri in automatic word processing system. *Proceedings of the 6th International Conference on Engineering & MIS*, 2020, pp.1-4.

Ж.А. Бурибаев¹, З.Б. Абдиразак^{1*}, А. Еркос¹, М.С. Жасузақ¹, П.Т. Омарова¹

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
**e-mail: abdirazakzemfira@gmail.com*

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В РЕГИОНАХ ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА

Аннотация

Исследование посвящено разработке геоинформационного портала для комплексного анализа экологической, экономической и социальной ситуации в Западном Казахстане. Целью работы было создание инструмента, позволяющего оценить влияние климатических изменений на состояние водных ресурсов и биоразнообразия региона. В качестве исходных данных использовались метеорологические данные, данные о почвах и социально-экономические показатели. Разработанный портал позволяет проводить пространственный и временной анализ данных, визуализировать результаты в виде карт, графиков и диаграмм. Система основана на технологиях Python/Django, PostgreSQL и OpenStreetMap. Портал предоставляет возможность оценивать динамику изменения растительного покрова, анализировать взаимосвязь между климатическими факторами и состоянием экосистем. Разработанный инструмент может быть использован для принятия обоснованных решений в области природопользования и охраны окружающей среды в Западном Казахстане.

Ключевые слова: ГИС, веб-приложение, инфографика, база данных, геопространственные данные, ПО.

Ж.А. Бурибаев¹, З.Б. Абдиразак¹, А. Еркос¹, М.С. Жасузақ¹, П.Т. Омарова¹
¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

БАТЫС КАЗАҚСТАН ӨНІРЛЕРІНДЕГІ ГЕОКЕҢІСТІКТІК ДЕРЕКТЕРДІ ТАЛДАУ ЖӘНЕ ВИЗУАЛИЗАЦИЯЛАУ ҮШІН ГЕОАҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕ

Аңдатпа

Зерттеу Батыс Қазақстандағы экологиялық, экономикалық және әлеуметтік жағдайды кешенді талдау үшін геоақпараттық портал әзірлеуге арналған. Жұмыстың мақсаты климаттық өзгерістердің су ресурстарының жай-күйіне және аймақтың биоәртүрлілігіне әсерін бағалауға мүмкіндік беретін құрал жасау болды. Бастапқы деректер ретінде метеорологиялық деректер, топырақ деректері және әлеуметтік-экономикалық көрсеткіштер пайдаланылды. Әзірленген портал деректерді кеңістіктік және уақыттық талдауға, нәтижелерді карталар, графиктер және диаграммалар түрінде визуализациялауға мүмкіндік береді. Жүйе Python/Django, PostgreSQL және OpenStreetMap технологияларына негізделген. Портал өсімдік жамылғысының өзгеру динамикасын бағалауға, климаттық факторлар мен экожүйелердің жай-күйі арасындағы байланысты талдауға мүмкіндік береді. Әзірленген құрал Батыс Қазақстанда табиғатты пайдалану және қоршаған ортаны қорғау саласында негізделген шешімдер қабылдау үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: ГАЖ, веб-қосымша, инфографика, деректер қоры, геокеңістіктік деректер, БҚ.

Z. Buribaev¹, Z. Abdirazak¹, A. Yerkos¹, M. Zhassuzak¹, P. Omarova¹

¹ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

GEOINFORMATION SYSTEM FOR THE ANALYSIS AND VISUALIZATION OF GEOSPATIAL DATA IN THE REGIONS OF WESTERN KAZAKHSTAN

Abstract

The research is devoted to the development of a geoinformation portal for a comprehensive analysis of the environmental, economic and social situation in Western Kazakhstan. The aim of the work was to create a tool to assess the impact of climate change on the state of water resources and biodiversity in the region. Meteorological data, soil data and socio-economic indicators were used as input data. The developed portal

allows for spatial and temporal data analysis, visualization of results in the form of maps, graphs and diagrams. The system is based on Python/Django, PostgreSQL and OpenStreetMap technologies. The portal provides an opportunity to assess the dynamics of vegetation cover changes, analyze the relationship between climatic factors and the state of ecosystems. The developed tool can be used to make informed decisions in the field of environmental management and environmental protection in Western Kazakhstan.

Keywords: GIS, web application, infographics, database, geospatial data, software.

Основные положения

Основные положения исследования заключаются в разработке геоинформационного портала для комплексного анализа экологической, экономической и социальной ситуации в Западном Казахстане. Главная цель проекта – создание инструмента, позволяющего оценить влияние климатических изменений на состояние водных ресурсов и биоразнообразия региона. Авторы успешно реализовали систему, обеспечивающую пространственный и временной анализ данных, визуализацию результатов в виде карт, графиков и диаграмм на основе Python/Django, PostgreSQL и OpenStreetMap. Полученные результаты демонстрируют эффективность подхода и возможность использования разработанного портала для принятия решений в области природопользования и охраны окружающей среды. Перспективными направлениями работы обозначено дальнейшее расширение функционала и интеграция системы с другими информационными сервисами.

Введение

В Казахстане наблюдаются значительные географические изменения, такие как исчезновение рек и озер, ухудшение состояния почвы и изменение доступности полезных ископаемых [1]. Эти трансформации оказывают серьезное воздействие на экологическую обстановку и экономику региона. Важным аспектом является также демографическая ситуация, которая влияет на распределение природных ресурсов и социально-экономическое развитие [2]. Для эффективного анализа данных по этим вопросам осуществляется масштабный сбор информации и привлечение человеческих ресурсов, что позволяет принимать обоснованные решения по актуальным проблемам.

Разработка геоинформационного портала для анализа Западно-Казахстанских регионов в таких областях, как экология, экономика и социальная сфера, представляет собой инновационный подход. В условиях растущего объема информации автоматизация анализа геопространственных данных становится необходимой. Традиционные методы требуют значительных затрат времени и ресурсов, что может замедлять процесс принятия решений и снижать точность результатов. Автоматизированные системы способны ускорить обработку данных, минимизировать ошибки и предоставить более точные аналитические выводы. Это особенно актуально для регионов с постоянными географическими изменениями, таких как Западный Казахстан. Согласно данным Бюро национальной статистики Республики Казахстан, в 2023 году объем общих затрат на охрану окружающей среды составил 610 285,2 миллиона тенге [3]. Наш проект направлен на оптимизацию использования этих средств через тщательный анализ данных, что поможет не только сократить расходы, но и повысить эффективность мероприятий по охране окружающей среды.

В ходе исследования были проанализированы ключевые научные статьи о современных технологиях Web GIS. Работа [4] представляет собой глубокий анализ технологий Web GIS и их применения. Авторы рассматривают эволюцию Web GIS от простых картографических приложений до сложных распределенных систем, подчеркивая влияние Интернета на сбор, хранение и анализ геопространственных данных. Другие исследования [5] [6] подчеркивают возможности использования открытого программного обеспечения для создания веб-приложений для распространения геопространственных данных. Эти работы служат основой для разработки системы Web GIS, которая будет учитывать передовые достижения в этой области и предлагать новые решения для практического применения. На современном рынке

существует множество инструментов для работы с геопространственными данными, доступных в веб-среде. В последние годы в научных кругах активно обсуждается переход от традиционных автономных ГИС к веб-ориентированным системам, поддерживаемым облачными технологиями. Эти системы значительно расширяют доступ к пространственной информации, предоставляя ее различным категориям пользователей через веб-приложения. Семантические технологии, такие как RDF, SPARQL и онтологии, играют ключевую роль в улучшении интероперабельности пространственных данных, что критически важно для веб-ГИС. Они позволяют интегрировать и извлекать пространственные данные из множества различных источников, способствуя их взаимодействию с другими типами данных [7]. Вместе с тем, одной из главных задач остается упрощение интерфейсов для пользователей, не обладающих специальными знаниями. Для решения этой проблемы предлагаются различные open-source платформы, такие как GeoServer, которые обеспечивают гибкий и интероперабельный инструмент для работы с геопространственными данными. Эти платформы позволяют пользователям не только просматривать данные на карте, но и проводить пространственный анализ, что особенно важно для исследования и управления ресурсами. Применение открытого исходного кода, как показывают исследования, значительно сокращает затраты на разработку и делает технологии более доступными для развивающихся стран. Основной целью данного исследования [8] является разработка платформы веб-ГИС для управления водными ресурсами, которая позволит эффективно обмениваться, распространять и управлять пространственными данными через интернет. Это особенно актуально для решения задач по управлению водными ресурсами в засушливых и полузасушливых регионах, где доступ к воде является ограниченным. В ходе исследования было показано, что веб-ГИС на основе открытого исходного кода может стать полезным инструментом для управления водными ресурсами в развивающихся странах. Однако, несмотря на положительные результаты, отмечается необходимость дальнейших исследований для совершенствования платформы и устранения выявленных в процессе тестирования ограничений. В 2024 году гибкая методология разработки (Agile) [9] стала одной из наиболее часто используемых стратегий в IT-проектах, особенно для создания сложных информационных систем, таких как системы поддержки принятия решений (DSS) и геоинформационные системы (GIS). Это связано с тем, что Agile позволяет эффективно управлять проектами с высокой степенью неопределённости и меняющимися требованиями. Основное преимущество Agile заключается в его итерационном подходе: разработка продукта осуществляется поэтапно, с регулярными циклами тестирования и обратной связи, что помогает выявлять и исправлять ошибки на ранних стадиях. Это сокращает риски, повышает качество конечного продукта и даёт возможность адаптироваться к изменениям без значительных временных затрат. Среди других преимуществ Agile — улучшение взаимодействия между членами команды и заинтересованными сторонами. Постоянная обратная связь от пользователей и стейкхолдеров позволяет лучше понять их потребности и внедрять необходимые изменения в систему. Этот подход также позволяет быстрее выводить на рынок минимально жизнеспособный продукт (MVP), что особенно важно в условиях высокой конкуренции и быстро меняющихся технологий. Однако, несмотря на свои преимущества, у Agile есть и недостатки. Основной минус — это сложность применения в масштабных проектах, особенно в тех, где задействовано большое количество команд. В таких случаях координация работы между разными группами может быть затруднена, а отсутствие чёткой дорожной карты может привести к неопределённости и сбоям в сроках. Частые изменения могут увеличить нагрузку на команду и привести к увеличению затрат, если требования меняются слишком часто. Кроме того, успешное внедрение Agile требует высокого уровня дисциплины и самоорганизации внутри команды, что не всегда достижимо, особенно в традиционных и иерархических организациях. Есть еще такие исследования, как OSIRI, MABIA-Exploitation и WaterSmartGIS, которые используют ГИС (геоинформационные системы) для управления орошением в сельском хозяйстве. Эти платформы применяют

спутниковые данные и сенсоры для оптимизации водных ресурсов и повышения урожайности. Однако платформа Soqia-Advice [10] выделяется среди них благодаря своей простоте и доступности, особенно для фермеров с ограниченными техническими навыками. Soqia-Advice использует ГИС для интеграции пространственных данных с погодными прогнозами через API и информации с IoT-сенсоров, что позволяет предоставлять точные рекомендации по управлению водными ресурсами. Платформа направлена на создание комплексной системы поддержки принятия решений, ориентированной на фермеров, агрономов и лиц, принимающих решения. Используя мощные инструменты ГИС, платформа позволяет пользователям просматривать и управлять информацией о земельных участках, интегрируя различные слои данных, такие как геолокация, климатические условия и типы почв., что может быть проблемой для фермеров, не имеющих доступа к таким технологиям. Методы, использованные в платформе Soqia-Advice, включают несколько ключевых этапов разработки: анализ потребностей пользователей, проектирование архитектуры платформы, моделирование базы данных на основе ГИС, а также внедрение функционала для управления земельными участками и предоставления рекомендаций по орошению. Основной технологией выступает ГИС, которая позволяет эффективно обрабатывать пространственные данные и интегрировать их с другими источниками информации. Для прогнозов погоды используется API Weatherbit, а для мониторинга почвенных параметров – IoT-сенсоры

Особое внимание в данном исследовании уделяется вопросам безопасности и конфиденциальности данных. Для достижения этих целей был выбран иной подход, предполагающий отказ от использования open source программного обеспечения и облачных хранилищ. Этот выбор обусловлен необходимостью обеспечения контроля над доступом к данным и минимизацией рисков, связанных с их утечкой. Индивидуально разработанное ПО, разработанное специально для нужд проекта, обладает рядом преимуществ по сравнению с готовыми решениями на основе открытого исходного кода. Во-первых, такая разработка предоставляет высокую степень гибкости: можно создавать уникальные функции и модули, которые наиболее точно соответствуют требованиям конкретного проекта. Индивидуально разработанное ПО также позволяет более детально настроить пользовательский интерфейс, сделав его удобным и интуитивно понятным для пользователей с разным уровнем подготовки. Во-вторых, при создании собственного программного обеспечения все права на разработку принадлежат исключительно компании или исследовательской группе, что обеспечивает полный контроль над лицензированием и использованием кода. Это снижает зависимость от сторонних поставщиков, защищает интеллектуальную собственность, а также предоставляет возможность масштабировать или модифицировать ПО по мере необходимости без ограничений, которые могут накладываться лицензиями на open source программное обеспечение. Таким образом, индивидуально разработанное ПО не только улучшает безопасность и конфиденциальность данных, но и позволяет обеспечить гибкость решений и защиту авторских прав, что особенно важно при разработке долгосрочных и критически важных проектов.

Методология исследования

В рамках исследования в области геоинформационных систем (ГИС), проведенного на базе Казахского национального университета имени аль-Фараби, была выполнена разработка веб-портала по анализу географических данных Западного Казахстана. В процессе разработки геоинформационного веб-портала, ориентированного на обработку и визуализацию разнородных пространственных данных, ключевыми факторами выбора технологического стека и методов обработки информации стали эффективность, масштабируемость и надежность системы. Для обеспечения устойчивого хранения и анализа пространственных данных была выбрана система управления базами данных PostgreSQL с расширением PostGIS, которое поддерживает форматы GeoJSON и Shapefile. Данный выбор обусловлен высокой производительностью PostgreSQL при выполнении сложных пространственных запросов,

возможностью эффективного индексирования географических данных и интеграции с другими инструментами геоинформационного анализа. Использование Django в качестве веб-фреймворка обусловлено его развитой экосистемой и поддержкой расширения GeoDjango, предоставляющего широкий спектр инструментов для работы с географическими данными. В сравнении с альтернативными решениями, такими как Flask или FastAPI, Django обладает встроенной ORM, упрощающей взаимодействие с базой данных, а также встроенными средствами аутентификации, администрирования и масштабируемости. GeoDjango, в свою очередь, значительно упрощает обработку географических данных, предоставляя удобные методы работы с пространственными объектами и интеграцию с PostGIS. В качестве картографической основы выбран OpenStreetMap (OSM) – открытая и доступная платформа, предоставляющая подробные географические данные, которые могут быть адаптированы под исследовательские задачи. В отличие от коммерческих решений, таких как Google Maps или ESRI ArcGIS, OSM обладает преимуществами в виде свободного использования, возможности локального хостинга и широкой поддержки в научном сообществе. Таким образом, выбор методов исследования базируется на применении современных технологий, обладающих высокой производительностью, широкими возможностями масштабируемости и совместимости с инструментами пространственного анализа. Комплексный подход к обработке географических данных в рамках разработанного веб-портала обеспечивает надежность и эффективность решения, что соответствует целям и задачам проводимого исследования. Для разработки геоинформационной системы (ГИС) была проведена структуризация данных, охватывающих экологические, экономические и социально-демографические аспекты. Все эти категории данных взаимосвязаны с общим фактором – окружающей средой (Рис. 1).



Рисунок 1. Географические составляющие

В ходе исследования, основанного на выбранной методологии, была создана комплексная база данных (Рис. 2), содержащая обширную информацию об окружающей среде, биоразнообразии, демографических показателях и экономическом развитии различных регионов. Эта база данных представляет собой мощный инструмент для анализа и управления природными и социально-экономическими процессами, предоставляя структурированные и взаимосвязанные данные, позволяющие проводить всесторонний мониторинг и прогнозирование экологических и социально-экономических тенденций. База данных включает несколько ключевых элементов, среди которых данные о биоразнообразии. Информация о видах растений и животных аккумулирована в таблицах, где указаны таксономические характеристики (семейство, род, вид), географические координаты (широта и долгота), административные данные (область, район, код КАТО), а также статус, численность и степень угрозы для каждого вида. Например, для растений фиксируются такие важные параметры, как семейство, род, вид, ОПП (определённая процентная популяция), статус охраны, а также информация о коллекторах, которые собирали образцы, и годы, когда

проводились сборы данных. Это позволяет анализировать как биоразнообразие, так и его изменение во времени.

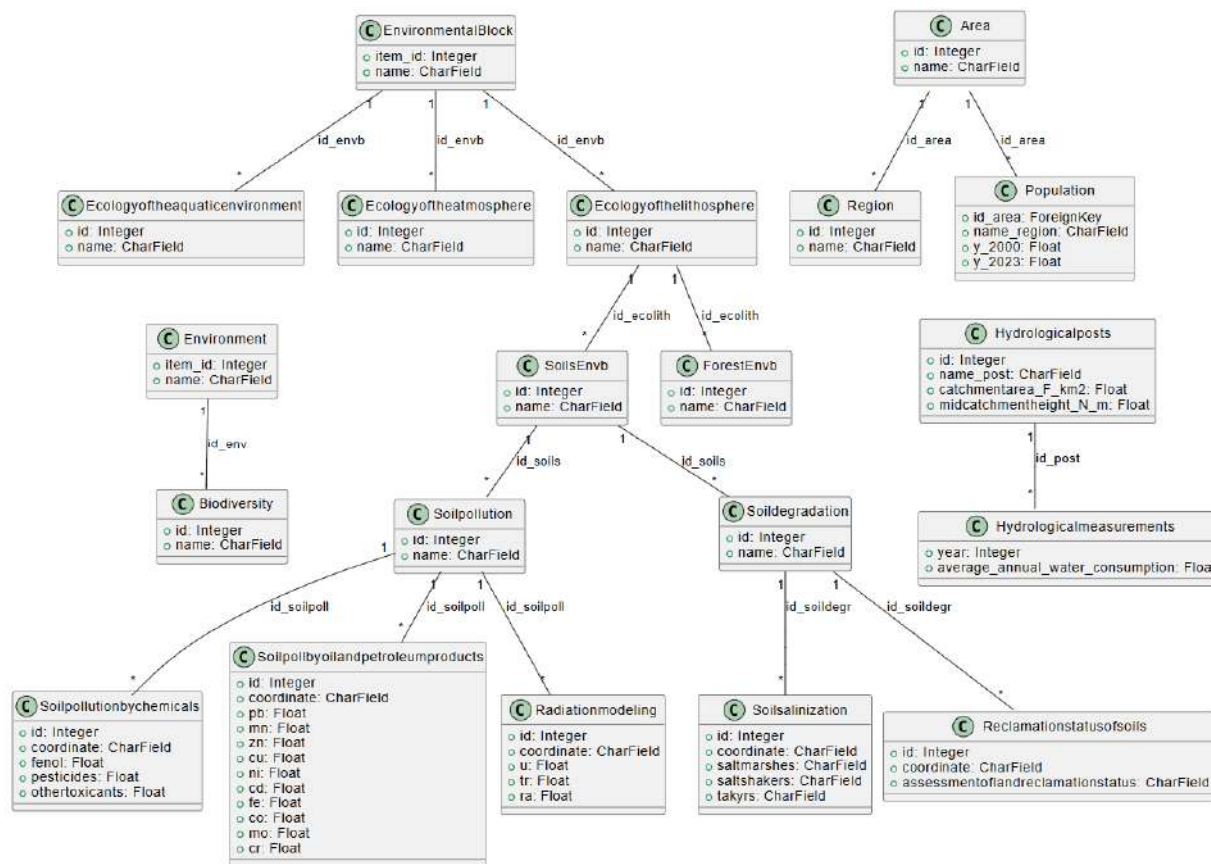


Рисунок 2. ER диаграмма веб-сайта

Важной составляющей базы данных является информация о состоянии окружающей среды, включая почвы, воду и атмосферу. Здесь собраны данные о различных видах загрязнений почв, таких как загрязнение химическими веществами, нефтепродуктами, тяжёлыми металлами и радионуклидами. Каждая запись сопровождается географическими координатами местоположений загрязнения, что позволяет визуализировать и анализировать экологические угрозы на карте региона. Например, для каждого участка почвы фиксируются данные о содержании пестицидов, фенолов и других токсичных веществ, что даёт возможность оценить экологическое состояние и разработать рекомендации по восстановлению или защите почв. Гидрологические данные, которые также входят в базу, включают информацию о водных ресурсах, гидрологических постах и измерениях водного расхода по месяцам и годам. Эти данные необходимы для анализа использования водных ресурсов и выявления долгосрочных тенденций в изменении водоёмов. Например, таблицы содержат данные о средней годовой водопотребляемости и характеристиках водосборных бассейнов, что даёт возможность не только мониторить состояние водных ресурсов, но и прогнозировать их изменение под воздействием климатических факторов и хозяйственной деятельности. Демографическая составляющая базы данных охватывает показатели численности населения, рождаемости, смертности, миграционных потоков и естественного прироста. Эти данные представлены в разрезе по годам и регионам, что позволяет отслеживать демографические изменения на протяжении длительных периодов. Доступность данных по годам обеспечивает возможность глубокого анализа демографических процессов и разработки прогнозов. Миграционные балансы, естественный прирост населения, уровень рождаемости и смертности являются важными индикаторами социального развития регионов и позволяют

выявить как положительные, так и негативные тенденции, влияющие на устойчивое развитие территорий. Экономическая составляющая базы данных включает данные о валовом региональном продукте, уровне экономической активности и других показателях, отражающих экономическое развитие региона. Эти данные представлены как по годам, так и по показателям, что позволяет проводить сравнение и выявлять тренды в экономике регионов. Например, фиксируются показатели роста экономики, такие как ВРП (валовой региональный продукт), что помогает понять динамику экономического развития и определить ключевые факторы, влияющие на рост или спад экономической активности в отдельных регионах. Благодаря интеграции всех этих элементов, база данных предоставляет уникальные возможности для комплексного анализа состояния региона. Она позволяет проводить пространственный и временной анализ данных, выявлять связи между состоянием окружающей среды, биоразнообразием, демографией и экономическим развитием. Это открывает путь к более точному и обоснованному планированию природоохранных мероприятий, социально-экономических стратегий и программ устойчивого развития. Визуализация данных и использование различных аналитических инструментов позволяют не только оценивать текущее состояние регионов, но и прогнозировать изменения в будущем, что особенно важно в условиях глобальных экологических и социальных изменений.

Созданный веб-портал ГИС представляет собой комплексное решение для работы с разнообразными типами данных (Рис. 3). Для каждого типа информации был разработан специфический подход к загрузке и визуализации. Геопространственные данные в форматах GeoJSON и Shapefile хранятся и обрабатываются с использованием PostgreSQL, что обеспечивает эффективное выполнение пространственных запросов. Статические данные интегрированы в реляционную базу данных PostgreSQL с помощью Django ORM. Применение CRUD-операций в сочетании с Django ORM позволяет гибко управлять данными и осуществлять основные операции создания, чтения, обновления и удаления записей.

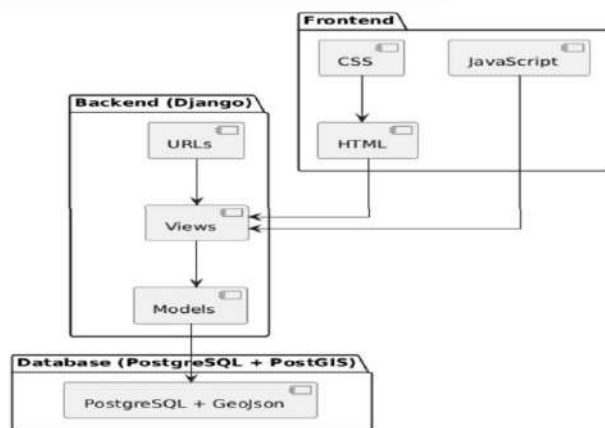


Рисунок 3. UML диаграмма веб-сайта

Для создания системы был выбран технологический стек Python/Django, а в качестве источника картографических данных использовался открытый сервис OpenStreetMap. Интеграция данных из shapfile в PostgreSQL позволила реализовать углубленный анализ пространственных объектов. Пользовательский интерфейс системы разработан с учетом принципов юзабилити и обеспечивает интуитивное взаимодействие с географическими данными. Возможность выбора и отображения различных слоев, а также детальная информация об объектах делают систему эффективным инструментом для анализа и визуализации пространственных данных, особенно в контексте экологических, экономических и социальных исследований. Для настройки и развертывания Django-приложения с использованием PostgreSQL, Nginx и Gunicorn на сервере с операционной системой Ubuntu 22.04 был применен последовательный и детально спланированный процесс, направленный на обеспечение стабильной работы и безопасности системы. На первом этапе

была выполнена подготовка сервера, которая включала установку необходимых системных компонентов, таких как Python, pip, PostgreSQL, Nginx, Git и другие зависимости. Эти инструменты являются основой для функционирования Django-приложения. Для управления зависимостями проекта было создано виртуальное окружение Python, которое изолирует пакеты и обеспечивает более удобную работу с Python-библиотеками. Далее была выполнена настройка PostgreSQL. Этот этап включал установку базы данных и ее последующую конфигурацию для взаимодействия с Django. Были созданы пользователь базы данных и сама база данных с соответствующими правами доступа, обеспечивающими правильную работу приложения. PostgreSQL, как одна из ведущих реляционных баз данных с поддержкой транзакций ACID, обеспечивает высокую надежность и целостность данных, что делает ее идеальным выбором для таких проектов. После подготовки базы данных начался процесс развертывания Django-приложения. Исходный код проекта был клонирован с использованием системы контроля версий Git, что позволило оперативно развернуть нужную версию приложения на сервере. В файле настроек Django были внесены необходимые изменения для подключения к базе данных PostgreSQL. Также была выполнена настройка путей для хранения статических и медиафайлов, что позволило правильно обслуживать их через веб-сервер. Применение миграций базы данных было ключевым шагом для создания структуры базы данных на основе моделей Django. Дополнительно был выполнен сбор статических файлов для их последующего обслуживания Nginx. На следующем этапе была настроена система для запуска приложения с использованием Gunicorn, мощного и универсального HTTP-сервера для Python-приложений. После установки Gunicorn была создана специальная служба systemd, которая обеспечила автоматический запуск сервера приложений при старте операционной системы. Это решение позволило снизить ручные операции по управлению запуском и мониторингом приложения. Затем была проведена конфигурация Nginx, который выполняет функции обратного прокси-сервера, передающего HTTP-запросы от клиента к Gunicorn. Дополнительно Nginx обрабатывает статические файлы, тем самым снижая нагрузку на сервер приложений. Настройка была выполнена с учетом обеспечения максимальной производительности и стабильности. Для усиления безопасности соединений был настроен протокол HTTPS с использованием SSL-сертификатов, которые были получены бесплатно через Let's Encrypt. Эти сертификаты обеспечивают шифрование данных между клиентом и сервером, защищая передаваемую информацию. Последним этапом было тестирование всей системы. Проверялась корректность работы приложения, его взаимодействие с Nginx и Gunicorn, а также правильность настройки HTTPS. После успешного тестирования и исправления возможных ошибок были выполнены настройки автоматического запуска всех служб при перезагрузке сервера. Это обеспечило непрерывную работу приложения и минимизировало простои. Таким образом, проделанный процесс настройки и развертывания позволил создать стабильную и защищенную среду для работы Django-приложения, обеспечив его бесперебойную работу на продакшн-сервере.

Результаты исследования

Результатом данного проекта стала разработка и успешная реализация веб-ГИС системы, предназначенной для визуализации и анализа пространственных данных, связанных с гидрологическими постами и природными ресурсами Западного Казахстана. Основное внимание было уделено созданию интерактивной карты, позволяющей пользователям получать доступ к информации о гидрологических постах через веб-интерфейс. В ходе разработки удалось эффективно интегрировать геопространственные данные в систему координат EPSG:4326, что позволило обеспечить точную привязку объектов на карте. Визуализация данных осуществлялась с использованием библиотек GeoPandas и Folium, что позволило динамически обрабатывать и отображать большие объёмы информации на карте. Данные не предоставленные в системе координат EPSG:4326 были успешно конвертированы в данный формат для платформы. Одним из ключевых достижений проекта стала реализация

механизма интерактивных всплывающих окон и ссылок, что значительно упростило навигацию по системе. Пользователи могут в реальном времени взаимодействовать с картой, получая доступ к детализированной информации о гидрологических постах, в том числе к историческим данным о водопотреблении и прочим параметрам. Система также позволяет анализировать изменения природных и экологических показателей с помощью растровых слоёв, которые отображают различные аспекты экосистемных услуг и состояния водных ресурсов региона. Это сделало платформу полезным инструментом для экологических и водных служб, предоставив возможность не только визуализировать данные, но и проводить их пространственный анализ. Портал, базируется на реальных данных, предоставляет удобный интерфейс, разработанный с применением инфографических фреймворков ChartJS и HighchartJS, а также интегрированной геоинформационной системы OpenStreetMap.

Модульная структура: логическое разделение данных на тематические блоки с возможностью детализации. Ключевые блоки исследования, расположенные на левой панели страницы (Рис. 4). Каждый блок включает модули с подмодулями, которые обеспечивают пользователю доступ к различным функциям и инструментам.

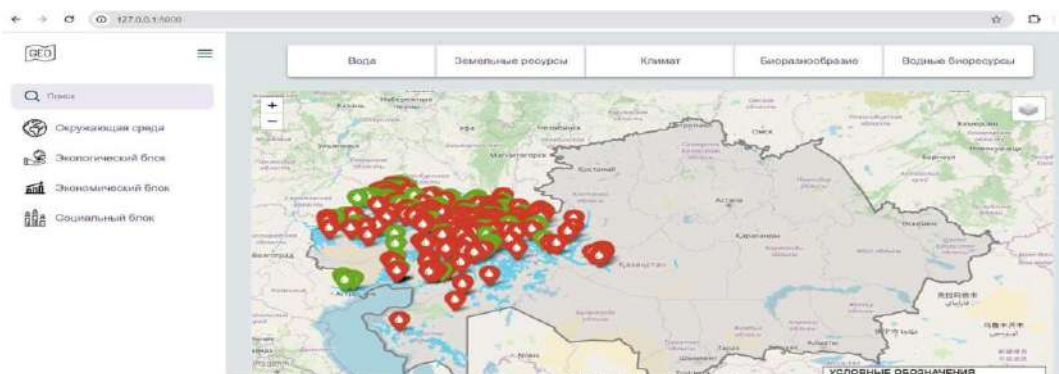


Рисунок 4. Основные модули (меню панель) исследования

Интерактивная карта: настраиваемые слои, позволяющие анализировать различные аспекты геопространственных данных. Пользователи могут выбирать и комбинировать различные слои, такие как границы областей, экономические зоны и природоохранные территории, для более детального анализа территориальных данных. Карта обеспечивает интуитивно понятный интерфейс, который позволяет пользователям переключаться между различными аспектами данных, адаптируя отображение к своим потребностям. Это облегчает визуализацию территориальных различий, проведение анализа на уровне регионов и принятие решений на основе доступной информации. Шейп-файлы, использованные в проекте, были успешно интегрированы в систему, что позволяет эффективно работать с большими объёмами геопространственных данных. На карте загружены шейп-файлы, которые можно настраивать в зависимости от потребностей пользователя (Рис. 5).

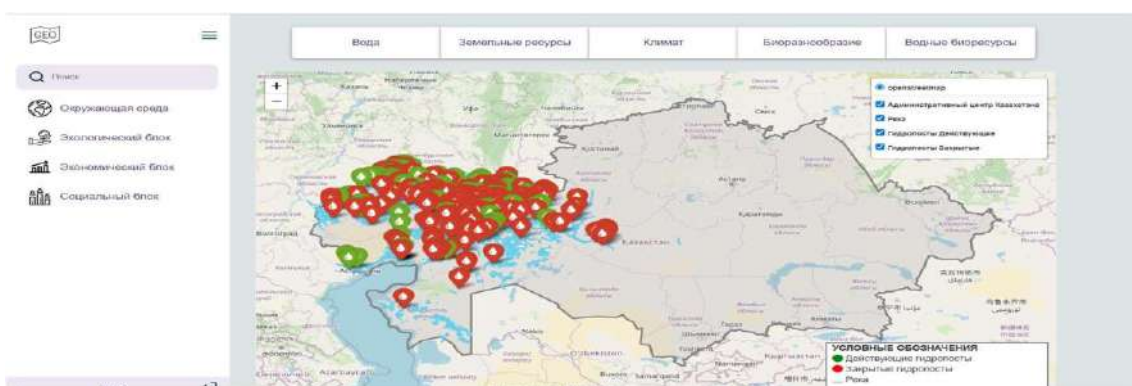


Рисунок 5. Выбор слоя на карте

Детальная информация об объектах: быстрый доступ к основным характеристикам объектов и возможность перехода к подробным инфографикам. При нажатии на объект пользователь может мгновенно увидеть основную информацию о нем (Рис. 6).

Если требуется более подробная информация, система предлагает перейти по соответствующей ссылке, ведущей к нужному объекту. Такое решение значительно улучшает юзабилити, делая взаимодействие с системой интуитивным и удобным для пользователей.



Рисунок 6. Информация об объекте

Визуализация данных: интерактивные графики и диаграммы для наглядного представления информации. При переходе по ссылке, представленной на изображении, пользователю открывается доступ к инфографике, содержащей подробные данные по выбранному объекту (Рис.7).

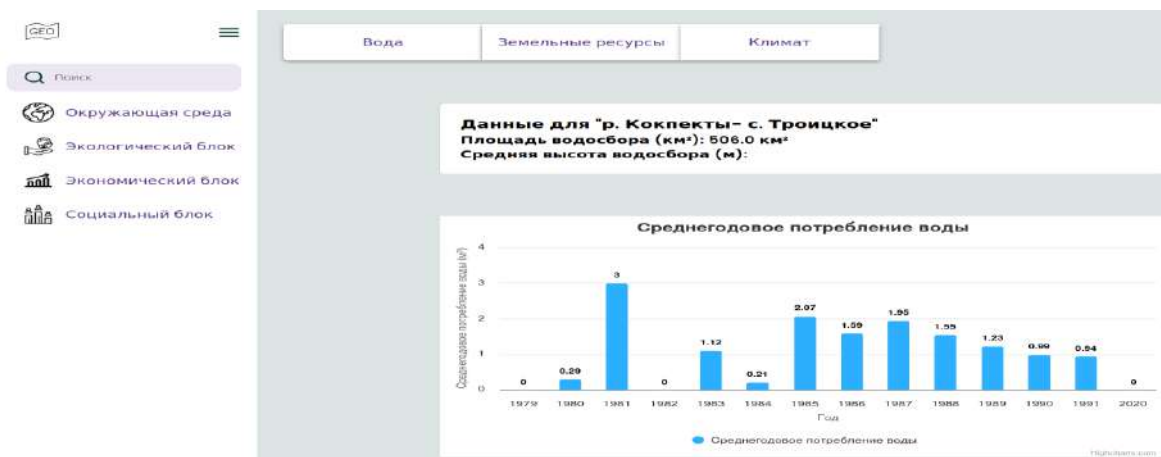


Рисунок 7. Инфографика об объекте

Эти инфографики визуализируют ключевые показатели и метрики, связанные с объектом, что позволяет быстро оценить его состояние и динамику изменений. Такой подход не только упрощает восприятие информации, но и способствует более глубокому анализу данных, делая систему Web GIS мощным инструментом для исследования и принятия решений.

В представленных изображениях продемонстрированы возможности разработанного нами веб-приложения для анализа и визуализации гидропространственных данных. На примере одного из разделов, посвященного гидропостам, показаны результаты исследования.

Дискуссия

В данном исследовании представлена разработка веб-портала ГИС для комплексного анализа геопространственных данных Западного Казахстана. Новизна подхода заключается в интеграции экологических, экономических и социальных данных в единую информационную систему, что позволяет проводить более глубокий и всесторонний анализ. Однако важно

отметить, что одним из ограничений системы является доступность и качество исходных данных, которые могут влиять на точность анализа. Возможные проблемы совместимости данных также требуют внимания, особенно при интеграции из различных источников. Для решения этих вопросов предусмотрена разработка механизма загрузки share-файлов через административную панель, что упростит управление данными и обеспечит эффективную работу. Внедрение share-файлов из системы ArcGIS уже позволило снизить нагрузку на интерфейс, а также увеличить скорость и стабильность обработки данных, однако для дальнейшего улучшения системы необходимы дополнительные оптимизации в работе с большими объемами данных и данными в реальном времени. В сравнении с MapServer, который требует значительных усилий для настройки и не имеет встроенного графического интерфейса для администрирования, предлагаемая система предлагает более интуитивно понятный интерфейс, снижая порог входа для пользователей и упрощая управление данными. Кроме того, гибкость системы обеспечивает её адаптацию для работы с различными хранилищами данных, что выделяет её на фоне конкурентов. Также предусмотрено развитие модулей для работы с трёхмерными данными, что позволит повысить интерактивность и гибкость картографических сервисов. В целях расширения функционала и повышения производительности планируется оптимизация под мобильные устройства, использование технологий дополненной и виртуальной реальности для визуализации геоданных, а также разработка методов обработки растущих объемов данных и передачи информации в режиме реального времени, что сделает систему более современной и доступной для широкой аудитории.

Заключение

Разработанный веб-портал представляет собой ценный инструмент для исследователей, государственных органов и других заинтересованных сторон, занимающихся изучением и управлением природными ресурсами Западного Казахстана. Практическая ценность портала заключается в возможности проведения оперативного анализа данных, принятия обоснованных решений и мониторинга изменений в окружающей среде. Перспективные направления дальнейших исследований включают расширение функциональности портала за счет интеграции с другими информационными системами, а также разработку моделей прогнозирования изменений в окружающей среде.

Благодарность

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках грантового исследования №BR21882122 «Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-экономических систем Западно-Казахстанского региона в контексте зеленого роста: комплексный анализ, концепция, прогнозные оценки и сценарии».

Список использованных источников

- [1] “О внесении изменений и дополнений в Указ Президента Республики Казахстан от 30 мая 2013 года № 577 “О Концепции по переходу Республики Казахстан к ‘зеленой экономике’ - ИПС ‘Әділет.’” Accessed: Oct. 17, 2024. [Online]. Available: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2400000568>
- [2] Р. М. А.-Р. Оглы, “Рост населения и его влияние на экономическое положение стран,” *Наука, техника и образование*, no. 5 (58), Art. no. 5 (58), 2019.
- [3] “Қазақстан Республикасы Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі Ұлттық статистика бюросы - Басты бет.” Accessed: Oct. 17, 2024. [Online]. Available: <https://stat.gov.kz/>
- [4] A. Alesheikh, H. Helali, and H. Behroz, “Web GIS: Technologies and Its Applications”.
- [5] X. Wu et al., “A Web-GIS hazards information system of the 2008 Wenchuan Earthquake in China,” *Natural Hazards Research*, vol. 2, no. 3, pp. 210–217, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.nhres.2022.03.003.

[6] L. Duarte and A. C. Teodoro, "GIS Open-Source Plugins Development: A 10-Year Bibliometric Analysis on Scientific Literature," *Geomatics*, vol. 1, no. 2, Art. no. 2, Jun. 2021, doi: 10.3390/geomatics1020013.

[7] A. Rowland, E. Folmer, and W. Beek, "Towards Self-Service GIS—Combining the Best of the Semantic Web and Web GIS," *IJGI*, vol. 9, no. 12, p. 753, Dec. 2020, doi: 10.3390/ijgi9120753.

[8] M. A. Hasan and F. H. Abed, "Web-Based GIS Software and Database Tools for Water Resources Management," *Eurasian Journal of Engineering and Technology*, vol. 14, pp. 22–28, Jan. 2023.

[9] T. Rizaldi, H. A. Putranto, and A. A. Kurniasari, "Implementation of Agile Methods in GIS Web Applications for Land Suitability Selection," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 1338, no. 1, p. 012054, May 2024, doi: 10.1088/1755-1315/1338/1/012054.

[10] A. Ezzahri, S. Boujdi, M. Bouziani, R. Yaagoubi, and L. Kenny, "Soqia-Advice: A Web-GIS Advisory Platform for Efficient Irrigation in Arboriculture," *AgriEngineering*, vol. 6, no. 2, Art. no. 2, Jun. 2024, doi: 10.3390/agriengineering6020091.

References

[1] "On Amendments and Additions to the Decree of the President of the Republic of Kazakhstan dated May 30, 2013, No. 577 'On the Concept of Transition of the Republic of Kazakhstan to a 'Green Economy' - IPS 'Adilet.'" Accessed: Oct. 17, 2024. [Online]. Available: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2400000568>

[2] R. M. A.-R. Ogly, "Population Growth and its Impact on the Economic Condition of Countries," *Science, Technology, and Education*, no. 5 (58), Art. no. 5 (58), 2019.

[3] "Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan - National Bureau of Statistics - Homepage." Accessed: Oct. 17, 2024. [Online]. Available: <https://stat.gov.kz/>

[4] A. Alesheikh, H. Helali, and H. Behroz, "Web GIS: Technologies and Its Applications."

[5] X. Wu et al., "A Web-GIS Hazards Information System of the 2008 Wenchuan Earthquake in China," *Natural Hazards Research*, vol. 2, no. 3, pp. 210–217, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.nhres.2022.03.003.

[6] L. Duarte and A. C. Teodoro, "GIS Open-Source Plugins Development: A 10-Year Bibliometric Analysis on Scientific Literature," *Geomatics*, vol. 1, no. 2, Art. no. 2, Jun. 2021, doi: 10.3390/geomatics1020013.

[7] A. Rowland, E. Folmer, and W. Beek, "Towards Self-Service GIS—Combining the Best of the Semantic Web and Web GIS," *International Journal of Geo-Information (IJGI)*, vol. 9, no. 12, p. 753, Dec. 2020, doi: 10.3390/ijgi9120753.

[8] M. A. Hasan and F. H. Abed, "Web-Based GIS Software and Database Tools for Water Resources Management," *Eurasian Journal of Engineering and Technology*, vol. 14, pp. 22–28, Jan. 2023.

[9] T. Rizaldi, H. A. Putranto, and A. A. Kurniasari, "Implementation of Agile Methods in GIS Web Applications for Land Suitability Selection," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1338, no. 1, p. 012054, May 2024, doi: 10.1088/1755-1315/1338/1/012054.

[10] A. Ezzahri, S. Boujdi, M. Bouziani, R. Yaagoubi, and L. Kenny, "Soqia-Advice: A Web-GIS Advisory Platform for Efficient Irrigation in Arboriculture," *AgriEngineering*, vol. 6, no. 2, Art. no. 2, Jun. 2024, doi: 10.3390/agriengineering6020091.

Д.К. Даркенбаев^{1*} , Н.О. Мекебаев² 

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

* e-mail: dauren.kadyrovich@gmail.com

МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АЛГОРИТМДЕРІН НЕСИЕЛІК ТӘУЕКЕЛДІ БАҒАЛАУДА ҚОЛДАНУ

Аңдатпа

Мақалада банктік несиелік тәуекелді бағалаудың өзекті мәселелері, сондай-ақ қарыз алушының несиелік қабілетін бағалау үшін деректерді талдау әдістерін пайдалана отырып, машиналық оқыту алгоритмдері зерттелді. Деректерді өңдеу процесін көрсету үшін мысал ретінде несиелік рейтингтер таңдалды. Несиелік тәуекелді бағалау үшін несиелік скоринг қаржылық институттардағы төлем қабілеттері бар немесе төлем қабілеттері жоқ клиенттерден ажыратудың маңызды құралы екені талданды. Мақалада, машиналық оқыту алгоритмдері кредиттік скорингке сәтті қолданылды. Несиелік тәуекелді азайту – қаржылық дағдарыстардан кейін қызығушылықтың артатын саласы, сондықтан қаржы институттары көптеген деректер жинақтайды. Бұл тәуекел сарапшыларына үлкен деректерді өңдеу және жеке тұлғаның төлем қабілетін анықтау сияқты қиын тапсырма берді. Қаржы институттары жоғары тиімді несиелік скорингтік модельдерді табу үшін күрделі машиналық оқыту әдістерін пайдалана алады. Мақалада салыстырмалы талдау үшін машиналық оқытуды жіктеу әдістері қолданылды. Нәтижелер көрсеткендей, регрессия дефолтты жақсы болжағанын, содан кейін кездейсоқ орман алгоритмі екенін көрсетті. Кеңінен қолданылатын логит моделі тірек векторлық машинаға қарағанда жақсы нәтиже көрсетті. Сонымен қатар, Колмогоров-Смирновтың сынағы арқылы біз машиналық оқытудың басқа әдістерінің кластарды қаншалықты жақсы жіктей алатындығын және логит моделінен асып түсетінін дәлелдедік.

Түйін сөздер: деректер, алгоритмдер, өңдеу, технология, әдістер, машиналық оқыту.

Д.К.Даркенбаев¹, Н.О.Мекебаев²

¹Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

²Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ КРЕДИТНОГО РИСКА

Аннотация

В статье исследуются актуальные вопросы оценки банковского кредитного риска, а также алгоритмы машинного обучения, применяемые для анализа данных с целью оценки кредитоспособности заемщика. В качестве примера для иллюстрации процесса обработки данных были выбраны кредитные рейтинги. Кредитный скоринг стал важнейшим инструментом оценки кредитного риска, позволяющим финансовым учреждениям отличать платежеспособных клиентов от неплатежеспособных. Для решения задач кредитного скоринга успешно применяются алгоритмы машинного обучения. Снижение кредитного риска представляет собой область повышенного интереса, особенно в условиях финансовых кризисов. В связи с этим финансовые учреждения собирают значительные объемы данных, что ставит перед аналитиками сложную задачу обработки больших данных и точного определения платежеспособности заемщиков. В поисках высокоэффективных моделей кредитного скоринга финансовые учреждения могут использовать современные методы машинного обучения. В статье для сравнительного анализа были применены методы классификации машинного обучения. Результаты исследования показали, что регрессия обеспечивает наилучшую оценку вероятности дефолта, за ней следует модель случайного леса. Широко используемая логит-модель продемонстрировала более высокие результаты по сравнению с методом опорных векторов. Кроме того, с помощью теста Колмогорова-Смирнова было доказано, что другие методы машинного обучения превосходят логит-модель по точности классификации классов.

Ключевые слова: данные, алгоритмы, обработка, технология, методы, машинное обучение.

D.K. Darkenbayev¹, N.O.Mekebayev²

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

USING MACHINE LEARNING ALGORITHMS IN CREDIT RISK ASSESSMENT

Abstract

The article investigated topical issues of assessing bank credit risk, as well as machine learning algorithms using data analysis methods to assess the creditworthiness of the borrower. Credit ratings were chosen as an example to illustrate the data processing process. To assess credit risk, credit scoring has become an essential tool for distinguishing solvent clients from non-solvent clients in financial institutions. Accordingly, machine learning algorithms have been successfully applied to credit scoring. Reducing credit risk is an area of increased interest in connection with financial crises and therefore financial institutions collect a lot of data. This has presented risk analysts with the difficult task of processing big data and adequately determining a person's ability to pay. In the search for highly effective credit scoring models, financial institutions can use sophisticated machine learning techniques. In the article, machine learning classification methods were used for comparative analysis. The results show that regression provides the best estimate of default, followed by a random forest model. The widely used logit model has shown better results than the support vector machine. Moreover, using the Kolmogorov-Smirnov test, we proved that other machine learning methods outperform the widely used logit model in how well the model can classify classes.

Keywords: data, algorithms, processing, technology, methods, machine learning.

Негізгі ережелер

Мақаланың негізгі мақсаты жеке тұлғалардың деректерін өңдеу негізінде несиелік тәуекелді бағалау. Деректердің күн санап өсуі, оларды өңдеу мен сақтау мәселелерін туындатқаны белгілі. Оларды өңдеуде тиімді әдістер ретінде машиналық оқыту алгоритмдері таңдалып алынып, жартылай құрылымданған деректерді өңдеудегі нәтижелері салыстырыла зерттелді. Жалпы машиналық оқыту алгоритмдерін таңдауда олардың үлкен көлемді деректерді өңдеудегі нәтижелері салыстырылады, кейбір модельдер аз ғана деректерде жақсы нәтижелер көрсетсе, ал кейбіреулері үлкен көлемді деректерді өңдеуде жақсы нәтижелер көрсетеді. Деректерді өңдеуде олардың шынайылығы модельдің дұрыс жұмыс істеп, нақты болжамдар алуына оң әсерін тигізеді. Аталмыш мақаладағы негізгі идеясы жеке тұлғалардың жартылай құрылымданған деректерін өңдеп, несиелік тәуекелді бағалау яғни несие беруге болатын немесе несие беруге болмайтын клиенттерін анықтау болып табылады.

Кіріспе

Технология күн санап дамыған сайын, машиналық оқыту алгоритмдері де қаржы институттарының несие қабілеттілігін және несиені мақұлдау процестерін бағалауға қолданылуда [1].

Машиналық оқыту - бұл деректерден үйрену және адамдар анықтауы қиын үлгілерді тану үшін алгоритмдерді пайдаланатын жасанды интеллект түрі [2].

Қаржы институттары қазір несие қабілеттілігін дәлірек бағалау, сондай-ақ қолмен жасалатын процестер мен қолмен жіберілетін қателерді азайту үшін машиналық оқытуды пайдаланады. Машиналық оқыту несие берушілерге үлкен көлемдегі деректерді дәстүрлі әдістерге қарағанда тезірек және дәлірек талдауға көмектеседі. Бұл несие берушілерге тәуекелді азайтуға және несиені мақұлдау мөлшерлемелерін жақсартуға көмектесетін әлеуетті қарыз алушылар туралы неғұрлым саналы шешім қабылдауға мүмкіндік берді. Сондай-ақ несиеге өтініш беру процесін автоматтандыру үшін машиналық оқыту қолданылады. Өтінімдерді өңдеу үшін алгоритмдерді пайдалану арқылы несие берушілер несиені мақұлдауға кететін уақытты қысқарта алады және талап етілетін құжат айналымын азайтады. Бұл несиені мақұлдауды жылдамдатуға және несиені өңдеу уақытын қысқартуға әкеледі [3].

Сонымен қатар, дәлірек несие ұпайларын беру үшін машиналық оқыту қолданылады.

Әртүрлі көздерден алынған деректерді пайдалана отырып, несие берушілер несие тәуекелін жақсы болжап, дәлірек несие ұпайларын жасай алады. Жалпы алғанда, машиналық оқыту қаржы институттарына несиені мақұлдау және несиелік скоринг туралы көбірек негізделген шешімдер қабылдауға қажетті құралдармен қамтамасыз етеді. Деректерді тиімдірек пайдалану арқылы несие берушілер өздерінің несиелерімен байланысты тәуекел деңгейін төмендете алады және әлеуетті қарыз алушыларға дәлірек ақпарат бере алады. Несиелік тәуекелдерді болжау үшін машиналық оқытуды пайдалану қаржы институттары арасында танымал бола түсуде. Бұл дәлірек және сенімді болжамдар жасау үшін күрделі алгоритмдерді пайдалануға мүмкіндік беретін технология жетістіктерінің арқасында мүмкін болды [4].

Машиналық оқыту қаржы институттарына деректердің үлкен көлемін талдау арқылы несиелік тәуекелді дәлірек болжауға мүмкіндік берді. Машиналық оқыту алгоритмдерін пайдалана отырып, жеке тұлғаларға несие берумен байланысты тәуекелді бағалау үшін пайдаланылады. Бұл қаржы саласына үлкен әсер етуі мүмкін несиелік тәуекелді болжау дәлдігін арттыруға әкеледі. Несиелік тәуекелді болжау үшін машиналық оқытуды пайдаланудың артықшылықтары өте көп. Бұл қаржы институттарына несиелерін өтей алмау қаупі ең төмен, ең жақсы несие алушыларды анықтауға көмектеседі. Бұл нашар несиелермен байланысты шығындарды азайтуға көмектеседі және пайданың артуына әкелуі мүмкін. Сонымен қатар, машиналық оқыту банктерге ықтимал алаяқтарды анықтауға және күдікті әрекетті белгілеуге көмектеседі. Жалпы алғанда, машиналық оқыту несиелік тәуекелді болжауға қатысты қаржы институттары үшін барған сайын маңызды құралға айналууда. Күрделі алгоритмдерді пайдалана отырып, банктер дефолттар мен алаяқтық әрекеттерден болатын шығындарды айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді және сенімді болжамдар жасай алады. Бұл пайданың артуына және банктер мен олардың клиенттерінің қаржылық қауіпсіздігін арттырады [5].

Әдебиетке шолу. Машиналық оқыту алгоритмдерін тиімді пайдалану және үлкен көлемді деректерді өңдеу бойынша ғылыми зерттеу жұмыстарды шетелдік ғалымдар Крис Филлипс, Пол Ежилчелван, Чунг, Х.М., Джойс Джексон, Сринивасан В., Ким Ёнг, Хенли В.Э., Десай В.С., Конвей Д.Г., Крук Дж. Ресей ғалымдары Н.В. Бабина, А.А. Земцова, Т.Ю. Осипов, В.Расторгуев және отандық ғалымдар М.Н.Қалимолдаев, Е.Н.Әмірғалиев, Г.Т.Балақаева, О.Ж.Мамырбаев, М.Е.Мансурова сияқты жетекші ғалымдардың еңбектерінен көруімізге болады.

Зерттеу әдіснамасы

Ғылыми мақаланың мақсаты машиналық оқыту алгоритмдерін қолдану арқылы үлкен көлемді деректерді өңдеп, болжамдар жасау және шешім қабылдауды автоматтандыру. Жеке тұлғалардың деректері заңмен қорғалады, көптеген қаржылық ұйымдар деректерді құпия ұстайды. Сондықтан, шынайы деректерді тауып, олардың негізінде болжамдар жасау аса маңызды. Бұл қолданылатын модельдің дұрыс жұмыс жасауына ықпал етеді.

Несиелік скорингті автоматтандыру үшін машиналық оқытуды пайдалану банктік және қаржылық қызметтер индустриясында кең таралған. Шешім қабылдаудың автоматтандырылған әдістерін пайдалана отырып, банктер және басқа қаржы институттары адамның несие қабілеттілігін жылдам бағалай алады және олардың несиелік өтінімдері немесе несие лимитін ұлғайту туралы шешім қабылдай алады [6].

Машиналық оқыту алгоритмдері деректердің үлкен көлемін жылдам және дәл өңдей алады, содан кейін адамның несие қабілеттілігін автоматты түрде анықтау үшін пайдалануға болады. Болжам жасауға негізделген модельдер адамның несиелік ұпайы, кірісі, несие тарихы және басқа қаржылық ақпарат сияқты әртүрлі факторларды ескере алады. Бірнеше көздерден алынған деректерді қосу арқылы машиналық оқыту алгоритмдері дәстүрлі кредиттік скоринг үлгілеріне қарағанда дәлірек болжам жасай алады. Несиелік скорингті автоматтандыру үшін машиналық оқытуды пайдалану адамның несие қабілеттілігін бағалауға байланысты уақыт пен шығындарды айтарлықтай қысқартуы мүмкін. Қаржы институттарына шешімді тез және

дәл қабылдауға мүмкіндік бере отырып, банктер мен басқа несие берушілер өз клиенттеріне бәсекеге қабілетті мөлшерлемелер мен шарттарды ұсынуға жақсырақ жабдықталған. Сонымен қатар, шешім қабылдау процесін автоматтандыру арқылы қаржы институттары үлкен қателіктерін азайта алады. Кредиттік скорингті автоматтандыру үшін машиналық оқытуды пайдалану әлі бастапқы кезеңдерінде деп айтуға болады, бірақ ықтимал артықшылықтар бар. Технологиялар күннен күнге дамып келе жатқандықтан, ол банктік және қаржылық қызметтер индустриясының маңызды бөлігіне айналады деп есептеледі [7].

Бұл мақалада біз клиенттің дефолт мүмкіндігін көрсететін сипаттамаларын зерттеуге тырысамыз, сондай-ақ ашық қолданыстағы Хоум банк несие деректерін пайдаланамыз, ол деректер ашық қолданыста бар және несие мерзімін өтеу мен несие қабілеттілігін тиімді модельдейтін ең жақсы несиелік модельдеу алгоритмін табуға тырысамыз. Жартылай құрылымданған деректерді машиналық оқыту алгоритмдерін қолдану арқылы өңдейміз және дефолттық жағдайға болжамдар жасаймыз және несиелерін қайтара алатындар, қайтара алмайтындар деп нәтижелерді екі класқа жіктейміз.

Логистикалық регрессия. Логит моделі несиелік скорингте ең көп қолданылатын алгоритмдердің бірі болып табылады. Бұл жалпы сызықтық модельдің бірегей жағдайы және белгілі бір жағынан сызықтық регрессиямен салыстыруға болады. Дегенмен, жалпы сызықтық регрессиядан айырмашылығы, логит модельдері ең алдымен үздіксіз нәтижелерді емес, дихотомиялық тәуелді нәтижелерді болжауға арналған. Дегенмен, жалпы сызықтық регрессиядан айырмашылығы, логит модельдері ең алдымен үздіксіз нәтижелерді емес, дихотомиялық тәуелді нәтижелерді болжауға арналған. Бұл логистикалық түрлендірудің арқасында $[-\infty, +\infty]$ мәнінен 0 мен 1 арасындағы ықтималдыққа дейін шығысты шектеу арқылы қол жеткізіледі. Логистикалық функция кері логитпен беріледі [8].

$$\log it^{-1}(\alpha) = \frac{1}{1 + e^{(-\alpha)}} = \frac{e^{\alpha}}{e^{\alpha} + 1} \quad (1)$$

N деректер нүктелерінің оқу жинағы үшін, $H = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^N$ және $x_i \in R^n$ кіріс айнымалылар. Бинарлы нәтижеге $y_i \in \{0,1\}$ сәйкес келетін логистикалық регрессияның мақсаты $P(y=1|x)$ мәнін келесідей бағалау.

$$P(y=1|x) = \frac{1}{1 + e^{-(\omega_0 + \omega^T x)}} \quad (2)$$

және

$$P(y=0|x) = \frac{e^{-(\omega_0 + \omega^T x)}}{1 + e^{-(\omega_0 + \omega^T x)}} \quad (3)$$

бұл жерде, ω_0 кесінді, ω вектордың параметрі және $x \in R^n$ n өлшемді вектор болып табылады.

Біз, ω_0 және ω параметрлерін бағалау үшін максималды ықтималдық техникасын қолданамыз. Байқау ықтималдығымен нәтиже төмендегідей берілген.

$$P(y|x) = P(y=1|x)^y (1 - P(y=1|x))^{1-y} \quad (4)$$

Бұл процедураның негіздемесі мынаны сипаттайды бақылау ықтималдығын барынша арттыру деректер жинағы H бақылауларды ескере отырып дербес сызылады, бұл төмендегідей

нәтиже нәтиже береді.

$$\prod_{i=1}^N P(y_i = 1|x_i)^{y_i} (1 - P(y_i = 1|x_i))^{1-y_i} \quad (5)$$

Логарифдік сенімділік келесідей анықталады:

$$LL = \sum_{i=1}^N y_i \log(P(y_i = 1|x_i)) + (1 - y_i) \log(1 - P(y_i = 1|x_i)) \quad (6)$$

Логарифмдік сенімділік статистикасы үлгіні орнатудан кейін түсіндірілмеген ақпараттың өнімділік өлшемі болып табылады, бұл оны квадраттардың қалдық сомасымен салыстыруға мүмкіндік береді. Өнімділік көрсеткішінің критерийі үлкенірек логарифмдік сенімділік шамасы арқылы беріледі, мұнда статистика неғұрлым үлкен болса, соғұрлым түсініксіз ақпарат болады.

Кездейсоқ орман (Random Forest). Кездейсоқ орман - бұл классификацияның ансамбльдік оқыту әдістемесі, онда классификатор ағаш құрылымдарының жиынтығы түрінде болады.

$$\{h(X, \theta_k), k = 1, \dots\} \quad (7)$$

Кездейсоқ векторлар θ_k тәуелсіз және бірдей таралған, әрбір ағаш X кірісінде және θ шығысында ең танымал санат бойынша шешімді тіркейді.

Кездейсоқ кіріс векторы $X \subset x \subset R^p$ белгілі және кіріс деректерінің көмегімен регрессия функциясын бағалау арқылы квадрат интегралдың $Y = R$ кездейсоқ жауабын болжау:

$$m(x) = E[Y|X = x] \quad (8)$$

Тәуелсіз және бірдей берілген, $D_n((X_1, Y_1), \dots, (X_n, Y_n))$ оқу деректер жинағы бар делік. D_n деректер жинағының көмегімен келесідей функция алынады: $m_n = x \rightarrow R$ Бұл жағдайда m_n регрессия функциясының дәйектілігі сақталады егер, $E[m_n(X) - m(X)]^2 \rightarrow 0$ және $n \rightarrow \infty$ ұмтылса. Орташа мән, X және D_n деректер жиынтығы бойынша есептеледі. Кездейсоқ шешім ормандарын рандомдалған негізгі регрессия ағаштарының жиынтығы ретінде қарастыруға болады:

$$\{r_n(x, \theta_m, D_n), m \geq 1\} \quad (9)$$

мұндағы θ_k -тәуелсіз және бірдей бөлінген кездейсоқ векторлар.

$$r_n(x, \theta_j, D_n) = \sum_{i \in D_n^*(\theta_j)} \frac{I_{X_i \in A_n(x, \theta, D_n)}^{y_i}}{N_n(x, \theta_j, D_n)} \quad (10)$$

Бұл жердегі, $D_n^*(\theta_j)$ жаттығу деректер жиынтығы. $A_n(x; \theta_j, D_n)$ кіріс деректері бар ұяшық, Содан кейін ағаштар соңғы орманды бағалау үшін біріктіріледі.

$$m_n(x, \theta_1, \theta_M, D_n) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^m m_n(x, \theta_j, D_n) \quad (11)$$

мұндағы E_θ , D_n -шарты бойынша θ кездейсоқ мүмкіндігіне қатысты математикалық күту.

Тірек вектор машинасы. Тірек векторлық машинасы (SVM) – алгоритм графикте бөлу сызығына жақын нүктелерді іздейді. Бұл нүктелер тірек векторлары деп аталады. Содан кейін, алгоритм тірек векторлары мен бөлетін жазықтық арасындағы қашықтықты есептейді. Бұл қашықтық саңылау деп аталады. Алгоритмнің негізгі мақсаты - тазарту қашықтығын барынша арттыру. Ең жақсы гипержазықтық бұл алшақтық мүмкіндігінше үлкен болатын гипержазықтық болып саналады [9].

Тірек векторлық машиналары (SVM) тарихи қаржылық деректер жиынтығы бойынша модельді оқыту арқылы несиелік ұпайларды болжау үшін пайдаланылуы мүмкін машиналық оқыту әдісі. SVM алгоритмі деректер нүктелерінің кластарын ең үлкен маржамен бөлетін ең жақсы гипержазықтықты табуға тырысады. Несиелік балды болжау жағдайында, алгоритм жақсы несие ұпайлары бар қарыз алушыларды нашар несиелік ұпайлары бар қарыз алушылардан бөлуге бағытталған. Оқытылған SVM моделін жаңа қарыз алушылардың қаржылық деректеріне негізделген несиелік ұпайын болжау үшін пайдалануға болады. Дегенмен, SVM негізіндегі несиелік балды болжау өнімділігі гиперпараметрлерді таңдауға сезімтал болуы мүмкін. Сондықтан, SVM негізіндегі несиелік ұпайды болжауда максималды өнімділікке қол жеткізу үшін гиперпараметрлерді мұқият таңдау және реттеу маңызды [10].

Лассо регрессиясы. Лассо регрессиясы реттеуші әдіс болып табылады. Ол дәлірек болжау үшін регрессия әдістерінің орнына қолданылады. Бұл модельді қателікті қысқарту мақсатында пайдалануға болады [11]. Қысқарту - бұл деректер мәндері орташа мән ретінде орталық нүктеге қысылған кезде. Лассо қарапайым, сирек модельдерді (яғни параметрлері аз модельдерді) қолдайды. Регрессияның бұл ерекше түрі мультиколлинеарлықтың жоғары деңгейлерін көрсететін үлгілер үшін немесе айнымалы таңдау/параметрді алып тастау сияқты үлгі таңдаудың белгілі бір бөліктерін автоматтандыру қажет болғанда өте қолайлы [12].

Енгізу кеңістігі үшін $X \in R^N$ және өлшенетін $Y \in R$ сызықтық гипотезалар тобын $G = \{x \rightarrow w \cdot x + b : w \in R^N, b \in R\}$ қарастырамыз. Жаттығу деректері $S = \{(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m)\} \in (X \times Y)^m$ болсын делік. Лассоның мақсаты L_1 салмақ векторының нормасымен реттелетін реттеу мүшесі S бойынша эмпирикалық квадраттық қатені азайту болып табылады.

$$\min_{(w,b)} F(w,b) = \lambda \|w\|_1 + \sum_{i=1}^m (w \cdot x_i + b - y_i)^2 \quad (12)$$

мұндағы λ оң параметр. 12-ші теңдеуді оңтайландыру есебі деп айтуға болады, себебі $\|w\|_1$ және эмпирикалық қате дөңес. Сондықтан, 12-теңдеу үшін оңтайландыруды былай жазуға болады:

$$\sum_{i=1}^m (w \cdot x_i + b - y_i)^2 \|w\|_1 < \psi \quad (13)$$

мұндағы ψ - оң параметр болып табылады [13].

Өнімділік өлшемдері. Модельдің өнімділігін бағалау мен мүмкіндігін тексеретін оқытылатын деректерге сүйенетін бірнеше әдістер бар [14]. Модельдің өнімділігін бағалау үшін қабылдағыштың жұмыс сипаттамасы қисығы астындағы ауданды (AUROC), Джини статистикасын және Андерсон Дарлинг статистикасын салыстырамыз. ROC қисығы екілік жіктеу мәселелерін бағалау үшін кеңінен қолданылатын құрал болып табылады [15]. Бұл әртүрлі шекті параметрлердегі сезімталдық пен ерекшеліктің графикалық көрінісі. AUROC қисығы неғұрлым үлкен болса, модель соғұрлым жақсы болады. Әдетте, өте жақсы модельдің ауданы 0,80-0,89 болады. 0,6-дан жоғары Джини коэффициенті жақсы модель екенін білдіреді. Колмогоров-Смирнов тесті (KS тесті) алгоритмнің моделінің екі класты қаншалықты ажырата

алатынын бағалайды.

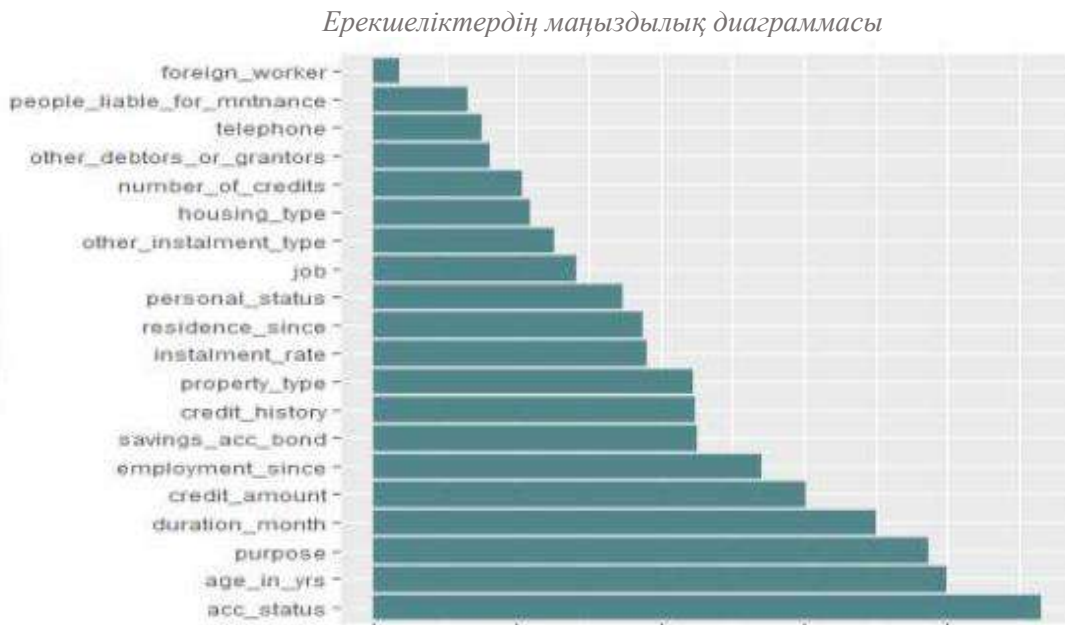
Деректердің сипаттамасы. Деректер жинағы 1000 жазбадан тұрады, оның 70%-ын машиналық оқыту алгоритмдерін жаттықтыруға бөлдік, ал 30%-ын тесттік сынамаға бөлдік. Негізгі мақсатымыз құрылған моделімздік дұрыс жұмыс жасауына көз жеткізу. Жалпы моделді оқытқанда деректермен шамадан тыс оқыту болмауы керек, ондай жағдайда модельдің дұрыс жұмыс жасауына күмін келтіретін боламыз. Қазіргі қоғамда несие алушы азаматтар көп, олардың төлем қабілеттеріне болжам жасау аса маңызды, сондықтан біз мақалада әрбір несие алушының 20 маңызды сипаттамалары бойынша өңдедік. Жалпы өңдеу процесін сипаттар болсақ жартылау құрылмалған деректер деректер қорында сақталса да болады немесе csv форматтан бірден өңдесекте болады, машиналық оқыту алгоритмдерінің дұрыс жұмыс жасауы үшін модельді жаттықтырамыз жоғарыда айтып өткендей содан кейін ғана тестік деректерді пайдаланып өңдейміз. Толық тізімі төменде 1-суретте берілген.

The image shows a screenshot of a data table with columns containing IDs, names, addresses, and other personal details. The text is small and partially illegible due to the resolution, but it represents a list of data points used for the study.

Сурет 1. Өңделетін деректер жиыны

Зерттеу нәтижелері

Шамадан тыс сәйкестікті болдырмау үшін, біз 10 рет крос-валидацияны орындаймыз. Модельдерде жеке тұлғалардың тек өте маңызды сипаттамалары ғана алынып өңделді. Өңдеу кезінде жалпы машиналық оқытудың 4 алгоритмі алынып ансамбль ретінде қолданылды және қайсы алгоритмдердің қанша көлемді деректерді өңдеуге беретін өнімділігі зерттелді. Жеке тұлғалардың маңызды сипаттамаларын бағалау 2-суретте көрсетілген.



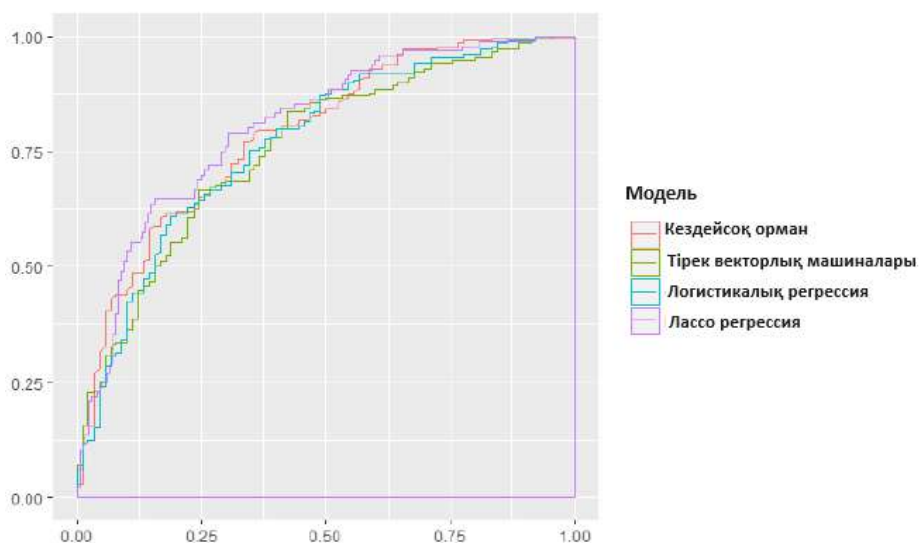
Сурет 2. Өңдеуге қажетті ең маңызды атрибуттар жиынтығы.

Джини коэффициентінің көп төмендеуі алынған сипаттамалардың (атрибуттардың) деректерді өңдеуде және оларды жіктегенде өте маңызды екенін көрсетеді. Біз алдыңғы 20 атрибуттың ішінен тағы өте маңызды деген 10 атрибутты таңдап алдық, себебі ол несие алушының деректерін өңдеп, шешім қабылдауда аса қажет және маңызды. Өңдеу нәтижелері төменде 1-кестеде берілген.

Кесте 1. Модель нәтижелерінің кестесі

Модель	AUC	KS	Gini
Логистикалық регрессия	74.76	42.07	53.55
Кездейсоқ орман	77.61	43.80	57.37
Тірек векторлық машинасы	74.80	42.20	51.60
Лассо регрессия	78.48	47.80	60.95

Қисық астындағы ауданды (AUC) пайдалана отырып, Lasso регрессия моделі жағдайлардың 78.48%-ын дұрыс жіктегені анық болды. Бұл жоғары пайыз регрессиялық модель несие алушыларды жіктеуде өте жақсы модель екенін білдіреді. Лассо регрессиядан кейін кездейсоқ орман моделі 77.61% көрсетті және дәстүрлі жіктеу моделі, логистикалық регрессия моделі арқылы бақыланды. Машиналық оқыту алгоритмдері дәстүрлі модельдерге қарағанда 4% жақсы нәтиже көрсетіп отыр. Қолданылған модельдердің сапасын төменде 3-суреттен бағалауымызға болады.



Сурет 3. Қолданылған модельдер үшін ROC қисықтарының салыстырмасы

ROC қисығы нақты шешімге сәйкес келетін сезімталдық пен ерекшелікті білдіреді. AUROC қисығы алгоритмнің ықтимал топтарды (жақсы және жаман) қаншалықты жақсы ажырата алатынын бағалайды. Нашар және жақсы несиенің екі класы арасында модельдің айтарлықтай айырмашылығы бар-жоғын тексеру үшін Колмогоров-Смирнов тесті жүргізіледі. Егер олар толығымен шашыраңқы болса, 100 мәні қайтарылады, бұл ұпай неғұрлым жоғары болса, модель екеуін жақсырақ ажыратады. 1-кестеде Лассо регрессиясының ең жоғары Колмогоров-Смирнов ұпайы 47,80 болғаны көрсетілген. Тірек вектор машиналары сызықты ядролы, Колмогоров-Смирнов тесті бойынша логистикалық регрессияға қарағанда жақсы нәтиже көрсетті. Джини - екілік классификация моделінің сәйкестік дәрежесін бағалайтын метрика. Басқа сынақтар сияқты, мән неғұрлым жоғары болса, модель соғұрлым жақсы болады. Бағалаудың барлық әдістеріне қарасақ, Лассо ең жақсы, одан кейін кездейсоқ орман, одан кейін сызықты регрессия және соңында тірек векторлық машина (сызықты) моделі екені анықталып отыр.

Дискуссия

Бүгінгі таңда адам санымен қоса деректер көлемі де артуда, сәйкесінше оларды сақтау мен қатар олардың деректерін өңдеу мәселелері өзекті болып отыр. Қаржы секторында машиналық оқыту алгоритмдерін қолдану жартылай құрылымданған деректерді өңдеуде сонымен қатар нәтижелердің дәлдігін анықтауда аса маңызды екенін көрсетіп отыр. Көп жағдайда алынған несиелер қайтарылмай қаржы ұйымдары зиян шегуде. Жеке тұлғалардың сипаттамалары негізінде болжам жасау қазіргі таңда аса маңызды болып отыр. Қаржы саласында оның ішінде ұзақ мерзімге ипотекалық несие алушы жеке тұлғаларға несие беру немесе бермеу туралы шешім шығаруда осы аталмыш машиналық оқыту алгоритмдерін пайдалану болжам нәтижелерінің дәлдігін көрсетіп отыр, сондай-ақ шешім болжам негізінде шешім қабылдауға оң ықпалын тигізіп отыр.

Қорытынды

Зерттеу жұмысының негізгі мақсаты деректерді интеллектуалды талдау негізінде әдістерді қолдану және бағалау болатын. Деректерді талдау негізінде несиелік скоринг үшін ең жақсы жіктеу алгоритмі ретінде Лассо регрессияны айтуға болады. Біздің нәтижелеріміз машиналық оқыту әдістері дәстүрлі логистикалық регрессия әдісінен асып түсетінін көрсетеді. Қаржылық институттарға жеке тұлғалардың деректерін өңдеу негізінде шешім қабылдау өте қажет екенін зерттедік. Машиналық оқыту алгоритмдері бүгінгі таңда шешім қабылдау да таптырмас құрал деп айтуымызға негіз бар. Біз осы әдістерді пайдалануды ұсынамыз және алгоритмдердің өнімділігін жақсарту үшін гибридті модельдерді де қолдануға болады.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

[1] *Machine Learning-Based Application for Predicting Risk of Type 2 Diabetes Mellitus (T2DM) in Saudi Arabia: A Retrospective Cross-Sectional Study* / A.Syed; T. Khan - *IEEE Access* 30 October 2020 <https://ieeexplore.ieee.org/document/9245498>

[2] *A data analytics approach to building a clinical decision support system for diabetic retinopathy: Developing and deploying a model ensemble* / M. Zolbanin, S. Piri, D. Delen, T. Liu - *Decision Support Systems Volume 101, September 2017, Pages 12-27* <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167923617300908>

[3] *Quality of Life and Glucose Control After 1 Year of Nationwide Reimbursement of Intermittently Scanned Continuous Glucose Monitoring in Adults Living With Type 1 Diabetes (FUTURE): A Prospective Observational Real-World Cohort Study* / S. Charleer, B. Broos, S. Fieuws - *Diabetes Care* 2020;43(2):389–397 <https://diabetesjournals.org/care/article/43/2/389/36133/Quality-of-Life-and-Glucose-Control-After-1-Year>

[4] *Implementation of a Web Application to Predict Diabetes Disease: An Approach Using Machine Learning Algorithm* / S. Dey, A. Hossain, Md. Rahman - *Published in 2018 21st International Conference of Computer and Information Technology (ICCIIT)* <https://ieeexplore.ieee.org/document/8631968>

[5] *Classification Of Diabetes Disease Using Support Vector Machine* / V. Anuja Kumari, R. Chitra - *March - April 2013 International Journal of Engineering Research and Applications*

[6] *Improve Classification Performance In Diabetes Prediction* / C. Chauhan, S. Karvande - http://www.oaijse.com/VolumeArticles/FullTextPDF/449_8.IMPROVE_CLASSIFICATION_PERFORMANCE_IN.pdf

[7] *Real-time crash prediction on freeways using data mining and emerging techniques* / J. You, J. Wang, J. Guo - *Journal of Modern Transportation* volume 25, pages 116–123 (2017) <https://link.springer.com/article/10.1007/s40534-017-0129-7>

[8] *Кондрашов Ю.Н. Анализ данных и машинное обучение на платформе MS SQL Server: учебное пособие* / Ю.Н. Кондрашов. – Москва : ПУСАЙНС, 2020. – 304 р.

[9] *Robert L. Learning Data mining with Python.* / L. Robert. – Birmingham : Packt Publishing, 2015. – 317 б.

[10] *Burns A. Real-Time Systems and Programming Language Ada, Real-Time Java and C, Real-Time POSIX* / A. Burns, A. - *Wellings University of Yor, 2009.* – 602 б.

[11] Williams R. *Real-Time Systems Development* / R. Williams - Waltham: Elsevier, 2006. – 450 б.

[12] Ian H. *Data mining Practical Machine Learning Tools and Techniques.* / H. Ian, F. Eibe, H. Mark, P. Christopher – Изд. 4-e – Cambridge : Todd Green, 2017. – 622 p.

[13] Jared D. *Big Data, Data mining and Machine Learning* / D. Jared – Hoboken : John Wiley & Sons, 2014. – 265 б.

[14] Darius M. *Data mining for genomics and proteomics Analysis of Gene and Protein Expression Data* / M. Darius - Hoboken: John Wiley & Sons, 2010. – 349

[15] Darkenbaev D. Big data processing on the example of credit scoring // *Journal of Problems of Informatics and Information Technology.* 2023. Vol. 3, No. 1. P. 50–61. doi:10.26577/i32jpcsit230

References

[1] *Machine Learning-Based Application for Predicting Risk of Type 2 Diabetes Mellitus (T2DM) in Saudi Arabia: A Retrospective Cross-Sectional Study* / A. Syed; T. Khan - *IEEE Access* 30 October 2020 <https://ieeexplore.ieee.org/document/9245498>

[2] *A data analytics approach to building a clinical decision support system for diabetic retinopathy: Developing and deploying a model ensemble* / M. Zolbanin, S. Piri, D. Delen, T. Liu - *Decision Support Systems* Volume 101, September 2017, Pages 12-27 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167923617300908>

[3] *Quality of Life and Glucose Control After 1 Year of Nationwide Reimbursement of Intermittently Scanned Continuous Glucose Monitoring in Adults Living With Type 1 Diabetes (FUTURE): A Prospective Observational Real-World Cohort Study* / S. Charleer, B. Broos, S. Fieuws - *Diabetes Care* 2020;43(2):389–397 <https://diabetesjournals.org/care/article/43/2/389/36133/Quality-of-Life-and-Glucose-Control-After-1-Year>

[4] *Implementation of a Web Application to Predict Diabetes Disease: An Approach Using Machine Learning Algorithm* / S. Dey, A. Hossain, Md. Rahman - Published in 2018 21st International Conference of Computer and Information Technology (ICIT) <https://ieeexplore.ieee.org/document/8631968>

[5] *Classification Of Diabetes Disease Using Support Vector Machine* / V. Anuja Kumari, R. Chitra - March - April 2013 International Journal of Engineering Research and Applications

[6] *Improve Classification Performance In Diabetes Prediction* / C. Chauhan, S. Karvande - http://www.oaijse.com/VolumeArticles/FullTextPDF/449_8.IMPROVE_CLASSIFICATION_PERFORMANCE_IN.pdf

[7] *Real-time crash prediction on freeways using data mining and emerging techniques* / J. You, J. Wang, J. Guo - *Journal of Modern Transportation* volume 25, pages 116–123 (2017) <https://link.springer.com/article/10.1007/s40534-017-0129-7>

[8] Kondrashov Yu. N. (2020) *Анализ данных и машинное обучение на платформе MS SQL Server [Data analysis and machine learning on the MS SQL Server platform: textbook]*. Yu. N. Kondrashov. Moscow: RUSAINS, 304. (In Russian)

[9] Robert L. *Learning Data mining with Python.* / L. Robert. – Birmingham : Packt Publishing, 2015. – 317 p.

[10] Burns A. *Real-Time Systems and Programming Language Ada, Real-Time Java and C, Real-Time POSIX* / A. Burns, A. - Wellings University of Yor, 2009. – 602 б.

[11] Williams R. *Real-Time Systems Development* / R. Williams - Waltham: Elsevier, 2006. – 450 б.

[12] Ian H. *Data mining Practical Machine Learning Tools and Techniques.* / H. Ian, F. Eibe, H. Mark, P. Christopher – Изд. 4-e – Cambridge : Todd Green, 2017. – 622 p.

[13] Jared D. *Big Data, Data mining and Machine Learning* / D. Jared – Hoboken : John Wiley & Sons, 2014. – 265 б.

[14] Darius M. *Data mining for genomics and proteomics Analysis of Gene and Protein Expression Data* / M. Darius - Hoboken: John Wiley & Sons, 2010. – 349.

[15] Darkenbaev D. Big data processing on the example of credit scoring // *Journal of Problems of Informatics and Information Technology.* 2023. Vol. 3, No. 1. P. 50–61. doi:10.26577/i32jpcsit230

G.N. Kazbekova^{1*}, N.M. Zhunisov¹,
A.N. Amanov¹, A.A. Abibullayeva¹, A.B. Aben¹

¹Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan
**e-mail: gulnur.kazbekova@ayu.edu.kz*

APPLICATION OF SWARA AND DNMA METHODS IN RECRUITING SOFTWARE

Abstract

Personnel selection is a complex, multi-criteria decision-making problem that involves both qualitative and quantitative factors. Despite various techniques being proposed across different industries, a robust method that adequately addresses uncertainty remains needed. This study introduces an integrated approach, combining the Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) and the Double Normalization-Based Multiple Aggregation (DNMA) methods. The proposed framework first employs the SWARA method to determine the importance of criteria, followed by the application of the DNMA method to rank candidates based on a sequential evaluation process. The goal of the study is to select the most suitable candidate from five applicants for a vacant position in a company within the participatory software sector. The criteria weights were primarily determined by the decision-maker using the SWARA method, with computer and software skills, work experience, teamwork adaptability, foreign language proficiency, and problem-solving skills identified as the five key criteria. The DNMA method was then used to assess the candidates' performance, and the results indicated that one of the candidates was the best fit for the position. When compared with similar studies in the literature, it was found that while many multi-criteria decision-making methods have been employed, the combination of SWARA and DNMA methods is novel. This study demonstrates the effectiveness of these methods in personnel selection, offering a new approach to the literature on decision-making processes.

Keywords: SWARA, Multi-criteria decision making, personnel selection, DNMA.

Г.Н. Казбекова¹, Н.М. Жунисов¹, А.Н. Аманов¹, А.А. Абибуллаева¹, А.Б. Абен¹

¹ Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан
**БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ САЛАСЫНДАҒЫ ПЕРСОНАЛДЫ ІРІКТЕУДЕ
SWARA ЖӘНЕ DNMA ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ**

Аңдатпа

Персоналды іріктеу- сапалық және сандық факторларды қамтитын, көп критерийлі шешім қабылдау мәселесі болып табылады. Өртүрлі салаларда ұсынылған көптеген әдістерге қарамастан, белгісіздік жағдайларын толық ескеретін сенімді әдіс әлі де қажет. Бұл зерттеу критерийлердің маңыздылығын анықтау үшін кезеңмен SWARA және DNMA әдістерін біріктірген кешенді тәсілі ұсынылады. Алдымен SWARA әдісі арқылы критерийлердің маңыздылығы анықталып, кейін DNMA әдісі қолданылып, персоналдар реттік бағалау негізінде сұрыпталады. Зерттеудің мақсаты — қатысушы бағдарламалық қамтамасыз ету саласында жұмыс істейтін компаниядағы бос орынға бес үміткердің ішінен ең қолайлысын таңдау. Критерийлердің салмағы шешім қабылдаушы тарапынан SWARA әдісімен анықталды, ал негізгі бес критерий ретінде компьютерлік және бағдарламалық дағдылар, жұмыс өтілі, топтық жұмысқа бейімділік, шет тілін білу және мәселелерді шешу қабілеті қабылданды. Үміткерлердің нәтижелерін бағалау үшін DNMA әдісі қолданылды және бір үміткердің бос орынға ең лайықты екендігі анықталды. Әдебиеттердегі ұқсас зерттеулермен салыстырғанда, көптеген көп критерийлі шешім қабылдау әдістері қолданылғанымен, SWARA мен DNMA әдістерінің үйлесімі жаңалық болып табылатыны анықталды. Бұл зерттеу осы әдістердің персоналды іріктеуде тиімді қолданылуын көрсетіп, шешім қабылдау процестері жөніндегі әдебиетке жаңа тәсіл енгізеді.

Түйін сөздер: SWARA, көп критерийлі шешім қабылдау, персоналды іріктеу, бағдарламалық қамтамасыз ету секторы, DNMA.

Г.Н.Казбекова¹, Н.М.Жунисов¹, А.Н.Аманов¹, А.А.Абибуллаева¹, А.Б.Абен¹

¹ Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г.Туркестан, Казахстан

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ SWARA И DNMA В ПОДБОРЕ ПЕРСОНАЛА В ОБЛАСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Аннотация

Подбор персонала - это сложная многокритериальная проблема принятия решений, которая включает в себя как качественные, так и количественные факторы. Несмотря на то, что в различных отраслях предлагаются различные методы, по-прежнему требуется надежный метод, который адекватно учитывает неопределенность. В этом исследовании представлен комплексный подход, сочетающий поэтапный анализ коэффициента оценки веса (SWARA) и методы множественной агрегации на основе двойной нормализации (DNMA). В предлагаемой системе сначала используется метод SWARA для определения важности критериев, а затем применяется метод DNMA для ранжирования кандидатов на основе последовательного процесса оценки. Цель исследования - выбрать наиболее подходящего кандидата из пяти претендентов на вакантную должность в компании, занимающейся разработкой программного обеспечения с широким участием. Весовые коэффициенты критериев были в первую очередь определены лицом, принимающим решения, с использованием метода SWARA, при этом в качестве пяти ключевых критериев были определены навыки работы с компьютером и программным обеспечением, опыт работы, способность к адаптации в команде, знание иностранного языка и навыки решения проблем. Затем для оценки эффективности работы кандидатов был использован метод DNMA, и результаты показали, что один из кандидатов лучше всего подходит на эту должность. При сравнении с аналогичными исследованиями, опубликованными в литературе, было обнаружено, что, хотя было использовано много многокритериальных методов принятия решений, комбинация методов SWARA и DNMA является новой. Данное исследование демонстрирует эффективность этих методов при отборе персонала, предлагая новый подход к литературе о процессах принятия решений.

Ключевые слова: SWARA, многокритериальное принятие решений, отбор персонала, DNMA

Main provisions

The research focuses on the application of the SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis) and DNMA (Decision-making Matrix Approach) methods to enhance recruitment software systems. The main idea is that these methods can significantly improve decision-making processes by evaluating and ranking candidates based on various criteria. The study concludes that the integration of SWARA and DNMA provides a more structured, efficient, and objective way of selecting the most suitable candidates, ultimately improving recruitment outcomes. The research demonstrates that these methods offer a reliable framework for dealing with the complexity and subjectivity often present in traditional hiring processes, ensuring better alignment with organizational needs.

Introduction

Personnel selection is a methodical decision-making process for selecting individuals from a pool of candidates whose qualifications best match the requirements of open positions. Because individual characteristics are complex and each candidate usually has their own advantages and disadvantages[1]. Choosing the right candidate for internal audit leaders is a challenge. This is mainly due to the lack of clearly defined selection criteria and methods for measuring the qualifications of the candidate. Too often, hiring managers use their intuition to identify the best candidates, which can lead to failure in selecting the right candidate[2]. Making the wrong choice can lead to impaired team collaboration, extra financial costs, lower productivity, and a damaged corporate reputation. On the other hand, scientific personnel selection has the ability to predict the future performance of potential employees (Salgado, 2017). For this purpose, MCDM methods are required to increase the accuracy of decision making. For this study, it was considered to recruit a software specialist to a company working in the field of information technologies, which continues to develop actively[3].

For this purpose, candidates are selected for the open position according to the criteria requested by the company. In this study, SWARA, a weighting method for employee selection, and DNMA, one of the multi-criteria decision-making methods, were chosen. The DNMA method proposes the most suitable alternatives to the company among the candidates according to the criteria requested by the company. To see how accurate the DNMA method is for selection, a comparison was made with widely studied multi-criteria decision making methods such as MARCOS, TOPSIS, CoCoSo, MABAC, TODIM, MACBETH, EDAS.

Human resource management (HRM) is crucial in increasing the efficiency and competitiveness of an organization [4]. For this reason, companies focus on their employees as the main source of success, given their knowledge, skills and motivation. However, hiring qualified candidates is crucial for success and various channels such as the internet, employment agencies, newspapers should be used to reach potential candidates [5]. Choosing the wrong candidate can adversely affect the image and success of the organization, making personnel selection a critical component of HRM.

Personnel selection involves identifying the candidate with the necessary knowledge and qualifications to fulfill the job requirements. Considering that the success of an organization depends on the characteristics of its employees, it is very important to choose the right person for sustainability. However, choosing the best personnel among many alternatives is a multi-criteria decision-making problem that requires simultaneous evaluation of several criteria [6,7].

Filling out the application forms in personnel selection is no longer sufficient when using traditional methods such as interviews and tests. Multi-criteria decision making (MCDM) methods allow more accurate evaluation of alternatives by considering various criteria [8]. In this study, it is aimed to select the best software personnel for a Turkish software and consultancy firm by using SWARA and DNMA methods.

The study includes literature review, hierarchical structure and application of methods, then results and a general evaluation [9]. A practical approach is presented in the selection of personnel, in which more than one criterion is taken into account, by calculating the criteria weights by SWARA method and by ranking the alternatives with DNMA method [10].

Research methodology

In the literature, it is possible to come across many studies from different fields in which MCDM methods are used (Esoy, 2021). In the following paragraphs, some personal selection studies using MCDM methods found in the literature are presented.

Ersoy (2021), in his study, tried to select the most suitable software personnel for a company working in the software industry by using entropy-based EDAS and CODAS methods. In the study, 5 alternative job candidates were evaluated by looking at 5 criteria. The weights of the criteria were determined using the entropy basis. In the EDAS and CODAS methods, criterion weights taken by the Entropy method were used [11].

Ulutaş (2020) proposes a Multi-Criteria Decision Making (MCDM) approach, which facilitates decision-making by choosing the most appropriate equipment to carry out logistics activities. He used the correlation coefficient and standard deviation (CCSD method) to determine the objective weights of the criteria. In addition, the semi-objective weights of the criteria considered were determined by the characteristic report analysis method based on the indifference threshold (ITARA) [12]. By combining the two methods in this way, he tried to specify the weights of the criteria more reliably. The final classification of alternatives used the compromise solutions (MARCOS) method to quantify and rank the alternatives [13]. A case study is conducted to demonstrate the feasibility of the proposed approach regarding the selection of the best manual stacker for a small warehouse.

In their study, Merdivenci (2020) used the entropy-based EDAS method to solve the personnel selection problem in logistics. Using this method, five logistics company candidates were evaluated according to four criteria. The criteria were first weighted with the Entropy method, and then the candidates were ranked with the EDAS method.

Samanlioğlu (2018) examined the recruitment process of the software department of a Turkish dairy company in his research and the problem of ranking employee candidates was solved as a multi-criteria group decision-making problem [14]. Fuzzy AHP and TOPSIS method, an integrated fuzzy MCDM method was applied to determine the uncertainty and uncertainty of process decisions.

Samanlioğlu (2018) selected the appropriate software candidate in his studies by integrating the Intuitive Fuzzy Additive Ratio Estimation Method (IF-ARAS) with bias measurement, advanced score function and IF additive operators [15]. In the developed methodology, criterion and decision expert (DE) weights were calculated based on the proposed IF deviation measurement method and heuristic fuzzy preference estimation method. Then the decision experts' decision is to combine the proposed method to avoid data loss.

It is often modeled as a multi-criteria decision making (MCDM) problem, due to the various qualitative and quantitative criteria that must be considered in personnel selection. Some studies have attempted to establish personnel selection models in a net-based decision-making environment (Jiting, 2022) [16]. The above and other personnel selection efforts are shown in Table 1 below.

Table 1. Application of MCDM methods for personnel selection

Author (Year)	Selection method	Weight determination method	Scenario
Samanlioğlu, F., Taşkaya, Y. E., Gülen, Ü. Ç., & Akbaş, E. (2018).	blurred TOPSIS	blurred AHP	Selection of IT specialist in the company
Karabasevic, D., Zavadskas, E. K., Stanujkic, D., Popovic, G., & Brzakovic, M. (2018)	EDAS	SWARA	Selection of IT systems support specialists
Nabeeh, N. A., Smarandache, F., Abdel-Basset, M., El-Ghareeb, H. A., & Aboelfetouh, A. (2019)	TOPSIS	AHP	
Huchang Liao, Xingli Wu. (2020)	MABAC PROMETHEE	BWM	Personnel selection in an IT company
Mishra, A. R., Sisodia, G., Pardasani, K. R., & Sharma, K. (2019)	Intuitive blurred ARAS	Deviation criterion approach	Outsourcing personnel selection in IT company
Ulutaş, A., Karabasevic, D., Popovic, G., Stanujkic, D., Nguyen, P. T., & Karaköy, Ç. (2020)	OCRA-G	PİPRECİA-G	Manager selection in a textile factory
Kilic, H. S., Demirci, A. E., & Delen, D. (2017)	IF-ELECTRE under intuitive blurry environment	IF-DEMATEL under intuitive blurry environment	Industrial engineer selection in an air filter manufacturing company
Lim, Y. R., Ariffin, A. S., Ali, M., & Chang, K. L. (2021)	TOPSIS	AHP	Live Streamer Selection
Uslu, Y. D., Yilmaz, E., & Yiğit, P. (2021)	MULTIMOORA	AHP	Selection of qualified managers in the health institution
Jiting Li, Renjie He, Tao Wang (2022)	PLEAS ve IFN'ler	LGBWM	Personnel selection in a Chinese state-owned company
Yel, İ., Sarucan, A., & Baysal, M. E. (2022)	Neutrosophic Z-Number clusters (NZN) and Fuzzy EDAS	AHP	Determination of software specialist for the analyst position in the participation bank

In this study, the method that will be used is the DNMA method, which is the ranking of alternatives and deciding on the best one. DNMA (Double Normalization based Multiple Aggregation) method is one of the new MCDM methods developed by Huchang Liao and Xingli Wu in 2019. The difference of the method from other MCDM methods is that the normalization process, which will be done only once, is performed twice (linear and vector normalization processes) in the DNMA method [17]. Thus, the shortcoming and disadvantage of a normalization operation to the DNMA method is intended to be compensated by the second normalization operation. Besides this feature, the DNMA method achieves sequencing of alternatives with three types of subcombination functions (full compensation-CCM, incomplete-UCM, incomplete-ICM compensators). Table 2 provides a structured comparison of various ranking methods based on utility value, focusing on several core characteristics that define how each method operates in multi-criteria decision-making (MCDM).

Table 2. Characteristics of ranking methods based on utility value

<i>CCC method</i>	<i>Normalization</i>	<i>Addition function</i>	<i>Criterion type</i>	<i>Criterion form</i>	<i>Theory</i>
<i>SMART</i>	<i>Linear</i>	<i>Arithmetic</i>	<i>Quantitative and Qualitative</i>	<i>Max, min</i>	<i>Addition</i>
<i>TOPSIS</i>	<i>Vektor</i>	<i>Arithmetic</i>	<i>Quantitative and Qualitative</i>	<i>Max, min</i>	<i>distance to the ideal</i>
<i>VIKOR</i>	<i>Linear</i>	<i>Arithmetic, max.</i>	<i>Quantitative and Qualitative</i>	<i>Max, min</i>	<i>distance to the ideal</i>
<i>MULTIMOORA</i>	<i>Vektor</i>	<i>Arithmetic, maximum, geometric</i>	<i>Quantitative and Qualitative</i>	<i>Max, min</i>	<i>Addition</i>
<i>Target-based TOPSIS</i>	<i>Linear</i>	<i>Arithmetic</i>	<i>Quantitative</i>	<i>Max, min, aim</i>	<i>distance to the ideal</i>
<i>Target-based VIKOR</i>	<i>Linear</i>	<i>Arithmetic, max.</i>	<i>Quantitative</i>	<i>Max, min, aim</i>	<i>distance to the ideal</i>
<i>Target-based MULTIMOORA</i>	<i>Linear</i>	<i>Arithmetic, maximum, geometric</i>	<i>Quantitative and Qualitative</i>	<i>Max, min, aim</i>	<i>Addition</i>
<i>DNMA</i>	<i>Vektor, Linear</i>	<i>Arithmetic, maximum, geometric</i>	<i>Quantitative and Qualitative</i>	<i>Maks, min, aim</i>	<i>distance to the ideal</i>

From Table 2 we can see that the common flaw of the current methods is that they remove the effects of different criteria dimensions based on only one normalization approach; this can skew the results as every normalization method may lose the original information to some extent. Also, calculating utility values by different aggregation operators is useful, but there is still a difficulty in comprehensively integrating the secondary utility values with the orderings of the alternatives to obtain the final ranking of the alternatives (Huchang, 2020). Multi-criteria decision making (MCDM) methods are often used to evaluate and prioritize candidates based on these criteria. These methods provide a systematic and objective approach to decision making by considering multiple criteria simultaneously and weighing their relative importance [18]. One study that uses MCDM methods to evaluate software engineering job candidates is "The Decision Making Framework for Candidate Selection in Software Engineering" by A. Mohamed and A. M. K. Sadiq. In this study, the authors identified six criteria for candidate evaluation: technical skills, teamwork and collaboration, communication skills, personality and behavior, work experience and education, and certification. They then used the Analytical Hierarchy Process (AHP) and the Order of Preference Technique by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) methods (Mohamed, 2019) to rank the candidates and evaluate

the effectiveness of the framework. Another study using MCDM methods to evaluate software developers is "Multi-criteria decision making approach for selecting software developers" by E. Atashpaz-Gargari et al. In this study, the authors identified nine criteria for candidate evaluation: technical skills, social skills, educational background, work experience, ability to adapt and learn, teamwork, communication skills, salary expectations, and personality. They then used the AHP and VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) (Atashpaz-Gargari, 2018) methods to rank the candidates and evaluate the effectiveness of the approach [19].

In general, technical skills and work experience are often considered the most important criteria for personnel selection in the software industry. However, the importance of other criteria such as teamwork, communication skills and adaptability should not be overlooked. By providing a comprehensive and objective approach to candidate evaluation and selection, MCDM methods can enable organizations to make informed decisions and recruit the candidates best suited to their needs.

Compared to other multi-criteria decision making methods such as EDAS, TOPSIS, PROMETHEE, PLEAS and ELECTRE, DNMA has several advantages that make it a superior choice for applications.

First, DNMA is a more robust method that is less affected by outliers and extreme values in the data. This is because the normalization step in DNMA uses the mean and standard deviation, which are more robust to extreme values compared to other normalization methods used in other methods.

Second, DNMA allows for more flexible weighting of different criteria that can be adjusted to the specific needs of the analysis. This is because DNMA uses a double normalization process that standardizes data from different sources and allows for easier comparison and weighting [20].

Third, DNMA is a more transparent method as it provides clear explanations of how the final score or metric is calculated. This can be important for decision-making processes that require a high degree of transparency and accountability.

Finally, DNMA is more computationally complex, making it more suitable for processing larger datasets or real-time decision-making applications. This is because the double normalization process in DNMA reduces the dimensionality of the data, which simplifies the aggregation process and reduces the computational burden.

Overall, the superiority of the DNMA method over other MCDM methods lies in its robustness, flexibility, transparency and computational efficiency, making it a viable choice for many different applications.

Results of the study

In this study, SWARA, DNMA method was used. SWARA method will be used for criterion weighting and DNMA method will be used to determine alternatives. SWARA, DNMA methods will be explained below.

SWARA method

The criterion weighting method, which has recently been used frequently among the criterion weighting methods, is the SWARA method (ÇAKIR, 2017). In 2010, Kersuliene, Zavadskas, and Turskis developed the SWARA method (Step Wise Weight Evaluation Rate Analysis), a MCDM method [21]. Due to its ease of use and the convenience of working with experts, it has been successfully applied to solve many problems until today. It is a method based on the SWARA method for assigning criterion weights. The SWARA method consists of the following steps after defining and creating the criteria for the decision-making process.

Step 1 Criteria should be given priority. In this step, experts rank the defined criteria in order of importance, for example most important first, least important last, and the criteria in between have a certain importance.

Step 2 s_j - Determines the comparative importance of the mean. Starting from the second-order criterion, it is necessary to determine their meanings as follows. If the s_j criterion is important, s_{j+1} is determined from 1 criterion.

Step 3 The coefficient k_j is calculated:

$$k_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ S_j & j < 1 \end{cases} \quad (1)$$

Step 4 Determine the recalculated weight q_j as follows:

$$q_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

Step 5 The calculation of the criterion weights (w_j) is given by the following equation (equation 3).

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^n q_k} \quad (3)$$

DNMA method

Step 1 Normalization. The values in the decision matrix will be normalized using the linear and vector normalization of the DNMA method first. Its normalization with linear normalization is determined by Equation (4), and its normalization with vector normalization is determined by Equation (5).

$$\tilde{x}_{ij}^{1N} = 1 - \frac{|x^{ij} - r_j|}{\max_i \{ \max x^{ij}, r_j \} - \min_i \{ \min x^{ij}, r_j \}} \quad (4)$$

$$\tilde{x}_{ij}^{2N} = 1 - \frac{|x^{ij} - r_j|}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x^{ij})^2 + (r_j)^2}} \quad (5)$$

Step 2 Determination of criterion weights.

The criteria weights are adjusted to provide a balance between the conflicting criteria. As it can be understood from this expression, criterion weights should be determined before using the method. Depending on the data structure, criterion weights can be calculated using objective or subjective weighting methods. This second step of the method consists of three stages.

(1) In Equation 6, the number of m criteria in the decision problem and the normalized deviation of c_j criteria are determined by σ_j .

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \left(\frac{x^{ij}}{\max x^{ij}} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\frac{x^{ij}}{\max x^{ij}} \right) \right)^2}{m}} \quad (6)$$

(2) The criteria use the standard deviation values found in relation(2) to normalize.

$$\omega_j^\sigma = \frac{\sigma_j}{\sum_j^n \sigma_j} \quad (7)$$

(3) Then the weights are arranged using Equation (8).

$$\tilde{\omega}_j = \frac{\sqrt{\omega_j^\sigma \cdot \omega_j}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{\omega_j^\sigma \cdot \omega_j}} \quad (8)$$

Step 3 Calculation of utility functions. It is calculated with the following utility functions for each alternative: The CCM (complete compensatory model) function is calculated by Equation(9).

$$u_1(a_i) = \sum_{j=1}^n \tilde{\omega}_j \cdot \tilde{x}_{ij}^{1N} / \max_j \tilde{x}_{ij}^{1N} \quad (9)$$

The UCM (un-compensatory model – incomplete compensatory model) function is calculated by Equation(10).

$$u_2(a_i) = \max_j \tilde{\omega}_j (1 - \tilde{x}_{ij}^{1N} / \max_j \tilde{x}_{ij}^{1N}) \quad (10)$$

The ICM (incomplete compensatory model) function is calculated by Equation(11).

$$u_3(a_i) = \prod_j (\tilde{x}_{ij}^{1N} / \max_j \tilde{x}_{ij}^{2N})^{\omega_j} \quad (11)$$

Step 4 Combining and sequencing utility functions. In this step, the CCM, UCM, ICM values calculated in the previous step are combined with Equation (12), that is, the Euclidean distance.

$$\begin{aligned} DN_i = & w_1 \cdot \sqrt{\varphi \cdot (u_1(a_i) / \max u_1(a_i))^2 + (1 - \varphi) \cdot \left(\frac{m - r_1(a_i) + 1}{m}\right)^2} - \\ & - w_2 \cdot \sqrt{\varphi \cdot (u_2(a_i) / \max u_2(a_i))^2 + (1 - \varphi) \cdot \left(\frac{m - r_2(a_i)}{m}\right)^2} + \\ & + w_3 \cdot \sqrt{\varphi \cdot (u_3(a_i) / \max u_3(a_i))^2 + (1 - \varphi) \cdot \left(\frac{m - r_3(a_i) + 1}{m}\right)^2} \end{aligned} \quad (12)$$

Here φ refers to the relative importance between the utility value and should be between $\varphi[0,1]$. The architects of the method have stated that the φ value is 0.5. Figure 1 shows the working scheme of the DNMA method proposed in this study.

Finally, the alternatives are sorted in descending order of their DN values. In other words, the alternative with the largest DN value is the best or preferred alternative (Ecer, 2020).

Discussion

The criteria used in personnel selection in the software industry vary depending on specific job roles and organizational requirements. However, some commonly used criteria include technical skills, problem-solving skills, communication skills, teamwork, adaptability, and work experience.

In this study, criteria were determined according to the literature in order to realize the most suitable personnel selection process in the software industry. Then, by interviewing the HR managers of a company operating in the software sector, information was obtained according to the criteria they considered important in this process. As a result of the researches in the literature, five main criteria that they consider important in the selection of personnel in the software sector have been determined. In the study, the job postings published by the company operating in the software field in Turkey were analyzed from the websites (kariyer.net, iskur.gov.tr, sahibinden.com, yenibiris.com). SWARA and DNMA methods were used to determine the software personnel needed in the software field. In the DNMA method, criterion weights obtained by the SWARA method were used.

In the study, five alternative candidates were evaluated according to five criteria. Microsoft Excel 2016 program was used for the application of SWARA and DNMA methods. The criteria used in the

application were selected from the job posting site by analyzing the criteria commonly used in personnel selection. These criteria were expressed in the study as K1 (computer and software skills), C2 (work experience), K3 (the ability to adapt to teamwork), K4 (foreign language knowledge), and C5 (problem solving skills). Five candidates for the software personnel required by the companies were not evaluated. Alternative candidates are expressed as A1, A2..., A5, respectively. Candidates were evaluated by the study author using a scale on a scale of 1 to 10. The criteria and results are given in Table 3. The hierarchical structure of the study is shown in Figure 1.

Table 3. Ranking of criteria and s_j value

Criteria Name	Order of importance	Ranking Criteria		Comparative Significance of Mean Value(s_j)
Computer and software skills (K1)	1	K1	1	
Work experience(K2)	3	K4	2	0,10
Ability to adapt to teamwork(K3)	5	K2	3	0,15
Foreign language knowledge (K5)	4	K5	4	0,20
Problem solving skills(K4)	2	K3	5	0,10

In the study, the weights of the criteria were calculated using the SWARA method. DNMA method results and alternatives are listed. SWARA and DNMA method results are given below.

SWARA Method Results. In this section, the weighting of the personnel selection criteria will be carried out with the SWARA method. The basic criteria to be considered in the selection of employees are determined by choosing among a number of criteria. First, the criteria are listed. The criteria are then listed in descending order from the most important criteria to the decision maker's rating. As seen in Table 3, according to the importance of the K4 criterion, K2 is in the 3rd place, K5 is in the 4th place, and K2 is in the 5th place. Then, starting from the 2nd order criterion to determine the value of "importance of comparing the mean value" (s_j); The criteria in the 2nd place and the criteria in the 1st place; The criterion in the 3rd place is compared with the criterion in the 2nd place. In this way, the criteria are; Starting with the second criterion, it is compared with the previous criterion. For example; K5(4th place) and K2(3rd place) criteria were compared in terms of importance. He stated that K2 is 20% more important than K5. This value is entered in the relevant column as the s_j value of K5. Table 3 shows the criteria, ranked criteria and s_j values. Table 4 shows the layout of the data in Table 3 and the calculation of parameters in the Excel software.

Table 4. Calculation of parameters

Criteria Name	Order of importance	Ranking Criteria		s_j	k_j	q_j	w_j
Computer and software skills (K1)	1	K1	1		1	1,000	0,256
Work experience(K2)	3	K4	2	0,10	1,1	0,909	0,233
Ability to adapt to teamwork(K3)	5	K2	3	0,15	1,15	0,791	0,202
Foreign language knowledge (K5)	4	K5	4	0,20	1,2	0,659	0,169
Problem solving skills(K4)	2	K3	5	0,20	1,2	0,549	0,140

We can see that the most important one among the calculated criteria in Table 4 is K1 with $w_1=0.256$. It has been revealed that K3 has the least importance among the criteria. The order of importance of the criteria calculated by the SWARA method was taken as $K1>K4>K2>K5>K3$.

DNMA Method Results

Table 5 shows the results of the weight values according to the calculation of the SWARA method.

Table 5. Personnel selection criteria

<i>Kriter</i>	<i>Kod</i>	<i>Optimization</i>	<i>Weight</i>
<i>Computer and software skills (K1)</i>	<i>K1</i>	<i>Max</i>	<i>0.256</i>
<i>Work experience(K2)</i>	<i>K2</i>	<i>Max</i>	<i>0.233</i>
<i>Ability to adapt to teamwork(K3)</i>	<i>K3</i>	<i>Max</i>	<i>0.202</i>
<i>Foreign language knowledge (K5)</i>	<i>K4</i>	<i>Min</i>	<i>0.169</i>
<i>Problem solving skills(K4)</i>	<i>K5</i>	<i>Min</i>	<i>0.140</i>

In order to determine the most suitable personnel for the software sector, the ratings of the personnel of 5 alternatives were determined according to 5 criteria, as seen in Table 6.

Table 6. Evaluations of alternative personnel

<i>Criteria</i>	<i>Computer and software skills</i>	<i>Work experience</i>	<i>Ability to adapt to teamwork</i>	<i>Foreign language knowledge</i>	<i>Problem solving skills</i>
	<i>Max</i>	<i>Max</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Min</i>
<i>A1</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>1</i>	<i>7</i>	<i>2</i>
<i>A2</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>5</i>
<i>A3</i>	<i>4</i>	<i>3</i>	<i>7</i>	<i>5</i>	<i>3</i>
<i>A4</i>	<i>8</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>2</i>	<i>6</i>
<i>A5</i>	<i>5</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>

Step 1 Normalization. The first thing to do is to normalize the evaluations. Therefore, it is linearly normalized by Equation (4) results in Table 7 below.

Table 7. Linear normalization results

<i>Criteria</i>	<i>K1</i>	<i>K2</i>	<i>K3</i>	<i>K4</i>	<i>K5</i>
<i>A1</i>	<i>0,1667</i>	<i>1,0000</i>	<i>0,0000</i>	<i>0,0000</i>	<i>1,0000</i>
<i>A2</i>	<i>0,0000</i>	<i>0,0000</i>	<i>0,3333</i>	<i>1,0000</i>	<i>0,2500</i>
<i>A3</i>	<i>0,3333</i>	<i>0,3333</i>	<i>1,0000</i>	<i>0,4000</i>	<i>0,7500</i>
<i>A4</i>	<i>1,0000</i>	<i>0,6667</i>	<i>0,5000</i>	<i>1,0000</i>	<i>0,0000</i>
<i>A5</i>	<i>0,5000</i>	<i>0,0000</i>	<i>0,1667</i>	<i>0,8000</i>	<i>0,5000</i>

Linear normalized results are used for CCM vein UCM and vector normalization is used for ICM. The vector normalization calculation is calculated as shown in Equation 5, and the results are shown in Table 8 below.

Table 8 Vector normalization results

<i>Criteria</i>	<i>K1</i>	<i>K2</i>	<i>K3</i>	<i>K4</i>	<i>K5</i>
<i>A1</i>	<i>0,6294</i>	<i>1,0000</i>	<i>0,4697</i>	<i>0,4870</i>	<i>1,0000</i>
<i>A2</i>	<i>0,5553</i>	<i>0,6707</i>	<i>0,6464</i>	<i>1,0000</i>	<i>0,6906</i>
<i>A3</i>	<i>0,7035</i>	<i>0,7805</i>	<i>1,0000</i>	<i>0,6922</i>	<i>0,8969</i>
<i>A4</i>	<i>1,0000</i>	<i>0,8902</i>	<i>0,7348</i>	<i>1,0000</i>	<i>0,5874</i>
<i>A5</i>	<i>0,7776</i>	<i>0,6707</i>	<i>0,5581</i>	<i>0,8974</i>	<i>0,7937</i>

Step 2 Fixing the criterion weights. In the first study of this step, the standard deviation is calculated using Equation (3). Standard deviations can be found with a program such as IBM SPSS, Excel (ECER, 2020). Table 9 shows standard deviation values.

Table 9. Standard deviations

σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_5	Toplam
0,2574	0,2332	0,2942	0,2770	0,2357	1,2975

In the second step of the 2nd step, the standard deviation values should be normalized according to Equation (4). Values at this stage are shown in Table 10.

Table 10. Normalized standard deviation values

ω_1^σ	ω_2^σ	ω_3^σ	ω_4^σ	ω_5^σ
0,1984	0,1798	0,2267	0,2135	0,1817

Finally, the weights are determined using Equation (5). Table 11 shows the weight values determined.

Table 11. Adjusted weight values

$\tilde{\omega}_1$	$\tilde{\omega}_2$	$\tilde{\omega}_3$	$\tilde{\omega}_4$	$\tilde{\omega}_5$
0,2268	0,2159	0,2425	0,2353	0,2171

Step 3. Calculation of utility functions: In this step, the CCM, UCM and ICM utility functions are calculated using Equation (6), Equation (7) and Equation (8). The rankings according to the CCM, UCM and ICM utility function values obtained in this step are shown in Table 12.

Table 12. CCM, UCM and ICM values

Alternatives	CCM	Descending order	UCM	Descending order	ICM	Descending order
A1	0,4708	4	0,2442	1	0,1440	5
A2	0,3704	5	0,2425	3	0,1663	4
A3	0,6470	2	0,1617	5	0,3409	2
A4	0,7274	1	0,2424	4	0,3843	1
A5	0,5633	3	0,2431	2	0,2345	3

Step 4 Combining and sequencing utility functions. Using the results obtained in step 3, the alternatives will be ranked by Equation (12). After obtaining the performance values of the alternatives, the ranking will be made from the alternative with the highest value to the alternative with the lowest value. The performance values and rankings of the alternatives are shown in Table 13.

Table 13. Performance values and rankings of alternatives

Alternatives	Values	Rankings
DN1	0,7176	4
DN2	0,6974	5
DN3	0,8952	2
DN4	0,9289	1
DN5	0,7847	3

As shown in Table 14, alternatives are followed by A4, A3, A5, A1, A2, respectively, according to their values. A4 is the best performing and most suitable staff selected for the vacant position of the company. Figure 1 shows the performance results of the alternatives graphically below.

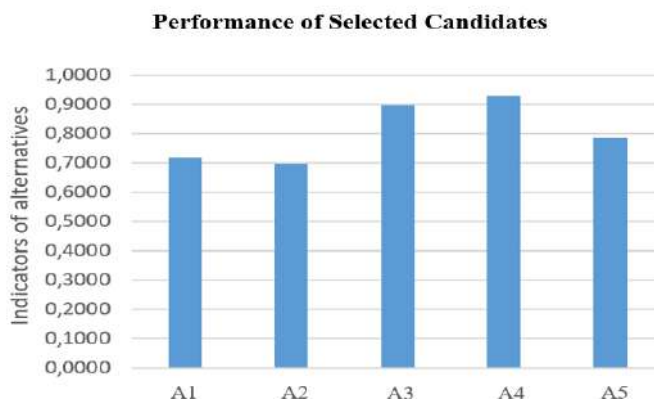


Figure 1. Performances of the most suitable personnel for the company

If we compare the results obtained from the DNMA method with other MCDM methods, we will see the following results: TOPSIS, CoCoSo, TODIM and DNMA methods have calculated the same results for all alternatives, MARCOS and MACBETH have calculated the same results, and MABAC and EDAS other MCDM methods have calculated slightly different results.

Table 14. Comparison of the results of the DNMA method with other MCDM methods

Method	A1	A2	A3	A4	A5
MARCOS	3	5	2	1	4
TOPSIS	4	5	2	1	3
CoCoSo	4	5	2	1	3
MABAC	3	4	2	1	5
TODIM	4	5	2	1	3
MACBETH	3	5	2	1	4
EDAS	1	3	4	2	5
DNMA	4	5	2	1	3

For the A4 alternative, which was shown by the DNMA method for the selection of the most suitable personnel, which is our aim, other MCDM methods showed the same results except for the EDAS method. The results in Table 10 are shown graphically in Figure 2.

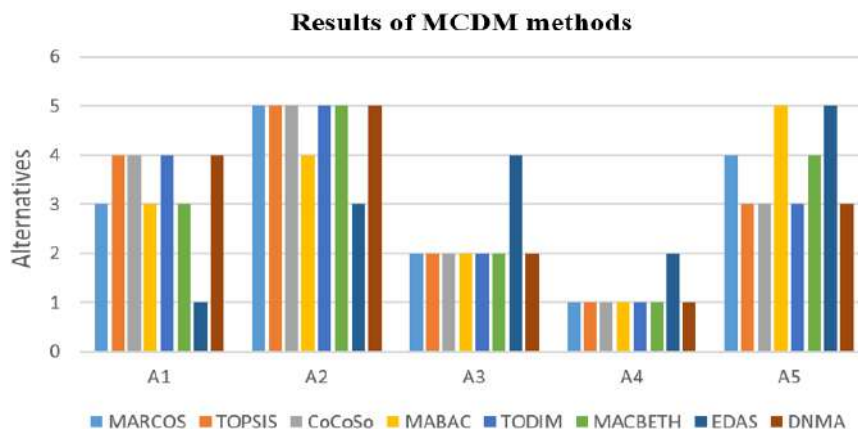


Figure 2. Performance results of MCDM methods for alternatives

Seperman and Kedall Tests

To see the suitability and applicability of 8 MCDM methods to select the best personnel in the study, they were compared using Seperman and Kedall criteria[21].

To compare the DNMA method with other methods using the Spearman and Kendall criteria, we need to calculate the correlation coefficients between the rankings generated by the DNMA and the rankings generated by each of the other methods. The correlation coefficients will tell us how similar the rankings are and whether there is a meaningful relationship between them.

To calculate the correlation coefficients, we will convert the ranks to ranks (i.e. replace values with ordinal orders) and then apply the Spearman and Kendall correlation formulas. The results are shown in Table 15 and Table 16 below.

Table 15. Spearman correlation coefficients

<i>Method</i>	<i>Spearman coefficient</i>
MARCOS	0.7
TOPSIS	0.8
CoCoSo	0.8
MABAC	0.6
TODIM	0.8
MACBETH	0.7
EDAS	0.5
DNMA	1.0

Table 16. Kendall correlation coefficients

<i>Method</i>	<i>Kendall coefficient</i>
MARCOS	0.5
TOPSIS	0.6
CoCoSo	0.6
MABAC	0.4
TODIM	0.6
MACBETH	0.5
EDAS	0.3
DNMA	1.0

When DNMA is compared with other methods, both Spearman and Kendall coefficients show that DNMA is most similar to TOPSIS, CoCoSo and TODIM and least similar to EDAS. In general, Spearman correlation coefficients are higher than Kendall correlation coefficients, indicating stronger relationships between rankings. After calculating the rankings for each alternative according to the given criteria, we can conclude that the DNMA method outperforms the value-based methods in terms of consistency and stability of the rankings. Both Spearman and Kendall criteria show that the DNMA method has the highest correlation and agreement with other methods [22,23].

Conclusion

In this study, SWARA and DNMA methods, which are among the MCDM methods, were integrated in the selection of recruiters for an open position in a software company. The criteria to be taken first in the recruitment process of the candidate personnel are respectively defined as computer and software skills, work experience, ability to adapt to teamwork, foreign language knowledge, and problem solving skills. In this study, first of all, the importance levels were calculated according to the criteria determined by the SWARA method.

According to the SWARA method, the five criteria that are important are respectively K1-computer and software skills (0.256), K2-problem solving skills (0.233), P3-work experience, K4-

foreign language knowledge (0.169), K5-the ability to adapt to teamwork (0.140). defined as. After calculating with the SWARA method, the best alternative among the five candidates was searched by the DNMA method. According to the results of this method, it was determined that the most suitable candidate for the said position was A4. As a result of the literature review, it is thought that the studies on the integrated use of SWARA and DNMA methods in the recruitment process will contribute to the relevant literature, since there is very little use. It is hoped that SWARA and DNMA methods will be used more together in the future, both in personnel and in research in other fields.

This research proposes a decision-making system in a process where software companies create a form for applicants when they post job postings for open positions, and companies rank candidates from 1 to 10 according to their own criteria. This system will allow applicants to evaluate the criteria through a web-based system using the DNMA decision making method, and will save time for companies. In this way, companies will be able to make more accurate and efficient decisions when selecting the most suitable candidates.

References

- [1] Adafin, J., Johnson, R., Rotimi, J. O. B., & Wilkinson, S. Risk impact assessments in project budget development: Architects' perspectives. *Architectural Engineering and Design Management*, 2016, 12(3), 189–204. <https://doi.org/10.1080/17452007.2016.1143266>
- [2] Atashpaz-Gargari, E., Lucas, C., & Tootooni, B. Multi-criteria decision-making approach for selecting software developers. *Journal of Systems and Software*, 2018, 138, 83-98. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.12.010>
- [3] Baysal, M. E., Sarucan, A., Büyükožkan, K., & Engin, O. Artificial bee colony algorithm for solving multi-objective distributed fuzzy permutation flow shop problem. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2021, 42(1), 439-449.
- [4] Baysal, M. E., Sarucan, A., Büyükožkan, K., & Engin, O. Artificial bee colony algorithm for solving multi-objective distributed fuzzy permutation flow shop problem. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2021, 42(1), 439-449.
- [5] Cakir, E. Determination of criterion weights by SWARA-Copeland method: Application in a production company. *Adnan Menderes University Journal of Social Sciences Institute*, 2017, 4(1), 42-56.
- [6] Demir Uslu, Y., Altun, U. & Yilmaz, E. Evaluation of Green Human Resources Management Functions in terms of Healthcare Businesses by Fuzzy AHP Method . *Journal of Management and Economics*, 2022, 29 (3), 603-621.
- [7] Ecer, F. *Multi-criteria decision making: A comprehensive approach from the past to the present*. Ankara: Seçkin Bookstore, 2020.
- [8] Ersoy, Y. Personnel Selection in the Software Industry by Using Entropy-Based EDAS and CODAS Methods. *Journal of Vocational and Social Sciences of Turkey*, 2021, 3(6), 36-49.
- [9] Huchang Liao, Xingli Wu. DNMA: A double normalization-based multiple aggregation method for multi-expert multi-criteria decision making. *Omega*, 2020, Volume 94 <https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.04.001>
- [10] Jiting Li, Renjie He, Tao Wang A data-driven decision-making framework for personnel selection based on LGBWM and IFNs. *Applied Soft Computing*, 2022, 126, 109227. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.109227>
- [11] Karabasevic, D., Zavadskas, E. K., Stanujkic, D., Popovic, G., & Brzakovic, M. An approach to personnel selection in the IT industry based on the EDAS method. *Technological and Economic Development of Economy*, 2018, 24(6), 2121-2135.
- [12] Kilic, H. S., Demirci, A. E., & Delen, D. An integrated decision analysis methodology based on IF-DEMATEL and IF-ELECTRE for personnel selection. *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, 2017, 28(1-2), 105-123. Retrieved from <https://www.oldcitypublishing.com/journals/jmvlsc-home/jmvlsc-issue-contents/jmvlsc-volume-28-number-1-2-2017/jmvlsc-28-1-2-p-105-123/>
- [13] Lim, Y. R., Ariffin, A. S., Ali, M., & Chang, K. L. A Hybrid MCDM Model for Live Streamer Selection Via Fuzzy Delphi Method, AHP and TOPSIS. *Applied Sciences*, 2021, 11(19), 9322. <https://doi.org/10.3390/app11199322>

[14] Merdivenci F. & Oğuz S. *Personnel selection with entropy-based edas method: an application in logistics industry*. *Gümüşhane University Institute of Social Sciences Electronic Journal*, 2020, 11(3), 615-624.

[15] Mishra, A. R., Sisodia, G., Pardasani, K. R., & Sharma, K. *Multi-criteria IT personnel selection on intuitionistic fuzzy information measures and ARAS methodology*. *International Journal of Intelligent Systems*, 2019, 34(1), 114-134.

[16] Mohamed, A., & Sadiq, A. M. K. *A decision-making framework for candidate selection in software engineering*. *Journal of Software: Evolution and Process*, 2019, 31(5), e2165. <https://doi.org/10.1002/smr.2165>

[17] Nabeeh, N. A., Smarandache, F., Abdel-Basset, M., El-Ghareeb, H. A., & Aboelfetouh, A. *An Integrated Neutrosophic-TOPSIS Approach and Its Application to Personnel Selection: A New Trend in Brain Processing and Analysis*. *IEEE Access*, 2019, 7, 29734-29744. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2899841>

[18] Nurdiono, N., & Gamayuni, R. R. *The effect of internal auditor competency on internal audit quality and its implication on the accountability of local government*. *European Research Studies Journal*, 2018, 21(4), 426-434

[19] Salgado, J. F., & De Fruyt, F. (2017). *Personality in personnel selection*. *The Blackwell Handbook of Personnel Selection*, 2017, pp. 174-198. Blackwell Publishing Ltd.

[20] Samanlıoğlu, F., Taşkaya, Y. E., Gülen, Ü. Ç., & Akbaş, E. *Fuzzy AHP-TOPSIS Based Group Decision Making Approach in IT Personnel Selection*. *International Journal of Fuzzy Systems*, 2018, 20, 1576-1591. <https://doi.org/10.1007/s40815-018-0474-7>

[21] Ulutaş, A., Karabasevic, D., Popovic, G., Stanujkic, D., Nguyen, P. T., & Karaköy, Ç. *Development of a New Integrated CCSD-ITARA-MARCOS Decision Making Approach for Stacker Selection in a Logistics System*. *Mathematics*, 2020, 8(10), 1672. <https://doi.org/10.3390/math810167>

[22] Uslu, Y. D., Yılmaz, E., & Yigit, P. *Developing qualified personnel selection strategies using MCDM approach: A university hospital practice*. In *Strategic Outlook in Business and Finance Innovation: Multidimensional Policies for Emerging Economies*, 2021, pp. 212-225, Hershey, PA: IGI Global.

[23] Yel, İ., Sarucan, A., & Baysal, M. E. *Determination of Competencies with Fuzzy Multi-criteria Decision Making Methods for Determining the Development Program for Analyst Position in a Participation Bank*. In *Intelligent and Fuzzy Systems: Digital Acceleration and The New Normal-Proceedings of the INFUS 2022 Conference*, 2022, Volume 1, 425-432

Sh. Mussiraliyeva¹ , M. Bolatbek¹ , Sh. Temirgaziyeva^{1*} 

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: temirgaziievash@gmail.com

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR GRAPHICAL DESTRUCTIVE CONTENT ANALYSIS

Abstract

Social media platforms play an important role in facilitating the spread of extremism by influencing people's views, opinions, and perceptions. These platforms are increasingly used by extremist elements to spread propaganda, radicalize and attract young people. Therefore, research on the detection of extremism on social media platforms is necessary to prevent its consequences and negative consequences. It is very important to conduct a comprehensive and Comparative Study of data sets, classification methods, and screening methods using the internet extremism detection tool. The purpose of this research is to create a system for identifying ISIS and Al – Qaeda flags from images. CNN was implemented by expanding and training data sets using deep learning networks. In the course of this study, we developed a system for identifying the flags of extremist groups using images. In addition, a solution was found to increase the size of the data set. The data set contains 1,400 images, half of which are the " Al-Qaeda " flag and half are the " ISIS " flag. In addition, 2 convolutional and one fully connected layer were used to recognize the " ISIS " and " Al-Qaeda " flags. As the relevance of the work, it should be noted that the convolutional network model of CNN is trained using deep learning, that is, training based on neural networks. Novelty of the work: obtaining the highest value of the accuracy indicator using a new data set using the model classification method. The study is devoted to the study and application of deep learning methods aimed at solving the problems of identifying potentially dangerous information on the internet. With the proposed method, a 95% indicator of flag recognition from the image was achieved. The result of the proposed study can be of great help in recognizing ISIS and Al-Qaeda flags and preventing terrorist activities..

Keywords: ISIS, Al-Qaeda, social networks, CNN, extremism, flag.

Ш. Мусиралиева¹, М. Болатбек¹, Ш. Темиргазиева¹

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., Қазақстан

ГРАФИКАЛЫҚ ДЕСТРУКТИВТІ МАЗМҰНДЫ ТАЛДАУ ӘДІСІН ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа

Әлеуметтік медиа платформалары адамдардың көзқарастарына, пікірлеріне және қабылдауларына әсер ету арқылы экстремизмнің таралуын жеңілдетуде маңызды рөл атқарады. Бұл платформаларды экстремистік элементтер үгіт-насихат тарату, радикалдандыру және жастарды тарту үшін көбірек қолданады. Сондықтан әлеуметтік медиа платформаларында экстремизмді анықтау бойынша зерттеулер оның салдары мен жағымсыз салдарының алдын алу үшін қажет. Интернеттегі экстремизмді анықтау құралын қолдана отырып, мәліметтер жиынтығын, жіктеу әдістерін және скрининг әдістерін жан-жақты және салыстырмалы түрде зерттеу өте маңызды. Бұл зерттеудің мақсаты – кескіндерден ISIS және Al-Qaeda туларын анықтау жүйесін құру. CNN терең оқыту желілерін қолдана отырып деректер жиынтығын кеңейту және оқыту арқылы жүзеге асырылды. Осы зерттеу барысында, кескіндер арқылы экстремистік топтардың жалауларын анықтайтын жүйені әзірледік. Сонымен қатар, деректер жиынтығының көлемін ұлғайтуға арналған шешім табылды. Деректер жиынтығында 1400 кескін бар, олардың жартысы "Al-Qaeda" жалауы, жартысы "ISIS" жалауы. Сонымен қатар, "ISIS" және "Al-Qaeda" жалауларын тану үшін 2 конволюциялық және бір толық қосылған қабат пайдаланылды. Жұмыстың өзектілігі ретінде CNN-нің конволюциялық желілік моделі терең оқытуды, яғни нейрондық желілерге негізделген оқытуды қолдана отырып оқытылғанын атап өткен жөн. Жұмыстың жаңалығы: модельді жіктеу әдісін қолдана отырып, жаңа деректер жиынтығын пайдалана отырып, дәлдік көрсеткішінің ең жоғары мәнін алу. Зерттеу ғаламтордағы ықтимал қауіпті ақпараттарды анықтау

мәселелерін шешуге бағытталған терең оқыту әдістерін зерттеуге және қолдануға арналған. Ұсынылған әдіс арқылы кескіннен туды танудың 95% көрсеткішіне қол жеткізілді. Ұсынылған зерттеу нәтижесі ISIS пен Al-Qaeda жалауларын тануға және террористік әрекеттердің алдын алуға үлкен көмек бола алады.

Түйін сөздер: ISIS, Al-Qaeda, әлеуметтік желілер, CNN, экстремизм, ту.

Ш. Мусиралиева¹, М. Болатбек¹, Ш. Темиргазиева¹

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

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ГРАФИЧЕСКОГО ДЕСТРУКТИВНОГО КОНТЕНТ-АНАЛИЗА

Аннотация

Платформы социальных сетей играют важную роль в облегчении распространения экстремизма, влияя на взгляды, мнения и восприятие людей. Эти платформы все чаще используются экстремистскими элементами для распространения пропаганды, радикализации и привлечения молодежи. Поэтому исследования по выявлению экстремизма на платформах социальных сетей необходимы для предотвращения его последствий и негативных последствий. Всестороннее и сравнительное исследование наборов данных, методов классификации и методов скрининга с использованием онлайн-инструмента обнаружения экстремизма имеет решающее значение. Цель этого исследования – создать систему обнаружения флагов ИГИЛ и Аль-Каеда на изображениях. CNN был реализован путем расширения наборов данных и обучения с использованием сетей глубокого обучения. В ходе этого исследования мы разработали систему для обнаружения флагов экстремистских групп с помощью изображений. Кроме того, было найдено решение для увеличения размера набора данных. Набор данных содержит 1400 изображений, половина из которых – флаг "Al-Qaeda", а половина – флаг "ISIS". Кроме того, для распознавания флагов "ISIS" и "Al-Qaeda" использовались 2 сверточных и один полностью подключенный слой. В качестве актуальности работы следует отметить, что сверточная сетевая модель CNN была разработана с использованием глубокого обучения, то есть обучения, основанного на нейронных сетях. Новизна работы: получение максимального значения показателя точности с использованием нового набора данных с использованием метода классификации модели. Исследование посвящено изучению и применению методов глубокого обучения, направленных на решение проблем обнаружения потенциально опасной информации в интернете. С помощью предложенного метода удалось добиться 95% узнаваемости флага по изображению. Предлагаемый результат исследования может оказать большую помощь в распознавании флагов ИГИЛ и Аль-Каеды и предотвращении террористической деятельности.

Ключевые слова: ISIS, Al-Qaeda, социальные сети, CNN, экстремизм, флаг.

Main provisions

This research focuses on the identification of extremist symbols, specifically the flags of ISIS and Al-Qaeda, from images using deep learning techniques. A convolutional neural network (CNN) was employed, including two convolutional layers and one fully connected layer, to accurately classify the two types of flags. The dataset, consisting of 1,400 images, was expanded through image augmentation to improve model performance. As a result, the model achieved high accuracy in distinguishing between the two classes. The study demonstrates the effectiveness of CNN-based models in detecting potentially harmful content on social media and contributes to the prevention of extremist propaganda online.

Introduction

Social networking has now become a necessity for the world community. Every day, 2.5 quintillion bytes of data are processed around the world. A quintillion is a number two levels above a trillion, and a quadrillion is halfway between a quintillion and a trillion. This means that the world consumes so much data production in one day. Most of this data is known to be used for social media, email and Google activities. Internet users use up to 205 billion bytes of e-mail. Facebook collects 4.3 billion bytes of data per day, Instagram generates 3.6 billion bytes of data per day, and twitter collects up to 500 million bytes of data per day. And YouTube accesses 4 million bytes of data per day [1]. With billions of registered users, social media platforms offer a wide range of outreach

activities. Hence, the mass media is convenient for the extremist group to promote their harmful ideology. These extremist groups share violent content and hateful messages to spread their agenda in radicalization, recruitment and propaganda [2]. Extremist organizations such as the Islamic State of Iraq and Syria (ISIS) and Al Qaeda currently use social media platforms to promote, radicalize and recruit young people. A social media tool used by ISIS in Syria to recruit new members from around the world. ISIS managed to recruit 20,000 foreign fighters through social networks, 20 percent of which came from the West.

As the amount of data on social media has grown exponentially, manual detection of radical content has become increasingly difficult. Therefore, an effective automatic method of identifying extremism is urgently needed. In addition, automatic detection of extremist profiles on social media has become a major interest and top priority of governments and counter-terrorism organizations in combating terrorist social media accounts. Therefore, the creation of information technology resources to identify cyberterrorists will help to counter extremism on the Internet [3].

Literature review

There are no definitions of the term "extremism" in the literature, as well as a number of consistent views or a universally accepted definition in the government [4]. This is not surprising, since there is no consensus among researchers and governments on the definition of the term "terrorism", which is a much less nuanced concept compared to the concept of extremism [5]. However, governments and other agencies have proposed definitions of extremism that have the following characteristics: first, an emphasis on the political, social and religious dimensions of extremism; second, to position the "extremist" as an individual or entity that actively opposes a context-dependent set of values and norms (e.g., democracy in the UK) [6]; and third, to recognize that to a certain extent extremism - and the related concept of "radicalization" - can lead to violence and, in extreme cases, acts of so-called "terrorism"[7].

One of the main challenges associated with defining extremism relates to the different contexts in which extremists are perceived. For example, the Ministry of the Interior of Great Britain [8]. The Counter-Extremism Strategy defines extremism as "overt or active opposition to our core values, including democracy, the rule of law, individual freedom, respect and tolerance for different faiths and beliefs". In contrast, Sharma [9] defined extremism as "... the extent to which violence is advocated against out-group members based on their affiliation to achieve [religious, political, or social] goals." In particular, the last definition differs in considering extremism as something related to violence (more precisely, terrorism). In contrast, the former definition recognizes extremist activities that do not necessarily lead to violence. Both definitions suggest that conceptualizations of extremist behavior may vary depending on the nature of the outgroup and the ingroup, as well as the normative values of the ingroup.

Given the above issues, it is clear that the diversity in available definitions of extremism reflects the complex, nuanced, context-dependent and multifaceted nature of the term. Another difficulty in defining these terms is that for some authors the term "extremism" is used synonymously with the terms "terrorism" and "radicalization", while for other authors these terms are considered to be related but separate [10]. For example, according to Sharma's definition, due to the link between violence and terrorism [11] all extremists are terrorists – or at least people who support terrorism. However, according to the Home Office definition, extremism is one of the many possible causes of terrorism. Regarding the relationship between extremism and radicalization, some scholars use the terms interchangeably, while others suggest that radicalization refers to the process by which an individual acquires behaviors, emotions, and beliefs that can be considered extremist.

Since the creation of profiles for online extremism is the main goal of this study, it is also worth paying attention to the religious, social and political dimensions of extremism. These dimensions are immediately noteworthy because in some cases individuals are radicalized along political lines (ie, hold extremist beliefs), while others are radicalized along religious lines, or even regarding social issues. Although each of these dimensions of extremism share common features (ie, because an

individual's religious, social, or political beliefs, emotions, and behaviors are "extreme"), the nature of each dimension is different [12]. M. Fernandez et al. in 2020 divided the online research related to extremism into three types: analysis, detection and prediction. This survey is about communication and the radicalization process. The authors also address the details of automatically identifying extremists and predicting content adoption. This review examines the lack of validated data, the lack of collaboration among researchers, the evolution of extremist language, and the lack of ethical perspectives in online research on identifying extremism [13].

M. Hashemi et al. in their 2019 research, presented the first attempt to use machine learning to recognize extremist images on web pages and flag them as symbolic propaganda. From August 2015 to September 2018, a CNN trained using 120,000 images with a generalization accuracy of 86% was used to classify 1.2 million suspicious VEO images. ISIS was 38 times more active in online propaganda than other VEOs. Most of the images are intended to condone acts of violence. In their research, they explain the massive increase in visual propaganda on the Internet and instructions for such attacks by ISIS. The study found that zero-padding is more efficient in terms of accuracy and time performance than interpolation for resizing smaller images to a fixed size for input into a CNN [14]. Y. Karimi et al. used the Python Selenium package to download images matching keywords. The photos are classified into several categories (for example, a news article focusing on a religious topic) [15]. Several pre-trained models from the PyTorch library in Python were compared to build the classifier, including networks with 18 and 34 layers (ResNets) and AlexNet [16]. The image classifier was trained on 963 Google Images and tested on 190 randomly selected and manually labeled ISIS photos. These test photos were distributed as 60 for the military, 75 for religion, and 55 for the news. Another 72 ISIS photos were used for testing (24 from each category). For testing, we used ResNet-18 with ten epochs and no rotation or horizontal and achieved 95.83% accuracy on the test sets [17].

Research methodology

Creating an ISIS and Al-Qaeda image recognition algorithm consists of a number of components, including:

1. A complex process of obtaining the necessary images;
2. Preparation of data;
3. Augmentation of received images;
4. Neural network training, as well as evaluation of its effectiveness and accuracy on test data;
5. A data set where images are stored;
6. Identification and classification of objects in images;
7. Get results.

Figure 1 below depicts the architecture of ISIS and Al-Qaeda image recognition system based on CNN model.

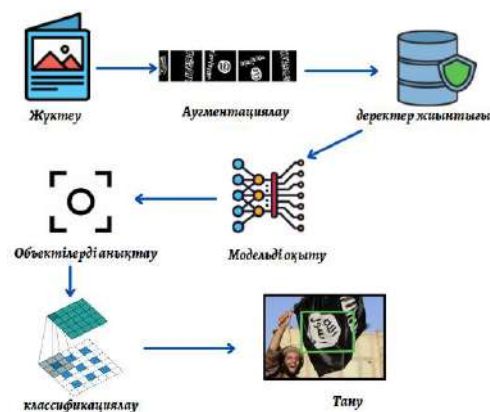


Figure 1. ISIS and Al-Qaeda image recognition system architecture

Data set. One image of the ISIS flag and one image of the Al-Qaeda flag were uploaded to develop the dataset, and data augmentation was used to generate hundreds of new ISIS and Al-Qaeda flag images based on the modifications of these two flags.

Data augmentation occurs when new data is created based on changes to existing data. In particular, for image data, data augmentation may consist of actions such as translating the image horizontally or vertically, rotating the image, zooming in or out, cropping, or changing color (Figure 2, Figure 3).

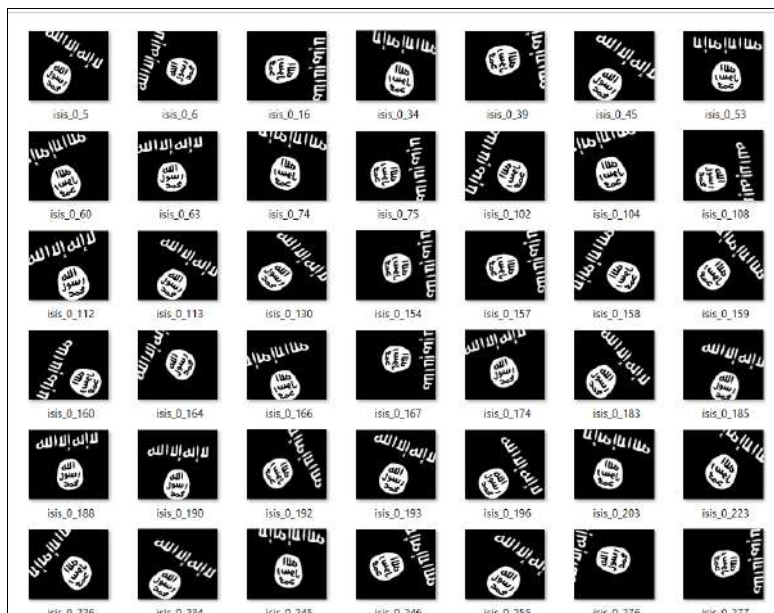


Figure 2. Magnification of ISIS image

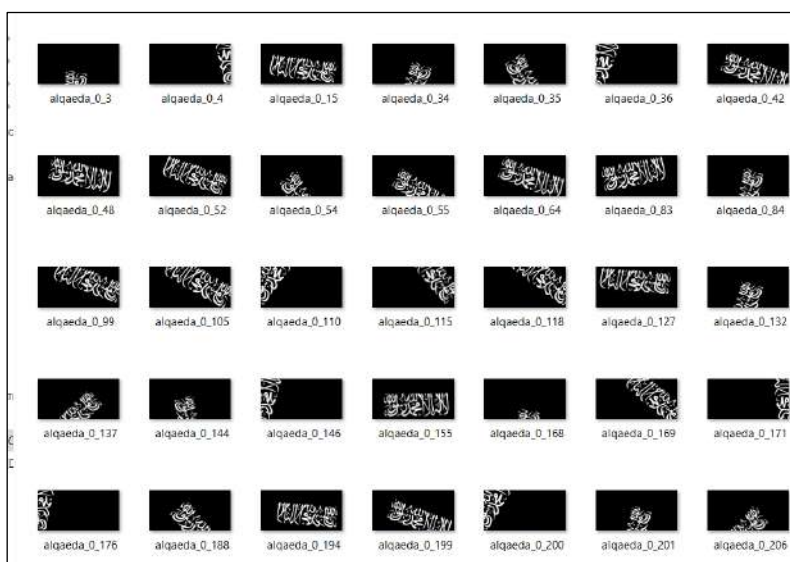


Figure 3. Augmentation of Al-Qaeda image

Expanded image packages are compiled from the source image. The Flow() function accepts empty data and creates packets of padded data. As a result, 700 samples were obtained for each of the augmented images, totaling 1400 images (ISIS -700, Al-Qaeda -700).

The full dataset contains 1,400 images, half of which are Al-Qaeda flags and half of which are ISIS flags. The remaining script classifies 1000 samples into the training set, 200 samples into the

validation set, and 100 samples into the test set. Each set contains an equal number of Al Qaeda and ISIS flags.

Neural network training. The main goal of this study is to create a system for identifying ISIS and Al-Qaeda flags from images. Data set augmentation and training were performed using image augmentation using CNN deep learning networks.

First, an image recognition model was trained using deep learning, and the trained model was tested. The deep learning process to train the model takes a lot of time, but the classification itself takes a relatively short time.

The goal of the per-sign detection problem for an image in flags is to determine whether a particular pixel belongs to a part of the sign. To solve this problem, the proposed solution is based on CNN, which is designed to classify features with geometric shapes. A sampling method is used between two fully connected layers to reduce overfitting by preventing complex co-adaptations in the training data [16]. The Keras Sequential model was used to create the CNN model. The first layer of the model is a 2D convolutional layer. In this layer, 32 output filters with kernel size 3x3 and relu activation function were used. Images are 224 pixels high by 224 pixels wide and have 3 color channels: RGB. This gives input_shape (224,224,3). Then the MaxPool2D pooling layer is added, which is designed to reduce the data size. The second Conv2D layer is performed by adding another convolutional layer with the same characteristics as the previous one, except for 64 filters. The next layer is connected with the MaxPool2D layer of the same type. The output layer of the convolution layer is Flatten and it is passed to the Dense layer. This dense layer is the eastern layer of the network, so there are 2 nodes: one for the Al-Qaeda flag and one for the ISIS flag. A softmax activation function was applied such that the output of each sample was a probability distribution over the outputs of the Al Qaeda flag and the ISIS flag.

CNNs have more degrees of freedom and therefore exhibit greater variance and less bias. This fact causes CNN to overestimate the feature detection capability. Therefore, an appropriate threshold should be used. Determining precision and recall:

$$P = \frac{true_positive}{true_positive + false_positive} \quad (1)$$

$$R = \frac{true_positive}{true_positive + false_negative} \quad (2)$$

Then the dimension of F is:

$$F_1 = \frac{2PR}{P + R} \quad (3)$$

The threshold value used to re-estimate the final probability is determined to give the highest score in the validation data.

Results of the study

The dataset was classified using the classification function included in the scikit-learn python library. 70 percent of the data was used for training and 30 percent for testing. Accuracy functions were optimized using the Adam optimization algorithm. The proposed CNN model was tested using 10 epoch iterations.

After successfully training the neural network, it is necessary to check its performance. Figure 4 below shows a snippet of the program code. This is the stage of realization of the architecture of our model.

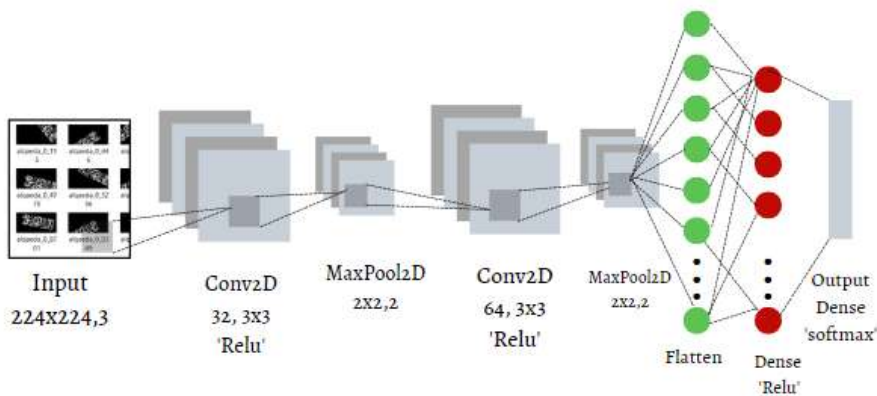


Figure 4. An example from the training phase of the CNN model

ROC curve prediction is another common tool used with binary classifiers. The dotted line shows the ROC curve of a purely random classifier, with a good classifier placing itself as far away from this line as possible (towards the upper left corner). Figure 5 below shows the accuracy of the model determined using sklearn.metrics.

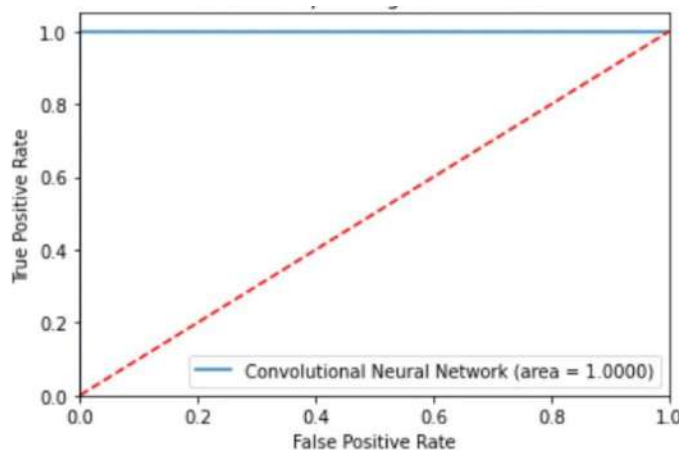


Figure 5. Model training and matching accuracy

As you can see from the images above, the neural network has been successfully trained and is ready to process new images. Figure 6 below shows an example of the feature recognition result of this system.



Figure 6. Image detected by model training

Figure 7 below shows an example of the Al-Qaeda flag recognition result.



Figure 7. Image detected as a result of model training

Based on the results, 100% accuracy of ISIS and Al-Qaeda flag recognition was achieved using deep learning in the best defined category.

Discussion

The results of the conducted study showed the high efficiency of the system for recognizing the flags of extremist groups – in particular, ISIS and Al-Qaeda-based on images. The proposed method made it possible to identify destructive signs from images with an accuracy of 95% using the capabilities of deep learning. This result proves the Applied and scientific significance of identifying signs of extremist organizations through visual content.

Such a high result was achieved by increasing the data set, introducing special CNN layers (two convolutional and one fully coupled layer), as well as using focus loss.

These results also echo other studies. For example, studies based on "Multimodal Hate Speech Detection" [10] and other multimodal approaches suggest ways to detect destructive content in combination through text, image, and audio. However, our study shows that high accuracy can be achieved based only on image data. This approach is especially important in response to the tendency of extremist groups to spread their ideology visually (flag, symbol, video).

Future research should consider opportunities to increase data diversity, integrate the system with multimodal models and integrate it into real global monitoring systems. At the same time, adapting the model to work in real time will be the next step in the effective use of the system in the areas of law enforcement and cybersecurity.

Thus, the proposed solution also occupies an important place as a practical tool aimed at preventing terrorist activities on the internet.

Conclusion

The tasks set during the study were completed. A method for recognizing ISIS and Al-Qaeda flags was proposed. A solution has been found to increase the size of the dataset. To improve network performance, focus loss is used to control the network of regional proposals. Additionally, 2 convolutional and one fully connected layer were used to recognize ISIS and Al-Qaeda flags.

As the relevance of the work, it should be noted that the CNN convolutional network model was trained using deep learning, that is, based on neural networks. The novelty of the work is that the model obtains the highest value of the accuracy indicator using the new data set using the classification method.

Based on the results, 95% accuracy of ISIS and Al-Qaeda flag recognition was achieved using deep learning in the best defined category. The proposed research work can be of great help in recognizing ISIS and Al-Qaeda flags and preventing terrorist activities.

Acknowledgements

This work was funded by the AP19676342 grant of the Ministry of Science and higher education of the Republic of Kazakhstan "Multi-ideology Cyber Extremism Classification in the Kazakh language using Artificial Intelligence".

References

- [1] Chaffey D. *Global social media research summary August 2020*, Proc. Smart Insights, 2020. ISSN: 2582-3930.
- [2] Birmingham A., Conway M., L. McInerney. *Combining social network analysis and sentiment analysis to explore the potential for online radicalisation*, Proc. Int. Conf. Adv. Social Netw. Anal. Mining (ASONAM), 2020, pp. 231-236. <http://dx.doi.org/10.1109/ASONAM.2020.31>.
- [3] Berger J. M. *The Alt-Right Twitter Census: Defining and Describing the Audience for Alt-Right Content on Twitter*, 2018. ISBN: 978-1-873769-89-8.
- [4] Trip S., Bora C. H., Marian M., Halmajan A. and Drugas M. I. *Psychological mechanisms involved in radicalization and extremism. A rational emotive behavioral conceptualization*, *Frontiers Psychol.*, vol. 10, pp. 437. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00437>.
- [5] Borum R. *Radicalization into violent extremism I: A review of social science theories*. *J. Strategic Secur.*, 2020, vol. 4, no. 4, pp. 7-36. <http://dx.doi.org/10.5038/1944-0472.4.4.1>.
- [6] Berger J. M. *Extremism*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2019. <https://doi.org/10.1080/10848770.2019.1705623>.
- [7] Kaya V., Tuncer S. and Baran A. *Detection And Classification Of Different Weapon Types Using Deep Learning*. *Applied Sciences*, 2021, 11 (16), 7535. <https://doi.org/10.3390/app11167535>.
- [8] Wang K., Liu M. *YOLOv3-MT: A YOLOv3 Using Multi-Target Tracking For Vehicle Visual Detection*. *Appl. Intell.* 52, 2022, pp. 2070–2091. DOI:10.1007/s10489-021-02491-3.
- [9] Manoharan S. *Image Detection Classification And Recognition For Leak Detection In Automobiles*. *Journal of Innovative Image Processing*, 01 (02), 2019, pp. 61–70. DOI:10.36548/jiip.2019.2.001.
- [10] Agarwal S. and Sureka A. *A focused crawler for mining hate and extremism promoting videos on YouTube*. Proc. 25th ACM Conf. Hypertext Social Media, 2014, pp. 294-296. <https://doi.org/10.1145/2631775.2631776>.
- [11] Kim J. H., Song J. H. and Lim D. *CT Image Denoising Using Inception Model*. *Journal of the Korean Data And Information Science Society*, 31 (3), 2020, pp. 487–501. <https://doi.org/10.7465/jkdi.2020.31.3.487>.
- [12] Rink A. and Sharma K. *The determinants of religious radicalization: Evidence from Kenya*. *J. Conflict Resolution*, 2018, vol. 62, no. 6, pp. 1229-1261. <https://doi.org/10.1177/0022002716678986>.
- [13] Fernandez M. and Alani H. *Artificial intelligence and online extremism: Challenges and opportunities in Predictive Policing and Artificial Intelligence*. New York, NY, USA: Taylor Francis, 2020. ISBN: 978-042-926-536-5.
- [14] Hashemi M. & Hall M. *Detecting and classifying online dark visual propaganda*. *Image and Vision Computing*, 2019. DOI:10.1016/j.imavis.2019.06.
- [15] Younes Karimi, Anna Squicciarini, Peter Kent Forster. *A longitudinal dataset and analysis of Twitter ISIS users and propaganda*. *Social Network Analysis and Mining* (2024) 14:19, 2024. <https://doi.org/10.1007/s13278-023-01177-7>.
- [16] Krizhevsky A., Sutskever I. and Hinton G. *Imagenet classification with deep convolutional neural networks*. *Advances in Neural Nnformation Processing Systems*, 2012, pp. 1097–1105. <https://doi.org/10.1145/3065386>.
- [17] Kuaban G.S., Gelenbe E., Czachórski T., Czekalski P. & Tangka, J.K. *Modelling of the energy depletion process and battery depletion attacks for battery-powered internet of things (iot) devices*. *Sensors*, 23(13), 6183, 2023. <https://doi.org/10.3390/s23136183>.

Н. Оган¹ , Д.Н. Исабаева¹ , С.Н. Исабаева² , Е. Чайко³ 

¹әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Нұр-Мұбарак Египет ислам мәдениеті университеті, Алматы қ., Қазақстан

³Рига техникалық университет, Рига, Латвия

*e-mail: o.nurik_92@mail.ru

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕГІ АДАПТИВТІ ОҚУ ПЛАТФОРМАСЫН ӘЗІРЛЕУДІҢ АЛҒЫШАРТТАРЫ

Аңдатпа

Бұл мақалада жасанды интеллект негізіндегі адаптивті оқу платформасын әзірлеудің алғышарттары қарастырылған. Мақаланың мақсаты - қолданыстағы оқыту платформаларын талқылау арқылы, жалпы білім беретін мектептерге ЖИ негізінде адаптивті оқу платформасын әзірлеу қажеттілігін дәлелдеу. Зерттеу жүрзігуде бақылау, сұқбаттасу және құжаттарды талдау әдістері қолданылды. Зерттеу нәтижесінде платформаны жетілдіру үдерісінде технология, білім беру және пайдаланушы тәжірибесін жобалау саласындағы сарапшылардың тығыз өзара әрекеттесуі қажет екенін көрсетті. Пайдаланушылар – мұғалімдер мен білім алушылар, қолданыстағы платформаны пайдаланудың жалпы оң әсерін атап өтті. Сондай-ақ, зерттеу платформаның білім алушылардың мотивациясын, белсенділігін және оқу нәтижелерін жақсартуға ықпал ететінін, оқыту дербестендіретін адаптивті платформаларға жетілдіру қажеттігін көрсетті. Дегенмен, адаптивті оқыту платформаларын жетілдіру үшін, бұл үдеріске қатысты дереккөз құру, ЖИ алгоритмдерін әзірлеу және деректердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету білім алушылардың дамуына қосымша зерттеулер мен қосымшалар қажет екендігі анықталды.

Түйін сөздер: адаптивті жүйелер, жасанды интеллект (AI), білім беру платформалары, цифрлық трансформация, деректер қауіпсіздігі.

Н.Оган¹, Д.Н. Исабаева¹, С.Н. Исабаева², Е.Чайко³

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

²Египетский университет исламской культуры Нур-Мубарак, г.Алматы, Казахстан

³Рижский технический университет, Рига, Латвия

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ПЛАТФОРМЫ АДАПТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Аннотация

В статье рассматриваются предпосылки создания платформы адаптивного обучения на основе искусственного интеллекта. Цель статьи – обосновать необходимость разработки платформы на базе ИИ для общеобразовательных школ посредством анализа существующих образовательных платформ. В ходе исследования были использованы методы наблюдения, интервьюирования и анализа документов. Результаты исследования показали, что в процессе усовершенствования платформы требуется тесное взаимодействие экспертов в области технологий, образования и проектирования пользовательского опыта. Пользователи – учителя и обучающиеся – отметили общий положительный эффект от использования существующих платформ. Также исследование выявило, что адаптивные платформы способствуют повышению мотивации, активности и учебных результатов обучающихся, что указывает на необходимость их дальнейшего совершенствования. Однако для улучшения адаптивных учебных платформ необходимо создать базу данных, разработать алгоритмы ИИ и обеспечить безопасность данных. Дополнительные исследования и приложения также требуются для поддержки развития обучающихся.

Ключевые слова: адаптивные системы, искусственный интеллект, образовательные платформы, цифровизация, безопасность данных.

N. Ogan¹, D. N. Issabayeva¹, S.N. Issabayeva², J.Caiko³

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Egyptian University of Islamic Culture Nur Mubarak, Almaty, Kazakhstan

³Riga technical university, Riga, Latvia

PREREQUISITES FOR CREATING AN ADAPTIVE LEARNING PLATFORM BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Abstract

This article discusses the prerequisites for the need for an adaptive learning platform based on artificial intelligence. The purpose of the article is to substantiate the need to develop an adaptive learning platform based on AI for comprehensive schools by analyzing existing educational platforms. The study used observation, interviewing and document analysis methods. The results of the study showed that the process of improving the platform requires close interaction between experts in the field of technology, education and user experience design. Users - teachers and students - noted the overall positive effect of using existing platforms. The study also found that adaptive platforms contribute to increased motivation, activity and learning outcomes of students, which indicates the need for their further improvement. However, to improve adaptive learning platforms, it is necessary to create a database, develop AI algorithms, and ensure data security. More research and applications are also needed to support learner development.

Keywords: adaptive systems, artificial intelligence (AI), educational platforms, educational platforms, Digital transformation, data security.

Негізгі ережелер

Мақалада жалпы білім беретін мектептерде оқыту үдерісінде қолданылатын оқыту платформаларына талдау жасалған. Жүргізілген зерттеу жұмысының нәтижелері жасанды интеллект негізіндегі адаптивті оқу платформасының қажеттілігін растайды.

Кіріспе

Соңғы жылдары мобильді интернет, бұлттық есептеулер, үлкен деректер және жасанды интеллект (ЖИ) саласындағы жетістіктер білім беру жүйесіне айтарлықтай ықпал етіп, оны түбегейлі өзгертуге мүмкіндік берді. Қазақстанда цифрлық трансформация қарқынды жүріп, ЖИ технологияларына негізделген оқыту жүйелері кеңінен енгізілуде. Білім беру мекемелері мен онлайн-платформалар ЖИ құралдарын оқу процесін жекелендіру мақсатында белсенді түрде қолдана бастады. Дегенмен, бұл инновациялық жүйелер сапалы білім алуға қолайлы жағдай жасайтын тиімді құрал болғанымен, оларды кеңінен енгізу әлі де шектеулі деңгейде қалып отыр. Бұл туралы, мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаевтың: «Білім мен инновацияға негізделген экономиканы құру қажет. Технологиялық және экономикалық жағынан алдыңғы қатарлы ел болу үшін ең алдымен адам капиталының дамуына, цифрландыруға және жасанды интеллектке ерекше мән беру маңызды. Қазіргі заманда бұларсыз ілгерілеу мүмкін емес. Бүгінде бүкіл адамзат цифрлық әлемде өмір сүріп жатыр. Сарапшылардың пікірінше, жыл сайын жасанды интеллект технологиясының тиімділігі арта түседі. Сондықтан алдымызда Қазақстанды Еуразиядағы ең ірі цифрлық хабқа айналдыру бойынша ауқымды міндеттер тұр. Цифрлық дамуға жаңаша көзқараспен қарау қажет», – деп мәлімдеді [1]. Сонымен қатар, ЖИ технологияларын қолдану арқылы оқыту процесін жекелендіру, білім ресурстарына тең қолжетімділікті қамтамасыз ету және оқушылар кездесетін негізгі қиындықтарды шешу бағытында жаңа тәсілдерді қолданыстағы платформаларға қосу қажеттілігі артып келеді. Өйткені, жекелендірілген оқыту әдістері тек білім мен дағдыларды тиімді меңгеруге ғана емес, сонымен қатар оқушылардың мотивациясын арттыруға және оқу жетістіктерін жақсартуға ықпал етеді (Ospankulov et al., 2022 [2]). Осы себепті адаптивті оқыту жүйелерін әзірлеу мен дамыту мәселесі зерттеушілер мен педагогтардың назарын аударуда (Xie et al., 2019 [3]; Tumaini Kabudi, 2021 [4]; Zawacki-Richter et al., 2019 [5]). Дегенмен, ЖИ-дың оқытуды жекелендірудегі әлеуеті жоғары болғанымен, ЖИ-ға негізделген адаптивті оқу платформаларын әзірлеу бірқатар күрделі

мәселелермен байланысты. Олардың қатарында оқу дерекқорларын құру, тиімді ЖИ алгоритмдерін жасау, пайдаланушы тәжірибесін жетілдіру және осы технологиялардың білім беру процесіне әсерін дұрыс бағалау секілді міндеттер бар (Jarassova et al., 2024 [6]). Сонымен қатар, әзірлеушілер, мұғалімдер және оқушылардың бұл платформаларды дамыту және қолдану процесіне деген көзқарастары әлі де жеткілікті зерттелмеген (Kulik & Fletcher, 2016 [7]). Осыған байланысты, ЖИ-ға негізделген адаптивті оқу платформаларын әзірлеу үшін қазіргі таңда қолданыстағы оқыту платформаларының тиімділігін бағалау мәселелерін жан-жақты зерттеу маңызды болып отыр. Осы мақсатта жүргізілген зерттеу ЖИ-ға негізделген адаптивті оқыту платформасын әзірлеу процесінде, бұрынғы қолданыстағы платформалардың кемшіліктері мен қай блокторын жетілдіру тұстарын, пайдаланушы тәжірибесін және оның оқытуды жекелендіруге әсерін талдауға бағытталған. Сонымен қатар, бұл зерттеу оқыту платформаларын дамыту мен енгізу саласындағы білімнің олқылықтарын толтыруға, сондай-ақ ЖИ технологияларын тиімді пайдалану арқылы оқытуды жекелендіруді жақсартуға ықпал етеді. Зерттеу нәтижелері болашақта адаптивті оқу платформаларын тиімді қолдану және дамытуға бағытталған стратегиялық шешімдер қабылдауға маңызды үлес қоспақ.

Әдебиеттерге шолу

Адаптивті оқыту – бұл оқыту процесін жеке адамның қажеттіліктеріне, қабілеттеріне және оқу стиліне сәйкес реттейтін әдіс. Бұл тұжырымдама жекелендірілген оқыту теориясына және көптік интеллект теориясына негізделеді. Зерттеулер көрсеткендей, адаптивті оқыту білім алушылардың оқу процесіне қызығушылығын арттырып, олардың жетістіктеріне оң әсер етеді (Oxman & Wong, 2014) [8]. Сонымен қатар, орыс және қазақ ғалымдарының еңбектері де бұл бағыттағы зерттеулерді толықтыра түседі. Мәселен, Брусиковский өз еңбектерінде бейімделгіш гипермедиа жүйелерінің оқытуды жекелендірудегі рөлін талқыласа, (Smirnov & Kotelnikov, 2018) [9] адаптивті оқыту әдістерінің когнитивті жүктемені азайтуға ықпал ететінін атап өтеді. Қазақстандық зерттеушілер де бұл бағытта маңызды еңбектер жариялады. Айтбаев пен Мұқанов (Aitbaev & Mukanov, 2020) [10] қазақ тіліндегі цифрлық платформаларда адаптивті оқытуды енгізудің ерекшеліктерін қарастырса, (Abdykegimova et al., 2022) [11] ЖИ негізіндегі адаптивті оқыту платформаларының тиімділігін эксперименттік зерттеулер арқылы дәлелдеді. Осылайша, адаптивті оқыту тұжырымдамасы әртүрлі елдердің зерттеушілері тарапынан жан-жақты зерделеніп, оның білім беру жүйесіне енгізілуінің маңыздылығы артып келеді.

Соңғы зерттеулерде, жасанды интеллект (ЖИ) адаптивті оқытуды жүзеге асырудың негізгі құралдарының бірі болып табылады. Машиналық оқыту, табиғи тілді өңдеу және ұсыныс жүйелері секілді ЖИ технологиялары оқу процесін автоматты түрде бейімдеп, жекелендірілген білім беру жүйелерін құруға мүмкіндік береді (Luckin et al., 2016) [12].

Білім берудегі жасанды интеллект оқыту мен үйренуді қолдайтын интеллектуалды жүйелерді әзірлеуге және зерттеуге бағытталған, Moreno-Guerrero et al., 2020) [13]. Адаптивті оқыту жүйелері – бұл студенттердің оқу стратегиясына, тапсырмалардың реттілігі мен күрделілігіне, қабілеттеріне, кері байланыстың уақытына және олардың жеке қалауларына бейімделетін платформалар (Xie et al., 2019) [3]. Мұндай платформалар автоматтандырылған кері байланыс механизмдері арқылы студенттердің өз оқу үдерісін бақылауына мүмкіндік береді. Жасанды интеллектке негізделген оқыту жүйелері интеллектуалды репетиторлар, білім аналитикасы және деректерді интеллектуалды өңдеу әдістері негізінде жасалған. Білім беру саласында ЖИ технологияларының дамуы жеке кері байланыс пен студенттерге қолдау көрсетуді күшейтеді (Hwang et al., 2020) [14]. Болашақта ЖИ қолданылатын білім беру орталарын зерттеу қарқынды дамиды деп күтілуде (Moreno-Guerrero et al., 2020) [13]. Бұл сала компьютерлік ғылым, когнитивті психология және білім беру теориясының қағидаларын біріктіре отырып, әртүрлі оқушылардың қажеттіліктерін қанағаттандыратын инновациялық технологияларды дамытады (Roll & Wylie, 2016,) [15]. Білім беру саласында жасанды интеллектті (ЖИ) қолдану, әсіресе жекелендірілген оқыту тұрғысынан, көптеген зерттеулерде

қарастырылған. Атап айтқанда, А.А. Киселев пен В.А.Стародубцевтің зерттеулерінде мектептерде жақын даму аймағын қамтамасыз ететін оқу-әдістемелік және технологиялық базаны қалыптастырудың маңыздылығы атап өтіледі. Мұндай орта оқушылардың оқу, ғылыми-зерттеу, жобалау және танымдық қызметін дамытуды қамтиды. Сонымен қатар, виртуалды зертханалық жұмыстарды қолдану білім беру процесін модельдеуде маңызды рөл атқарады. Жекелендірілген оқытудың әртүрлі тәсілдері қолданылатын технологиялар мен оқыту әдістеріне байланысты бөлінеді. Оларға жекелендірілген, өзін-өзі оқыту, сараланған және бейімделген оқыту түрлері жатады. Жекелендірілген оқытудың түрлері бойынша мәлімет 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1. Жекелендірілген оқытудың түрлері

<i>Түрлері</i>	<i>Ұғымды түсіндіру</i>
<i>Дифференциацияланған оқыту</i>	<i>Оқушыларды топтар немесе санаттар бойынша бөлуді көздейді, бұл топтардың әрқайсысы үшін олардың қызығушылықтары, қабілеттері және мотивация деңгейлері ескеріліп, арнайы педагогикалық тәсілдер мен тәрбиелік әдістер әзірленеді.</i>
<i>Адаптивті оқыту</i>	<i>Оқытудағы жекелендірілген тәсіл, мұнда компьютерлік технологиялар нақты уақыт режимінде оқу материалдарын оқушылардың қажеттіліктері мен сұраныстарына сәйкес бейімдейді.</i>
<i>Өзіндік білім алу</i>	<i>Бұл – білім алушының оқу мақсаттарын дербес анықтап, оқу міндеттерін, мазмұнын және тиісті дидактикалық құралдарды таңдай отырып, олардың орындалуына толықтай жауапкершілік алатын үдеріс. Мұндай тәсілдің негізгі ерекшелігі – жеке тұлғаның дербестігін дамытуға ықпал ететін оқу жағдайларын қалыптастыру.</i>
<i>Жеке оқыту</i>	<i>Бұл – білім беру үдерісін ұйымдастырудың бір түрі, мұнда педагог тек бір ғана оқушымен жұмыс істейді немесе оқушы тек оқу құралдарымен, мысалы, кітаптармен, компьютермен және басқа да білім беру ресурстарымен өзара әрекеттеседі.</i>

Kulik және Fletcher (2016) [16] зерттеуі 50 интеллектуалды оқыту жүйесінің білім алушылардың жетістіктерін жақсартуға ықпал ететінін көрсетеді. Хіе және басқ. (2019) [3] ЖИ-дың жекелендірілген оқытудағы рөлін атап өтсе, басқа зерттеулер бұл жүйелерді әзірлеу мен енгізуде бірқатар қиындықтар бар екенін көрсетеді. Оларға тиімді алгоритмдерді жобалау, пайдаланушы тәжірибесін жақсарту және жүйенің әсерін бағалау мәселелері жатады. Жасанды интеллектті (ЖИ) қолдайтын оқыту жүйелеріне қатысты зерттеулер білім беру мекемелерінде әлі де жеткіліксіз. Бұл олардың білім беру үдерісіне ендірілуі бастапқы кезеңде тұрғанын көрсетеді. Р.М. Berry және басқалар (2015) атап өткендей, «көптеген интеллектуалды оқыту жүйелері ғылыми әдебиеттерде сипатталған және олардың тиімділігі дәлелденгенімен, олар шынайы білім беру мекемелерінде, дәстүрлі курстар аясында сирек қолданылады» [17].

Бұл мәселе әлі де өзекті болып отыр, ал соңғы зерттеулер білім беру процесінде кеңінен қолданылатын бейімделгіш оқыту жүйелері сияқты жасанды интеллектке негізделген табысты оқыту жүйелерінің жетіспеушілігін айқындайды (Imhof, C., Bergamin, P. B., & McGarrity, S. (2020) [12]. Осыған байланысты, біздің зерттеуіміз қазіргі заманғы ғылыми әдебиеттерді талдау арқылы ЖИ қолдайтын оқыту жүйелерінің қажеттілігін анықтау арқылы қолданыстағы оқыту платформалардың жағдайын тереңірек түсінуге бағытталған және олардың практикалық қолданылуына байланысты негізгі қорытындыларды ұсынады.

Зерттеу әдіснамасы

ЖИ негізіндегі адаптивті оқыту платформаларының жетіспеушілігін анықтауға арналады. Зерттеуге қатысушыларды мақсатты іріктеу әдісі негізінде таңдалды. Үлгіге адаптивті оқыту платформасын қолданатын немесе ЖИ мүмкіндігі бар платформалардың қажеттілігін немесе

осындай мүмкіндігі бар платформаларды анықтауға көмектесетін (ЖИ сарапшылары, мұғалімдер, білім алушылар кірді. Қатысушыларды іріктеуге, олардың кем дегенде адаптивті оқыту платформасын 6 ай бойы қолдануы басшылыққа алынды. Зерттеу барысында деректерді жинаудың үш негізгі әдісі қолданылды: Сұхбаттасу – алдын ала дайындалған сұхбат нұсқаулығы негізінде зерттеуге қатысушылармен сұхбат жүргізілді. Сұхбат сұрақтары платформаны пайдалану, оны пайдалану тәжірибесі және жекелендірілген оқытуға әсерін бағалау мәселелерін қамтыды. Бақылау – адаптивті оқыту платформасын пайдалану кезіндегі білім алу сессияларын бақылау арқылы пайдаланушылардың платформаға шынайы әрекеттесу деректері жиналды. Құжаттық талдау – платформаны әзірлеу үдерісіне байланысты құжаттарды (жобалау құжаттары, жоба есептері, пайдаланушы нұсқаулықтары, пайдаланушылардың пікірлері) жинау және талдау жүзеге асырылды.

Зерттеу нәтижелері

Зерттеу нәтижелері Қазақстандағы жалпы білім беретін мектептерде оқу процесінде қолданылып отырған оқыту платформаларын талдау негізінде алынды. Сауалнама нәтижелері BilimClass және Kundelik.kz платформаларының пайдаланушылық тәжірибесі, функционалдық мүмкіндіктері, мазмұн сапасы және оқыту сапасына ықпалы талданды.

BilimClass платформасы бойынша нәтижелерді талқыласақ, интерфейстің ыңғайлылығын респонденттердің 65%-ы, яғни BilimClass интерфейсін "ыңғайлы" немесе "өте ыңғайлы" деп бағалады, алайда 20%-ы навигацияның күрделілігін атап өтті. Функционалдық мүмкіндіктері бойынша, 45% – оқу материалдарына қолжетімділік функциясын жиі пайдаланады. 30% – тестілеу және бағалау құралдарын ерекше атап өтті. 25% – интерактивті сабақтар мен байланыс құралдарын қолданады. Мазмұнының сапасы бойынша 70% мазмұнды "жоғары" немесе "өте жоғары" деп бағаласа, 15% кейбір материалдардың жеткіліксіздігін атап өтті. Қандай қиындықтар кездесетіндігі туралы, 40% техникалық ақауларды жиі байқайды. 25% кейбір пәндер бойынша контенттің толық еместігін атап өтті. 35% платформаның жалпы функционалдығын оң бағалады. Ал, оқытуды жақсартуға ықпалы туралы респонденттердің 75%-ы BilimClass платформасының білім сапасын арттыруға оң әсер ететінін мойындады.

Kundelik.kz платформасы бойынша нәтижелерге тоқталсақ, интерфейстің ыңғайлылығы бойынша, респонденттердің 60%-ы платформаны "ыңғайлы" немесе "өте ыңғайлы" деп бағалағанымен, 25% жүйенің баяу жұмыс істейтінін айтты. Функционалдық мүмкіндіктері туралы 50% – электронды журнал мен күнделікті ең жиі қолданатынын көрсетті. 30% – үй тапсырмаларын тексеру функциясын ерекше атады. 20% – үлгерім статистикасы мен ата-аналармен байланыс құралдарын пайдаланады. Жүйенің тұрақтылығы: 40% платформаның тұрақсыздығына қатысты шағым білдірді. Негізгі кездесетін қиындықтарға жүйенің баяу жүктелуі және техникалық ақауларды келтірді. Сонымен қатар, 35% – аналитикалық функциялардың жеткіліксіздігін атап өтті. 25% – техникалық ақаулар мен жүйенің тұрақсыздығы мәселелерін көрсетті. 15% – ата-аналар мен мұғалімдер үшін интерфейсін күрделілігін атап өтті. Негізгі мәселе, оқытуды жақсартуға ықпалы туралы ой бөліскен кезде, 70% пайдаланушылар Kundelik.kz платформасының білім беру процесіне оң әсер ететінін мойындады. Зерттеу нәтижесін 2-кесте түрінде келесідей бейнелеуге болады.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, екі платформа да білім беру процесін жақсартуға ықпал етеді, бірақ әрқайсысының өзіндік ерекшеліктері бар. BilimClass платформасы мазмұн сапасы және функционалдық мүмкіндіктер бойынша жоғары баға алса, Kundelik.kz электронды журнал және күнделікті функциялары үшін жиі пайдаланылады. Дегенмен, Kundelik.kz жүйесінің баяу жұмысы мен техникалық ақаулары қолданушылар үшін негізгі мәселе болып отыр. BilimClass платформасын жетілдіру үшін техникалық ақауларды азайту және контентті толықтыру қажет. Kundelik.kz платформасы жүйенің тұрақтылығын жақсартып, аналитикалық құралдарды дамытуға назар аударуы тиіс. Жалпы, екі платформа да білім беруді цифрландыруда маңызды рөл атқарады және оларды жақсарту арқылы оқыту тиімділігін арттыруға мүмкіндік бар.

Кесте 2. Платформаларды талдау нәтижесі

Критерий	BilimClass	Kundelik.kz
Интерфейстің ыңғайлылығы	65% оң баға	60% оң баға
Функционалдық мүмкіндіктер	Оқу материалдары, тестілеу, интерактивті сабақтар	Электронды журнал, үй тапсырмалары, үлгерім статистикасы
Жүйенің тұрақтылығы	20% тұрақсыздық мәселелері	40% тұрақсыздық мәселелері
Оқытуды жақсартуға ықпалы	62% оң әсер	60% оң әсер

Сонымен қатар, Daryn.online, qalan.kz, darts.daryn.online.kz сияқты оқыту платформалары онлайн оқыту мен бағалауға ғана арналған. BilimClass және Kundelik.kz оқыту платформалары сияқты техникалық ақаулармен кемшіліктер қайталаынады. Мұғалімдер жалпылай платформен жұмыс істеген жүйенің істемей қалуы жиі кездесетін жағдай.

Дискуссия

Зерттеу нәтижелеріне қарай аталған білім беру платформаларын ЖИ-ды қолдану арқылы білім беру процесін жетілдірудің әртүрлі мүмкіндіктерін қосу арқылы жетілдіру қажеттігі байқалады. Мұндай жүйелер білім беруді жекелендіруге, оқушылардың үлгерімін жақсартуға және олардың қажеттіліктеріне сәйкес икемді оқыту шешімдерін ұсынуға көмектеседі. Осы туралы (Tumaini Kabudi, 2021) [4] Жасанды интеллектті (ЖИ) қолдайтын оқыту жүйелерінің санаттары және мысалдарын қарастырсақ, Қазақстанда білім беру процесінде қолданыс тапқан платформаларды да жіктеу мәселесі туындайды:

Курстарды оқыту жүйелері. Мысалдар: Realizeit, OPERA, ACTIVEMATH, AutoTutor, Ms. Lindquist, UZWEBMAT, Crystal Island, Oscar, Wayang Outpost, ANDES, Guru, English Tutor, StuDiAsE (ЖИ негізіндегі бағалау жүйесі), Yixue, Lumilo, Squirrel AI.

Тілдерді оқыту және меңгеру платформалары Мысалдар: QuizBot, AutoTutor, пассивті репетитор, BOXFISH, E-Tutor, Ms. Lindquist AutoTutor, DARPA репетиторы.

Жекелендірілген оқыту арқылы оқушылардың үлгерімін арттыру Мысалдар: Адаптивті мобильді оқыту жүйесі (AMLS), INSPIREus MeuTutor, Knewton, INSPIRE, Units of Learning mobile (UoLmP), онлайн-адаптивті веб-оқыту жүйесі, Connect™.

Тестілеу, жаттығулар және оқыту платформалары Мысалдар: Smart Sparrow (Ақылды торғай), Tamaxtil, Аффективті оқыту жүйесі (ATS), QuestionIT.

Бағдарламалау тілдерін оқыту және қолдау көрсету жүйелері Мысалдар: SQL-Tutor, Интеллектуалды оқытушы көмекшісі (ITAP), ALEA, QuizGuide және Flip, FIT Java Tutor, Gerdes тәлімгері.

Студенттердің білімін бағалау және жетілдіру Мысалдар: LearnSmart, үздіксіз білім алу бойынша жеке көмекші (PAL3), DeepTutor, Protus.

Студенттердің қажеттіліктерін талдау және зерттеу Мысалдар: Жекелендірілген адаптивті оқу панелі (PALD), MostSaRT жүйесі, INTUITEL, KGTutor, MaTHiSiS, AL (пікірталас дағдыларын дамытуға арналған адаптивті қолдау жүйесі), веб-негізіндегі ғылыми зерттеу ортасы (WISE), NetCoach.

Оқушылардың білім деңгейін анықтау және ақпараттандыру жүйелері Мысалдар: (Бұл санатқа нақты мысалдар келтірілмеген).

Сонымен қатар, ЖИ негізіндегі адаптивті оқыту платформасын әзірлеу үшін, теориялық зерттеулерге сүйене отырып, келесі кезеңдердің қамтылуын қарастыру қажет: Платформаның қажеттіліктері мен мақсаттарын анықтау, Жүйе архитектурасын жобалау және технологияларды таңдау, ЖИ алгоритмдері мен модельдерін әзірлеу, Пайдаланушы интерфейсін және оқу тәжірибесін жобалау, Жүйені тестілеу және оңтайландыру,

Платформаны енгізу және пайдаланушыларды оқыту. AGile моделі негізінде платформаны құрылымдау.

Сұхбаттар мен бақылау нәтижелері пайдаланушылардың (мұғалімдер мен білім алушылар) көпшілігі қазіргі қолданыстағы платформаларға ЖИ мүмкіндіктерін қосуды, сондай ақ адаптивті оқыту платформасын оң бағалайтынын көрсетті. Олар платформаның жеке қажеттіліктер мен оқу барысына сәйкес мазмұн мен оқыту әдістерін бейімдеу қабілетінің болуын жоғары бағалады. Сондай-ақ, пайдаланушылар ЖИ функцияларының интерактивтілігі мен уақтылы қолдау көрсетуіне де оң баға берді. Бұл мүмкіндіктерді оқу материалдарын білім алушылардың жеке ерекшеліктеріне қарай ұсыну, автоматты дер кезінде кері байланыс беру және оқуға көмек көрсететін чат-боттарды жатқызуға болады. Дегенмен, кейбір пайдаланушылар платформаны жетілдіру үшін келесі аспектілерді жақсарту қажет екенін атап өтті: Чат-боттың мемлекеттік және орыс тілді өңдеу мүмкіндігін жетілдіру және білім алушының жеке мүмкіндіктерді енгізу. Мұғалімдер мен білім алушылар мазмұн мен оқыту әдістерінің әр адамның қажеттіліктеріне сәйкес икемделетін мүмкіндігі қосылса және бұл олардың оқу процесіне оң әсер ететінін атап өтті.

Жүйеден алынған деректерді талдау да ЖИ негізіндегі адаптивті платформалардың қажеттігін растады.

Адаптивті оқыту платформасын пайдаланған кезде:

- Оқу уақыты тиімдірек пайдаланылады,
- Тапсырмалардың мазмұны білім алушылардың жеке дербес ерекшеліктеріне қарай жасақталады;
- Білім алушыларды бағалау нәтижелері де автоматтанып, жақсаратындығы туралы.

Бұл нәтижелер білім беру процесін жекелендіруде ЖИ қолданудың қажеттілігін растайды. Алайда, зерттеу платформаның ұзақ мерзімді әсерін, әсіресе білім алушылардың жоғары деңгейдегі ойлау дағдыларын дамыту және өзіндік оқу қабілетін жетілдіру тұрғысынан бағалаудың қиындықтарын да атап өтті. Адаптивті оқыту және білім беруде ЖИ қолдану теориялары негізінде ұсынылған платформа оқыту нәтижесін арттыратындығы көптік интеллект теориясының қағидаларымен үйлеседі.

Қорытынды

Бұл зерттеу болашақта жалпы білім беру мекемелеріне ЖИ негізіндегі адаптивті оқыту платформасының қажеттілігін, ғылыми зерттеушілердің және пайдаланушылардың тәжірибесін осындай платформаларды әзірлеуде басшылыққа алуды және оқытуды жекелендіруге қарай бұру қажеттігін қарастырды. Зерттеу нәтижесінде платформаны жетілдіру үдерісінде технология, білім беру және пайдаланушы тәжірибесін жобалау саласындағы сарапшылардың тығыз өзара әрекеттесуі қажет екенін көрсетті. Пайдаланушылар – мұғалімдер мен білім алушылар, қолданыстағы платформаны пайдаланудың жалпы оң әсерін атап өтті. Сондай-ақ, зерттеу платформаның білім алушылардың мотивациясын, белсенділігін және оқу нәтижелерін жақсартуға ықпал ететінін, оқыту дербестендіретін адаптивті платформаларға жетілдіру қажеттігін көрсетті. Дегенмен, адаптивті оқыту платформаларын жетілдіру үшін, бұл үдеріске қатысты дерекқор құру, ЖИ алгоритмдерін әзірлеу және деректердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету білім алушылардың дамуына қосымша зерттеулер мен қосымшалар қажет екендігі анықталды.

Адаптивті оқыту платформалары білім берудің болашағы болып табылады. Деректерді интеллектуалды талдау әдістерін қолдану арқылы Қазақстанның білім беру жүйесі оқыту сапасын жаңа деңгейге көтере алады. Осы мақсатта техникалық инфрақұрылымды жетілдіру және инновациялық әдістерді қолданысқа енгізу маңызды қадамдар болып табылады.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

- [1] Akorda.kz. (2024, December 11). *Prezidentke zhasandy intellekt salasindagy otandyk onimder tanystyryldy [Domestic products in the field of artificial intelligence presented to the President]*. Akorda.kz. <https://akorda.kz/kz/prezidentke-zhasandy-intellekt-salasyndagy-otandyk-onimder-tanystyryldy-1111203>
- [2] E.Ospankulov, U. Abdigapbarova, L. Rakhimzhanova, D.Issabayeva, K.Nazarbekova & Issabayeva Z. *Using the Digital Platform in Personalized Student Learning*, 8th Int. Conf. Front. Educ. Technol., 2022. DOI:10.1145/3545862.354589
- [3] Xie H, Chu HC, Hwang GJ, Wang CC. *Trends and developments in technology-enhanced adaptive/personalized learning: A systematic review of journal publications from 2007 to 2017*. *Comput Educ.* 2019; 140:103599.
- [4] Kabudi, T., Pappas, I., & Olsen, D. H. (2021). *AI-enabled adaptive learning systems: A systematic mapping of the literature*.
- [5] Zawacki-Richter O, Marín VI, Bond M, Gouverneur F. *Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators?* *Int J Educ Technol High Educ.* 2019; 16(1):1- 27.
- [6] Jarassova, G. S., Abdigapbarova, U. M., Issabayeva, D. N., & Aitenova, E. A. (2024, July). *Analysis of the use of artificial intelligence tools in the training of future teachers*. In *ICEDS 2024: 2024 5th International Conference on Education Development and Studies*. <https://doi.org/10.1145/3669947.3669950>
- [7] Kulev, V. *Data Analysis in Education: Methods and Applications // Data Science Journal*, 2019.
- [8] Oxman S, Wong W. *White paper: Adaptive learning systems*. *Integrated Education Solutions*; 2014.
- [9] Smirnov, A., & Kotelnikov, I. (2018). *Adaptive learning technologies in e-learning environments*. *Educational Technology & Society*, 21(4), 48-60.
- [10] Айтбаев, Б., & Мұқанов, А. (2020). *Цифрлық білім беру платформаларындағы адаптивті оқыту: теория және тәжірибе*. *Білім және ғылым журналы*, 12(3), 45-57.
- [11] Abdykerimova, E., Ospanova, L., Rakhimzhanova, L., & Nazarbekova, K. (2022). *Adaptive learning with artificial intelligence: Effectiveness and implementation challenges*. *ACM International Conference Proceeding Series*, 23-28.
- [12] Luckin R, Holmes W, Griffiths M, Forcier LB. *Intelligence unleashed: An argument for AI in education*. Pearson Education; 2016.
- [13] Moreno-Guerrero, A. J., et al. "Scientific Development of Educational Artificial Intelligence in Web of Science." *Future Internet*, vol. 12, 24 July 2020, p. 124, <https://doi.org/10.3390/fi12080124>
- [14] Hwang, G.-J., Xie, H., Wah, B. W., & Gašević, D. (2020). *Vision, challenges, roles and research issues of artificial intelligence in education*. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 1, 100001. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2020.100001>
- [15] Roll I, Wylie R. *Evolution and revolution in artificial intelligence in education*. *Int J Artif Intell Educ.* 2016; 26(2):582-99.
- [16] Kulik JA, Fletcher JD. *Effectiveness of intelligent tutoring systems: A meta-analytic review*. *Rev Educ Res.* 2016; 86(1):42-78.
- [17] P.M. Berry, T. Donneau-Golencer, K. Duong, M. Gervasio, B. Peintner, N. Yorke-Smith. *Evaluating intelligent knowledge systems: Experiences with a user-adaptive assistant agent*. *Knowledge and Information Systems*, 52 (2) (2017), pp. 379-409.
- [18] Imhof, C., Bergamin, P. B., & McGarrity, S. (2020). *Implementation of adaptive learning systems: Current state and potential*. In *Online teaching and learning in higher education* (pp. XX–XX). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48190-2_6

References

- [1] Akorda.kz. (2024, December 11). *Prezidentke zhasandy intellekt salasindagy otandyk onimder tanystyryldy [Domestic products in the field of artificial intelligence presented to the President]*. Akorda.kz. <https://akorda.kz/kz/prezidentke-zhasandy-intellekt-salasyndagy-otandyk-onimder-tanystyryldy-1111203>
- [2] Ospankulov, E., Abdigapbarova, U., Rakhimzhanova, L., Issabayeva, D., Nazarbekova, K., & Issabayeva, Z. (2022). *Using the Digital Platform in Personalized Student Learning*. *8th International Conference on Frontiers of Education Technologies*. <https://doi.org/10.1145/3545862.354589>
- [3] Xie, H., Chu, H. C., Hwang, G. J., & Wang, C. C. (2019). *Trends and developments in technology-enhanced adaptive/personalized learning: A systematic review of journal publications from 2007 to 2017*. *Computers & Education*, 140, 103599.

- [4] Kabudi, T., Pappas, I., & Olsen, D. H. (2021). *AI-enabled adaptive learning systems: A systematic mapping of the literature*.
- [5] Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). *Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1), 1-27.
- [6] Jarassova, G. S., Abdigapbarova, U. M., Issabayeva, D. N., & Aitenova, E. A. (2024, July). *Analysis of the use of artificial intelligence tools in the training of future teachers. In ICEDS 2024: 5th International Conference on Education Development and Studies*. <https://doi.org/10.1145/3669947.3669950>
- [7] Kulev, V. (2019). *Data Analysis in Education: Methods and Applications. Data Science Journal*.
- [8] Oxman, S., & Wong, W. (2014). *White paper: Adaptive learning systems. Integrated Education Solutions*.
- [9] Smirnov, A., & Kotelnikov, I. (2018). *Adaptive learning technologies in e-learning environments. Educational Technology & Society*, 21(4), 48-60.
- [10] Aitbaev, B., & Mukanov, A. (2020). *Tsifrlık bilim beru platformalaryndagy adaptivti okytu: teoriya zhane tazhiribe [Adaptive learning in digital education platforms: theory and practice]. Bilim zhane gylım zhurnaly*, 12(3), 45-57. (In Kazakh)
- [11] Apsykerimova, E., Ospanova, L., Rakhimzhanova, L., & Nazarbekova, K. (2022). *Adaptive learning with artificial intelligence: Effectiveness and implementation challenges. ACM International Conference Proceeding Series*, 23-28.
- [12] Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). *Intelligence unleashed: An argument for AI in education. Pearson Education*.
- [13] Moreno-Guerrero, A. J., et al. (2020). *Scientific development of educational artificial intelligence in Web of Science. Future Internet*, 12, 124. <https://doi.org/10.3390/fi12080124>
- [14] Hwang, G. J., Xie, H., Wah, B. W., & Gašević, D. (2020). *Vision, challenges, roles, and research issues of artificial intelligence in education. Computers and Education: Artificial Intelligence*, 1, 100001. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2020.100001>
- [15] Roll, I., & Wylie, R. (2016). *Evolution and revolution in artificial intelligence in education. International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(2), 582-599.
- [16] Kulik, J. A., & Fletcher, J. D. (2016). *Effectiveness of intelligent tutoring systems: A meta-analytic review. Review of Educational Research*, 86(1), 42-78.
- [17] Berry, P. M., Donneau-Golencer, T., Duong, K., Gervasio, M., Peintner, B., & Yorke-Smith, N. (2017). *Evaluating intelligent knowledge systems: Experiences with a user-adaptive assistant agent. Knowledge and Information Systems*, 52(2), 379-409.
- [18] Imhof, C., Bergamin, P. B., & McGarrity, S. (2020). *Implementation of adaptive learning systems: Current state and potential. In Online Teaching and Learning in Higher Education (pp. XX-XX). Springer*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48190-2_6

Б. Омаров¹, А.Қ.Сердалы^{1*}, А.Ыдырыс², Б. Омаров^{1,2}

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан,

²Халықаралық Ақпараттық технологиялар университеті, Алматық., Қазақстан,

*e-mail: altynayserdaly@gmail.com

MINI-VGGNET НЕГІЗІНДЕГІ КОНВОЛЮЦИЯЛЫҚ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІЛЕР КӨМЕГІМЕН ЖЕЛІГЕ РҰҚСАТСЫЗ ЕНУДІ АНЫҚТАУ

Аңдатпа

Киберқауіптердің қарқынды өсуі және желілік трафиктің ұлғаюы жағдайында желілік шабуылдарды анықтау және алдын алу киберқауіпсіздікті қамтамасыз етудің өзекті міндеттеріне айналууда. Бұл зерттеудің мақсаты теңгерімсіз желілік трафиктегі ауытқуларды анықтау үшін тиімді Mini-VGGNet үлгісін әзірлеу болып табылады. Зерттеу сонымен қатар ықтимал қауіптерді дәлірек анықтауға мүмкіндік беретін деректердегі уақытқа тәуелділікті талдауға бағытталған. Жұмыста желілік деректерден белгілерді алу үшін конволюциялық қабаттар мен пулинг қабаттарын қамтитын mini-VGGNet архитектурасына негізделген терең оқыту әдістемесі қолданылады. Анықтау тиімділігін арттыру үшін деректерді өңдеу әдістері қолданылады, соның ішінде қажет емес мәндерді жою және қалыпқа келтіру, бұл модельдің оқу сапасын жақсартады. Модель нақты уақыттағы ауытқуларды анықтауға және желілік трафиктің өзгеруіне бейімделуге мүмкіндік беретін желілік шабуылдардың әртүрлі түрлерін қамтитын деректер жиынтығында оқытылады. Зерттеу нәтижесінде ұсынылған модельдің тиімділігін растайтын желілік интрузияларды анықтауда жоғары дәлдікке қол жеткізілді. Нәтижелер Mini-VGGNet моделі ауытқуларды анықтау жылдамдығы мен дәлдігіне қатысты дәстүрлі әдістерден айтарлықтай жоғары екенін көрсетеді. Жұмыстың маңыздылығы оның киберқорғау әдістерін дамытуға және үнемі өзгеріп отыратын киберқауіптер жағдайында аса маңызды болып табылатын ақпараттық жүйелердің қауіпсіздік деңгейін арттыруға қосқан үлесі болып табылады. Нәтижелер киберқауіпсіздікті одан әрі зерттеу және желілік шабуылдарды анықтау үшін жетілдірілген модельдерді әзірлеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: нейрондық желі, терең оқыту, intrusion detection system, Mini-VGGNet, теңгерімсіз деректер, CICIDS2017 деректер жиынтығы.

Б. Омаров¹, А.Қ.Сердалы¹, А.Ыдырыс², Б. Омаров^{1,2}

¹ Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан,

² Международный университет информационных технологий, г.Алматы, Казахстан

ОБНАРУЖЕНИЕ ВТОРЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ MINI-VGGNET

Аннотация

В условиях стремительного роста киберугроз и увеличения объема сетевого трафика, выявление и предотвращение сетевых вторжений становятся актуальными задачами для обеспечения кибербезопасности. Целью данного исследования является разработка эффективной модели Mini-VGGNet для обнаружения аномалий в несбалансированном сетевом трафике. Исследование также направлено на анализ временных зависимостей в данных, что позволяет более точно идентифицировать потенциальные угрозы. В работе используется методология глубокого обучения, основанная на архитектуре Mini-VGGNet, которая включает конволюционные слои и пулинг-слои для извлечения признаков из сетевых данных. Для повышения эффективности обнаружения применяются методы предобработки данных, включая удаление ненужных значений и нормализацию, что улучшает качество обучения модели. Модель обучается на наборе данных, содержащем различные типы сетевых атак, что позволяет выявлять аномалии в реальном времени и адаптироваться к изменениям в сетевом трафике. В результате проведенного исследования достигнута высокая точность в обнаружении сетевых вторжений, что подтверждает эффективность предложенной модели. Полученные результаты показывают, что модель Mini-VGGNet значительно превосходит традиционные методы в отношении

скорости и точности обнаружения аномалий. Значимость работы заключается в ее вкладе в развитие методов киберзащиты и повышении уровня безопасности информационных систем, что является критически важным в условиях постоянно изменяющихся киберугроз. Результаты могут быть использованы для дальнейших исследований в области кибербезопасности и разработки более продвинутых моделей для обнаружения сетевых атак.

Ключевые слова: нейронная сеть, глубокое обучение, intrusion detection system, Mini-VGGNet, несбалансированные данные, набор данных CICIDS2017.

B. Omarov¹, A. Serdaly¹, A. Ydyrys², B. Omarov^{1,2}

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

²International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

INTRUSION DETECTION USING MINI-VGGNET-BASED CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

Abstract

In the context of the rapid growth of cyber threats and an increase in the volume of network traffic, the detection and prevention of network intrusions are becoming urgent tasks to ensure cybersecurity. The purpose of this study is to develop an effective Mini-VGGNet model for detecting anomalies in unbalanced network traffic. The study also aims to analyze time dependencies in the data, which allows for more accurate identification of potential threats. The work uses a deep learning methodology based on the Mini-VGGNet architecture, which includes convolution layers and pooling layers to extract features from network data. To improve detection efficiency, data preprocessing methods are used, including removing unnecessary values and normalization, which improves the quality of model training. The model is trained on a dataset containing various types of network attacks, which allows you to identify anomalies in real time and adapt to changes in network traffic. As a result of the conducted research, high accuracy in detecting network intrusions has been achieved, which confirms the effectiveness of the proposed model. The results show that the Mini-VGGNet model is significantly superior to traditional methods in terms of speed and accuracy of anomaly detection. The significance of the work lies in its contribution to the development of cyber defense methods and improving the security of information systems, which is critically important in the context of constantly changing cyber threats. The results can be used for further research in the field of cybersecurity and the development of more advanced models for detecting network attacks.

Keywords: neural network, deep learning, intrusion detection system, Mini-VGGNet, imbalanced data, CICIDS2017 dataset.

Негізгі ережелер

Ұсынылған Mini-VGGNet-Intrusion моделі, әсіресе теңгерімсіз деректер жағдайында, желіге рұқсатсыз енуді анықтауда айтарлықтай жетістіктер мен нәтижелер көрсетті. Оның конволюциялық қабаттарға негізделген архитектурасы шабуылдардың көптеген түрлері үшін жоғары жіктеу дәлдігін қамтамасыз етеді, бұл оны нақты желіге рұқсатсыз енуді анықтау және алдын алу жүйелерінде (IDS/IPS) қолдануға мүмкіндік береді. Бұл архитектура 15 түрлі шабуыл класстарын, оның ішінде DoS және DDoS сияқты шабуылдарды дәл анықтауға арналған. Ұсынылған терең оқыту моделі Mini-VGGNet-Intrusion дәлдігі 0.985 көрсеткішіне ие.

Кіріспе

Ақпараттық технологиялардың қарқынды дамуы және желілік трафиктің ұлғаюы жағдайында киберқауіпсіздік бүкіл әлемдегі ұйымдар үшін басты міндеттердің біріне айналуда. Желілік шабуылдар деректердің бұзылуын, қаржылық шығындарды және маңызды жүйелердің дұрыс жұмыс істемеуін қоса алғанда, ауыр зардаптарға әкелуі мүмкін. Желілік шабуылдарды тиімді анықтау және алдын алу ақпараттық жүйелердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін басымдық болып табылады. Киберқылмыспен күресудің негізгі әдістері антивирустық бағдарламалық жасақтама, брандмауэр және желіге рұқсатсыз енуді анықтау жүйелері (IDS) болып табылады [1]. Желіге рұқсатсыз енуді анықтау жүйесі (IDS) – рұқсат

етілмеген немесе зиянды әрекеттерді анықтау мақсатында желілік трафик пен хост әрекеттерін бақылауға арналған құрал. IDS екі түрлі болуы мүмкін: белгілі бір құрылғыдағы әрекеттерді басқаратын HEADS және нақты уақыт режимінде желілік трафикті бақылайтын NIDS. Шабуылдарды анықтау үшін IDS қолтаңбаға негізделген әдістерді (белгілі шабуыл үлгілерін табу) және ауытқуларды (қалыпты мінез-құлықтан ауытқуларды анықтау) пайдаланады. IDS-тің негізгі мәселелеріне жалған позитивтер және жаңа шабуылдарды анықтаудағы қиындықтар жатады. Машиналық және терең оқытуды қолдануды қамтитын заманауи тәсілдер мұндай жүйелердің дәлдігі мен бейімделуін жақсартуға көмектеседі, әсіресе теңгерімсіз деректер жағдайында [2].

Желілік шабуылдарды анықтау мәселелеріндегі маңызды мәселелердің бірі-деректердің теңгерімсіздігі. Нақты сценарийлерде желілік трафик көп жағдайда қалыпты деректерді білдіреді, ал шабуыл жағдайлары әлдеқайда сирек кездеседі. Желілік шабуылдарды анықтаудың заманауи тәсілдері бұл мәселені шешу үшін терең оқыту әдістерін көбірек қолданады. LSTM және CNN сияқты терең нейрондық желілер желілік деректердегі күрделі үлгілерді анықтауға және қалыпты трафикті де, шабуылдардың әртүрлі түрлерін де тиімді жіктеуге қабілетті. Дегенмен, терең модельдерді пайдаланғанның өзінде, теңгерімсіз деректер мәселесі өзекті болып қала береді, анықтаудың жоғары дәлдігін қамтамасыз ету үшін қосымша әдістерді қолдануды талап етеді [3]. Соңғы жылдары желілік шабуылдарды анықтау үшін терең нейрондық желілерді қолдануға қызығушылық артып келеді. Зерттеулер көрсеткендей, конволюциялық нейрондық желілер (CNN) және ұзақ мерзімді жады (LSTM) желілері сияқты архитектуралар дәстүрлі әдістермен салыстырғанда жақсартылған нәтижелерді көрсетеді. Дегенмен, тіпті терең оқытудың озық тәжірибелері теңгерімсіз деректер мәселесіне тап болады, бұл олардың нақты сценарийлердегі өнімділігін жақсарту үшін қосымша зерттеулер мен жаңа тәсілдерді әзірлеуді қажет етеді.

Терең оқыту және нейрондық желі архитектурасы. Терең оқыту қабаттарға біріктірілген жасанды нейрондардан тұратын жасанды нейрондық желілерге қолданылады. Мұндай желіде кіріс деректері кіріс деп аталатын бірінші қабаттан аралық (жасырын) қабаттар арқылы соңғы (шығыс) қабатқа өту процесінде өңделеді. Егер аралық қабаттар біреуден көп болса, мұндай жасанды нейрондық желі терең деп аталады. Нейрондар ұсынылатын функция активтендіру функциясы деп аталады. Активтендіру функциясының мәні нейрон кірістерінің өлшенген қосындысына және шекті мәнге байланысты, нейронның шығысы активтендіру функциясын кіріс векторының скалярлық көбейтіндісіне және берілген қашықтыққамещысқан Нейрон салмағының векторына қолдану нәтижесі болып табылады [4]. Активтендіру функциясы ретінде қолданылатын сызықтық емес функциялардың мысалдары-сигмоид, softmax функциясы, сызықтық түзеткіш (rectified linear unit, ReLU), гиперболалық тангенс. Нейрондық желіні оқыту мақсатты айнымалының дұрыс мәні мен нейрондық желі болжаған мән арасындағы айырмашылықты сипаттайтын жоғалту (қате) функциясын пайдаланады. Нейрондардың, қабаттардың, олардың өзара байланыстарының әртүрлі конфигурациялары нейрондық желілердің әртүрлі архитектураларын тудырады. Терең оқыту әдістерін осылайша қолданылатын нейрондық желі архитектурасы бойынша жіктеуге болады. Әрі қарай, сәйкес жұмыстарды талдауда пайда болатын терең оқытудың негізгі әдістерінің қысқаша сипаттамасы келтірілген.

Жасанды нейрондық желі (Artificial Neural Network, ANN), жоғарыда айтылғандай, жасырын қабаттардың санына байланысты терең (deep Neural Network, DNN) және таяз (Shallow Neural Network, s-NN) болуы мүмкін. Мұндай желілердің негізгі нұсқасы-тікелей тарату желісі (feed forward neural network), онда сигнал кіруден шығысқа қарай қатаң түрде таралады. Оқыту әдетте қатені кері тарату әдісімен жүзеге асырылады. Көп қабатты перцептрон (Multilayer Perceptron, MLP) – Ф.Розенблатт ұсынған мидың ақпаратты қабылдауының математикалық моделіне негізделген нейрондық желілердің қарапайым түрі-перцептронның бір түрі [5]. MLP-бұл кіріс және шығыс қабаттары арасында бір немесе бірнеше жасырын қабаттар болуы мүмкін толық байланысқан ANN [6].

Конволюциялық нейрондық желі (Convolutional Neural Network, CNN) - ауыспалы конволюциялық (convolution layers) және субдиск (subsampling layers немесе pooling layers) қабаттары бар бір бағытты көп қабатты желі. Конволюциялық қабат салмақ матрицасын (конволюция ядросы) кіріс қабатының әрбір фрагментіне элементтік көбейту және шығыс қабатының ұқсас позициясына жазылатын нәтижені қосу арқылы белгілер картасын құрайды. CNN бастапқыда кескіндерді өңдеу үшін қолданылған, бірақ қазіргі уақытта басқа тапсырмаларда да қолданылады. Желіге рұқсатсыз енуді анықтау мәселесіне қолдану тұрғысынан бұл деректер жиынындағы әрбір ерекшелік векторын "top" немесе кесте пішімі бар шартты "кескінге" түрлендіріп, қалыпқа келтіру керек дегенді білдіреді [7].

Қайталанатын нейрондық желі (recurrent Neural Network, RNN) - нейрондар арасындағы байланыстар ішкі жады бар және деректерді өздеріне жібере алатын бағытталған тізбекті құрайтын желі. Мұндай желі архитектурасы RNN-ге уақыт бойынша динамикалық мінез-құлыққа ие болуға мүмкіндік береді және ерікті ұзындықтағы дәйекті деректерді өңдеу мүмкіндігін анықтайды. Қайталанатын нейрондық желі мұғалімді тартудың әртүрлі деңгейлерімен оқытылуы мүмкін, оның түрлері – төменде сипатталған LSTM және GRU. Қысқа мерзімді жад элементтерінің ұзын тізбегі (Long Short-Term Memory, LSTM) RNN-ге тән жойылып бара жатқан градиент мәселесін шешуге арналған. LSTM-де деректерді сақтау активтендіру функциясын жүзеге асыратын арнайы құрылымдар-"қақпалар" немесе "қақпалар" (gates) бар жад ұяшығы болып табылатын қайталанатын LSTM модулімен қамтамасыз етіледі. LSTM модулі қысқа және ұзақ уақыт аралығында мәндерді есте сақтауға мүмкіндік береді. Басқарылатын қайталанатын блок немесе нейрон (Gated Recurrent Unit, Gru) LSTM тәрізді ұяшық опциясын пайдаланады, бірақ "қақпалары" аз. Осылайша, GRU LSTM-ге қарағанда аз параметрлерге ие және оқыту үшін аз ресурстарды қажет етеді. Екі бағытты GRU (Bidirectional gru, BGRU) және екі бағытты LSTM (bidirectional LSTM, BiLSTM) сәйкесінше Gru және LSTM түрлері болып табылады, бұл желіге тек өңделген деректерге ғана емес, сонымен бірге бүкіл тізбекке негізделген нәтижені болжауға мүмкіндік береді. Мұндай желілерде есептеудің екі бағыты бар: нейрондардың Шығыс блоктары өткенге де, болашаққа да байланысты көріністі есептейді [8].

Әдебиеттік шолу

Бұл бөлімде сәйкес жұмыстарды талдау және оларда сипатталған терең оқыту әдістерін салыстыру берілген. Осы жұмыста талданған зерттеулердің көпшілігі Google Scholar [9] базасынан "Publish or Perish" [10] бағдарламасының көмегімен таңдалды.

[11] жұмыста желіге рұқсатсыз енуді анықтау мәселесін шешу үшін CNN-BiLSTM қолданылады: CNN кеңістіктік белгілерді, BiLSTM уақытша белгілерді анықтайды. Гибридті іріктеу (SMOTE-пен бірге OSS) оқу уақытын азайту және деректер жиынтығын теңестіру үшін қолданылады. Гибридті іріктеуден кейін барлық салыстырылған модельдер үшін оқу уақыты қысқарды, CNN-BiLSTM LeNet-5 оқу жылдамдығынан төмен болды, бірақ барлық басқа көрсеткіштер бойынша жақсы нәтиже көрсетті. Салыстыру NSL-KDD және UNSW-NB15 деректер жиынтығында жүргізілген.

[12] мақалада желіге рұқсатсыз енуді анықтау мәселесін шешуде 3 жасырын қабаты бар терең нейрондық желі (DNN) классикалық машиналық оқыту алгоритмдерімен салыстырғанда жақсы нәтиже көрсетті. Салыстыру DNN үшін KDD Cup 99 деректер жиынтығында 1-5 жасырын қабаттармен және Ada Boost, Decision Tree, K-Nearest Neighbor, Linear Regression, Navie Bayes, Random Forest, SVM*-Linear, SVM*-rbf алгоритмдерімен жүргізілді. Алайда, авторлар қазіргі заманғы деректер жиынтығында және нақты жағдайларда, соның ішінде қарсылас ортада (adversarial environment) зерттеулер жүргізу қажет екенін атап өтті.

Келесі жұмыста [13] желіге рұқсатсыз енуді анықтау тапсырмасы үшін конволюциялық қайталанатын нейрондық желіге негізделген гибриді IDS әзірленді: CNN кеңістіктік белгілерді, RNN уақытша белгілерді анықтайды. Деректер теңгерімсіздігінен құтылу үшін

миноритарлық класс мысалдарының көшірмесі (oversampling) қолданылды. Өнімділікті бағалау үшін нейрондық желі CNN және RNN қабаттарының алдына жалпылау қабілетін жақсарту және нейрондық қайта оқытуды азайту үшін Гаусс Шу қабаттары қосылды. Тиімділікті бағалау CSE-CIC-IDS2018 деректер жинағында жүргізілді: авторлар жүргізген әдістерді салыстыру да, басқа зерттеулердің деректері де пайдаланылды. Осы зерттеуде жүргізілген экспериментте ұсынылған модель шешім ағашымен, логистикалық регрессиямен және XGBoost алгоритмімен салыстырғанда жақсы нәтиже көрсетті. Айта кету керек, бұл зерттеу екі түрлі салыстыруды ұсынғанымен, әртүрлі бағалау жиынтықтары қолданылады және оларда көрсетілген ұпайлар сәйкес келмейді.

[14] зерттеуде желіге рұқсатсыз енуді анықтау мәселесін шешу үшін деректерді векторлық форматтан "кескінге" (матрицаға) алдын-ала түрлендіре отырып, CNN қолданылады. Белгілер кеңістігінің өлшемін азайту үшін негізгі компоненттер әдісі (PCA) және автокодер (AE) қолданылды, оқытуды оңтайландыру үшін пакеттік қалыпқа келтіру (batch normalization, BN) қолданылды. Дәстүрлі Машиналық оқыту алгоритмдерімен (Naive Bayes, Logistic Regression, Decision Tree, Random Forest, SVM, Adaboost), RNN және үш қабатты DNN-мен салыстырғанда, ұсынылған модель анықтау уақытын едәуір қысқартады және KDD Cup 99 деректер жиынтығында жақсы нәтиже көрсетеді. Дегенмен, модель пайдаланылған деректер жиынында осы шабуылдардың мысалдарының аздығына байланысты User to Root (U2R) және Remote to Local (R2L) типтерінің шабуылдарын анықтаудың төмен деңгейін көрсетеді – сәйкесінше 20.61% және 18.96%. Әрі қарайғы зерттеулерде авторлар бұл мәселені генеративті-қарсылас желі (GAN) көмегімен шабуыл мысалдарын құру арқылы шешуді жоспарлап отыр.

[15] мақалада желіге рұқсатсыз енуді анықтау мәселесін шешу үшін NSL-KDD деректер жиынтығынан деректерді екілік векторларға түрлендіру әдісі ұсынылған, олардан CNN көмегімен жіктеу үшін "кескін" (матрица) жасалады, бұл белгілерді таңдау кезеңін болдырмайды. NSL-KDD түрлендірілген деректер жиынтығының ішкі жиындарында сыналған CNN желілері (ResNet 50 және GoogLeNet) стандартты классификаторларға қарағанда жақсы нәтиже көрсетті, бірақ state-of-art шешімдерінен онша жақсы емес (салыстыру j48, Naive bayes, NB Tree, Random forest, Random tree, Multi-layer perceptron, SVM әдістерімен болды).

[16] жұмыста желіге рұқсатсыз енуді анықтау мәселесін шешу үшін қайталанатын нейрондық желілерді (RNN) пайдалану ұсынылады. Екілік және көп класты жіктеу үшін RNN NSL-KDD деректер жиынындағы дәстүрлі алгоритмдерге (J48, ANN, RF, SVM және т.б.) қарағанда өнімділікті жақсырақ көрсетеді, бірақ оқуға көп уақыт кетеді. Ұсынылған әдіс сонымен қатар KDD CUP 1999 деректер жинағындағы кішірейтілген RNN [17] қарағанда жақсы нәтижелерді көрсетеді. Мақалада сонымен қатар гиперпараметрлерді таңдау қарастырылады: нейрондар саны мен оқу жылдамдығының әдіс дәлдігіне әсері. Бұл жұмыстың авторлары осы әдістің жойылып кету және жарылу градиенттерінің проблемаларын атап өтеді және осы мәселелерді шешу үшін LSTM және Bidirectional RNN-ді одан әрі зерттеуді ұсынған.

[18] мақалада жасанды нейрондық желілерді корреляцияға негізделген белгілерді таңдаумен біріктіретін желіге рұқсатсыз енуді анықтау моделі ұсынылған (Correlation based Feature Selection, CFS). Модель RapidMiner құралының көмегімен жүзеге асырылды және NSL-KDD және UNSW-NB15 деректер жиынтығында тексерілді. CFS пайдалану деректердің өлшемін азайту арқылы модельдің дәлдігін, ерекшелігі мен сезімталдығын арттыруға, есептеу уақытын қысқартуға мүмкіндік берді. Іске асырылған модельді басқа заманауи тәсілдермен салыстыру жүргізілді: бұл модель жақсы нәтиже көрсетеді, бірақ көп есептеу уақытын қажет етеді. Ұсынылған тәсілді әртүрлі байланыс желілерінде, заттар интернетінің серверлерін қорғау үшін қолдануға болады (Internet of Things, IoT).

[19] мақалада желіге рұқсатсыз енуді анықтау мәселесін шешу үшін екі нейрондық желіден тұратын модель ұсынылған: Shallow Neural Network (S-NN) және Deep-Optimized Neural Network (DONN). S-NN желісі қарапайым және жылдам, D-ONN күрделі және баяу. Белгілерді таңдау корреляциялық талдау әдісімен және энтропиялық тәсілді қолдану арқылы жүзеге

асырылды. Бұл модель KDD Cup 99 деректер жиынтығында жақсы нәтиже көрсетті. Авторлар бұл әдісті сымсыз желілер мен IoT қорғау үшін қолдану мүмкіндігін атап өтеді.

Келесі мақалада [20] желіге рұқсатсыз енуді анықтау мәселесін шешу үшін BGRU+MLP моделі ұсынылған. Эксперименттерде KDD Cup 99 және NSL-KDD деректер жиынтығы қолданылды. Тәжірибе нәтижелері бойынша GRU LSTM – ге қарағанда жақсы нәтиже көрсетеді, BGRU-жеке GRU-ға қарағанда жақсы, ал BGRU мен MLP комбинациясы RNN (GRU немесе LSTM) немесе MLP-ді жеке қолданумен салыстырғанда жақсы нәтиже береді. BGRU+MLP дәлдігі, анықталған оқиғалардың саны және жалған оң мысалдардың (FPR) үлесі бойынша жақсы нәтижелерді көрсетеді, бірақ R2L және U2R типті шабуылдарды анықтауда қиындықтар бар. Авторлар бұл мәселе пайдаланылған деректер жиынындағы шабуылдардың аздығына байланысты басқа зерттеушілер жүйелеріне де тән екенін атап өтті.

[21] зерттеуде желіге рұқсатсыз енуді анықтау мәселесін шешу үшін SFSDT+RNN моделі ұсынылған. Бұл модель шабуылдарды, соның ішінде шабуылдардың жекелеген түрлерін анықтау дәлдігін жақсартуға арналған-атап айтқанда, бұрын айтылған R2L және U2R. Ерекшеліктерді таңдау үшін SFSDT гибриді алгоритмі қолданылады: дәйекті тікелей таңдау алгоритмі (SFS) көмегімен белгілердің ең маңызды жиынтығы таңдалады, олардың арасында шешім қабылдау ағашының көмегімен белгілердің ең жақсы жиынтығы анықталады (DT). Тәжірибелер NSL-KDD және ISCX 2012 деректер жиынтығында жүргізілді. LSTM-ді қолданатын Модель RNN-дің үш түрінің (RNN, LSTM, GRU) ең жақсы дәлдігін көрсетті. SFSDT көмегімен белгілерді таңдау арқылы есептеу уақыты мен жадты пайдалану азайды. Айта кету керек, бұл зерттеуде эксперименттерде қолданылатын архитектуралардың (RNN, LSTM, GRU) нақты іске асырылуының егжей-тегжейлері көрсетілмеген. IDS-те терең оқытуды қолдану саласындағы аналитикалық шолулар болып табылатын зерттеулерге ерекше назар аударған жөн.

[22] мақалада 2015-2019 жылдардағы IDS-те нейрондық желілерді пайдалану туралы әдебиеттерге шолу берілген. Зерттеуге әдебиеттерге шолулар, жаңа әдістер бойынша ұсыныстар және оқу мақалалары кірді. Нейрондық желі архитектурасының шабуылдарды анықтау жүйелерінде ең көп қолданылатын мәліметтер жиынтығы, жалпы және жеке мәліметтер жиынтығы, оларды пайдалану ерекшеліктері қарастырылады. IDS-те нейрондық желілерді пайдалану кезінде қауіпсіздік салдары мәселесі көтеріледі.

Келесі жұмыста [23] авторлар ұсынған IDS таксономиясы тұрғысынан IDS-те машиналық оқыту мен нейрондық желілерді пайдалану туралы әдебиеттерге шолу жасалады. Зерттеуге IDS-те жиі қолданылатын машиналық оқыту алгоритмдері, көрсеткіштері, деректер жиыны бойынша IDS классификацияларына шолулар кірді. Пәндік саладағы проблемалар мен болашақ зерттеу бағыттары атап өтілді.

Зерттеулерде [24] киберқауіпсіздік міндеттері үшін терең оқытудың аналитикалық шолуы ұсынылған. Киберқауіпсіздіктің нақты қосымшасына байланысты әр түрлі терең оқыту әдістерін қолдану қарастырылады. Авторлар киберқауіпсіздік міндеттерінде терең оқыту әдістерін қолданудың қолданылуы мен ерекшеліктері туралы қорытынды жасады.

1 - кестеде желіге рұқсатсыз енуді анықтау тапсырмасы үшін терең оқыту әдістерін қолдану бойынша ғылыми зерттеу жұмыстарына талдау жасалды.

Жұмыстың жартысына жуығы нейрондық желі әдістермен қолданылады. Бұл әдістер белгілерді жобалау үшін қолданылады (қолтаңба кеңістігін бөлуге немесе азайтуға арналған), оқу процесін оңтайландыру (мысалы, деректер жиынтығын теңестіру немесе қайта оқытуды азайту әдістері), жіктеу. Өртүрлі түрлері бар RNN және CNN жиі кездеседі.

Әр түрлі архитектуралардың бір әдіспен үйлесуі белгілі бір әдістердің кемшіліктерін жоюға немесе жалпы шабуылдарды анықтаудың бүкіл процесін автоматтандыру дәрежесін жақсартуға арналған. Зерттеушілер белгілерді жобалау әдістеріне, деректерді өңдеуге немесе өртүрлі көмекші әдістерге (мысалы, оңтайландыру әдістері) назар аударатын жұмыстардың басым болуы зерттеулерде алынған жоғары нәтижелерге нейрондық желілердің қол жеткізуі үшін берілген қадамдардың маңыздылығы туралы айтуға мүмкіндік береді.

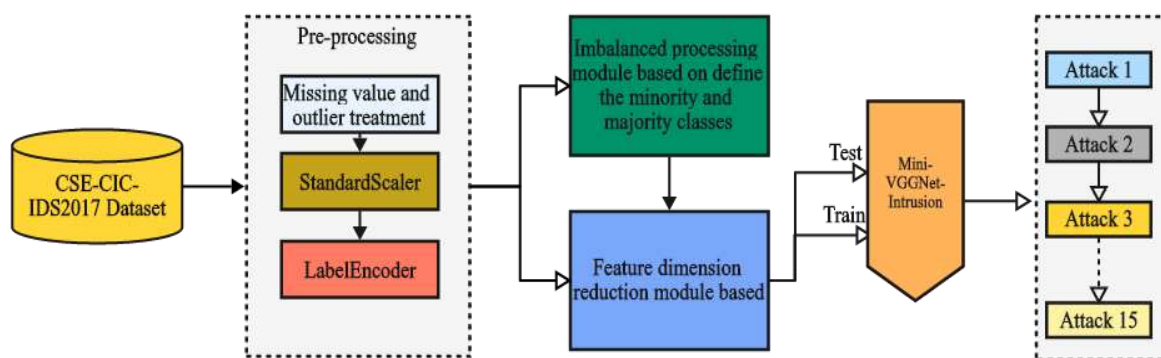
Кесте 1. Ғылыми зерттеу жұмыстарына талдау.

№	Ғылыми зерттеу жұмысы	Қолданылған әдістер	Мәлеметтер қоры	Бағалау
1.	K. Jiang және басқалары, 2020 [11] Тілі ағылшын	CNN-BiLSTM	NSL-KDD	ACC=83.58, Precision= 85.82, Recall=84.49, F1=85.14
			UNSW-NB15	ACC=77.16, Precision=82.63, Recall=79.91, F1=81.25
2.	Rahul Vigneswaran және басқалары, 2018 [12]	DNN	KDD CUP 1999	DNN (3 қабат): ACC=93, Precision=99.7, Recall=91.5, F1=95.5
3.	M.A. Khan, 2021 [13] Тілі ағылшын	HCRNN (CNN-RNN)	CSE-CIC-IDS 2018	ACC=97.75, Precision= 0.9633, Recall=0.9712, F1=0.976, DR=0.97, FAR=2.5
4.	Yihan Xiao және басқалары, 2019 [14] Тілі ағылшын	CNN	KDD CUP 1999	ACC= 94, DR=93, FAR=0.5
5.	Zhipeng Li және басқалары, 2017 [15] Тілі ағылшын	CNN	NSL-KDD Test+	ResNet50: ACC=79.14, Precision=91.97, Recall=69.41, F1=79.12 GoogLeNet: ACC=77.04, Precision= 91.66, Recall=65.64,
			NSL-KDD Test-21	ResNet50: ACC=81.57, Precision=81.81, Recall=99.63, F1=89.85 GoogLeNet: ACC=81.84, Precision= 81.84, Recall=100, F1=90.01
6.	C. Yin және басқалары, 2017 [16] Тілі ағылшын	RNN	NSL-KDD деректер жинағы	ACC=83.28
7.	Sumaiya Thaseen және басқалары, 2020 [18] Тілі ағылшын	CFS + ANN	NSL-KDD	ACC=97.49, Specificity=99.31
			UNSW-NB15	ACC=96.44, Specificity=98.4
8.	Mangayarkarasi Ramaiah және басқалары, 2021 [19] Тілі ағылшын	Shallow Neural Network Model (S-NN), DeepOptimized Neural Network Model (D-ONN)	KDD CUP 1999	S-NN: ACC=91, Precision=93, Recall=93 D-ONN: ACC=98, Precision=93, Recall=93, F1=98
9.	Songyuan Xi және басқалары, 2018 [20] Тілі ағылшын	BGRU + MLP	KDD CUP 1999	ACC=99.84, DR=99.42, FPR=0.05
			NSL-KDD	ACC=99.24, DR=99.31, FPR=0.84
10.	Thi-Thu-Huong Le және басқалары, 2019 [21] Тілі ағылшын	SFSDT + RNN (RNN, LSTM, GRU)	NSL-KDD	RNN: ACC=89.6 LSTM: ACC=92 GRU: ACC=91.8
			ISCX 2012	RNN: ACC=94.75 LSTM: ACC=97.5 GRU: ACC=97.08

Қарастырылған зерттеулерде жүргізілген эксперименттерде ұсынылған терең оқыту әдістерін салыстыру негізінен басқа терең оқыту әдістерімен (соның ішінде ұсынылған әдістің өзгеруімен) немесе машиналық оқытудың әртүрлі әдістерімен жүзеге асырылады. Әдістерді салыстыру көбінесе KDD Cup 1999 және NSL-KDD 2009, UNSW-NB15 және ISCX 2012 деректер жиынтығында жүргізілді. Талданған зерттеулердегі ең заманауи деректер жиынтығы-CSECIC – IDS2018. Машиналық оқытудың классикалық әдістеріне тән терең оқыту әдістерінің проблемасын атап өткен жөн: оларды оқыту үшін қазіргі заманғы деректерге сәйкес келмейтін ескірген теңгерімсіз деректер жиынтығын пайдалану. Қарастырылған зерттеулерде желіге рұқсатсыз енуді анықтау тапсырмасы үшін терең оқыту әдістерін қолдану көбінесе көп класты жіктеу тапсырмасы үшін жүзеге асырылады. Сапаны бағалау үшін барлық зерттеулер дұрыс жауаптардың үлесін пайдаланады (accuracy, ACC) және сапаны бағалаудың басқа жиі кездесетін көрсеткіштері-жұмыстың жартысына жуығында кездесетін дәлдік (дәлдік), толықтық (қалпына келтіру), F-Өлшем (F1) және анықтау жиілігі (DR) қолданылған.

Зерттеу әдіснамасы

1-суретте ұсынылған модельдің құрылымы үш негізгі модульден тұрады: теңгерімсіздікті өңдеу модулі, объектілерді кішірейту модулі және жіктеу модулі. Әрбір модуль гиперпараметрлік іздеу арқылы тәжірибе мен көптеген эксперименттер негізінде оңтайландырылған, бұл жақсы нәтиже алуды қамтамасыз етеді.



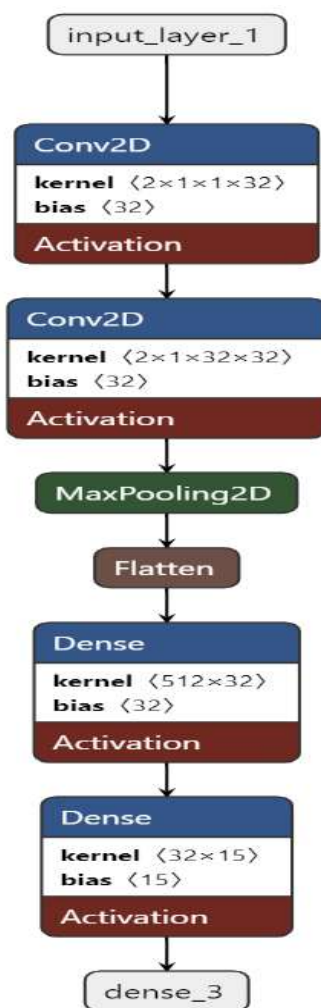
Сурет 1. Модельдің құрылымы

Теңгерімсіз деректерді қолдана отырып, желілік шабуылдарды анықтау міндеті үшін CICIDS2017 деректер жиынтығында MINI-VGGNet архитектурасына негізделген модель жасалды. CICIDS2017 — желілік шабуылдарды анықтауға арналған кеңінен қолданылатын деректер жинағы. Бұл жинақ 2017 жылы Канададағы Киберқауіпсіздік зерттеу орталығы (Canadian Institute for Cybersecurity) тарапынан жасалған. CICIDS2017 нақты әлемдік желілік трафикті имитациялайды және түрлі шабуылдардың кең спектрін қамтиды, соның ішінде DoS, DDoS, PortScan, Brute Force, XSS, SQL Injection және басқалар. Деректер жинағында трафиктің әртүрлі түрлері және BENIGN деп белгіленген қауіпсіз трафик бар, ол шабуылдардан бөлек желілік аномалияларды талдауға мүмкіндік береді. Бұл деректер жиынтығы желілік трафикті тиімді талдауға, шабуылдарды анықтауға арналған жасанды интеллект және машиналық оқыту алгоритмдерін оқытуда қолданылады [25]. Қарастырылып отырған деректер жиынтығы үшін деректерді алдын-ала өңдеу және іріктеу процедуралары егжей-тегжейлі жасалған.

Бұл модельдің басты артықшылығы-оның конволюциялық қабаттар (Conv2D) арқылы терең белгілерді алу қабілеті, бұл оны желілік шабуылдардың әртүрлі түрлерін анықтау сияқты күрделі жіктеу тапсырмаларына қолайлы етеді. Mini-VGGNet-Intrusion моделі әдеттегі Трафиктен (BENIGN) dos, DDoS, PortScan және т.б. сияқты шабуылдардың әртүрлі түрлеріне дейінгі желілік оқиғалардың 15 класын қамтитын көп класты жіктеу мәселесін шешуге

бейімделген. Mini-VGGNet — Intrusion-бұл желілік интрузияны анықтау тапсырмаларына арналған классикалық vggnet архитектурасының мамандандырылған модификациясы. 2014 жылы Симониан мен Зиссерман ұсынған түпнұсқа VGGNet кескінді жіктеу тапсырмаларына бағытталған терең және қуатты архитектурасымен танымал болды. Дегенмен, оны пайдалану көптеген қабаттар мен параметрлерге байланысты айтарлықтай есептеу ресурстарын қажет етеді. Жеңіл тапсырмалар үшін VGGNet негізгі принциптерін сақтайтын, бірақ қабаттары мен сүзгілері аз mini – VGGNet жеңілдетілген нұсқасы жасалды. Mini-VGGNet модельдің тереңдігін азайтады және аз көлемді деректерді өңдеу үшін жоғары тиімділікті сақтай отырып, оны аз ресурстарды қажет етеді.

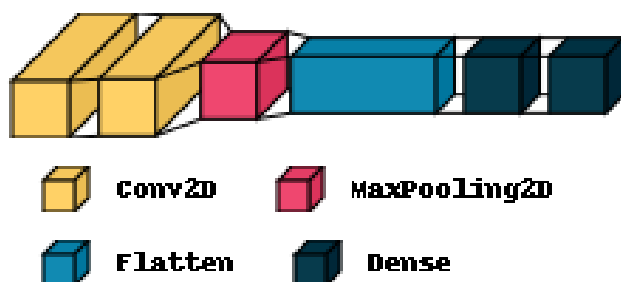
Берілген тапсырма үшін әзірленген Mini-VGGNet-Intrusion желілік деректерді талдау үшін оңтайландырылған осы архитектураны одан әрі бейімдеу болып табылады. Суреттерді өңдеу үшін сүзгілерді қолданатын түпнұсқа Mini-VGGNet-тен айырмашылығы, бұл модель (2×1) сүзгілерін қолдана отырып, бір өлшемді немесе екі өлшемді желілік деректерге бағытталған, бұл Кеңістіктік және уақыттық белгілерді кірістерден тиімді алуға мүмкіндік береді. 2-суретте visualkeras кітапханасы арқылы бейнеленген Mini-VGGNet-Intrusion моделінің архитектурасы көрсетілген. Модельге екі конволюциялық қабат, содан кейін MaxPooling2D, сондай-ақ 15 түрлі желілік шабуыл кластарын түпкілікті жіктеу үшін екі толық байланысқан қабат кіреді (2 – сурет). Бұл архитектура DoS, DDoS және басқа да шабуылдар сияқты желілік шабуылдарды жіктеу мәселесін шешу үшін арнайы жасалған, бұл оны тиімді және ресурстары шектеулі нақты жағдайларда пайдалануды салыстырмалы түрде жеңілдетеді.



Сурет 2. Модель архитектурасы

Модель жіктеу тапсырмалары үшін деректердің кеңістіктік белгілерін түсіруге көмектесетін бірнеше конволюциялық қабаттарды қолдану арқылы жасалған. Ол деректердің өлшемін азайту және қайта оқытудың алдын алу үшін пулингті пайдаланады. Конволюция мен біріктіруден кейінгі толық байланысқан қабаттар желілік интрузияларды жіктеуге көмектеседі, белгілерді сынып ықтималдығына айналдырады. Бұл модель желілік шабуылдарды 15 түрлі сыныпқа жіктеу үшін қолданылады. Ол көп класты жіктеу үшін Adam оңтайландырғышын және sparse categorical crossentropy жоғалту мүмкіндігін пайдаланады.

3- суретте модельдің негізгі қабаттарының реттілігін көрсететін Mini-VGGNet-Intrusion архитектурасының визуализациясы көрсетілген. Архитектура деректерден негізгі белгілерді бөлетін екі конволюциялық қабаттан (Conv2D) басталады, содан кейін MaxPooling2D қабаты белгілердің Өлшемін азайтады және есептеу тиімділігін арттырады. Әрі қарай, модель екі өлшемді деректерді бір өлшемді массивке толық байланысты қабаттарға (Dense) беру үшін түрлендіретін Flatten қабатын қамтиды. Бұл қабаттар кірістерді 15 класс бойынша жіктеуге жауап береді.



Сурет 3. Модельдің негізгі қабаттары

4- суретте синтезделген нейрондық желі моделінің қабаттарының сипаттамасы келтірілген.

Model: "sequential"

Layer (type)	Output Shape	Param #
conv2d (Conv2D)	(None, 18, 2, 32)	96
conv2d_1 (Conv2D)	(None, 17, 2, 32)	2,080
max_pooling2d (MaxPooling2D)	(None, 8, 2, 32)	0
flatten (Flatten)	(None, 512)	0
dense (Dense)	(None, 32)	16,416
dense_1 (Dense)	(None, 15)	495

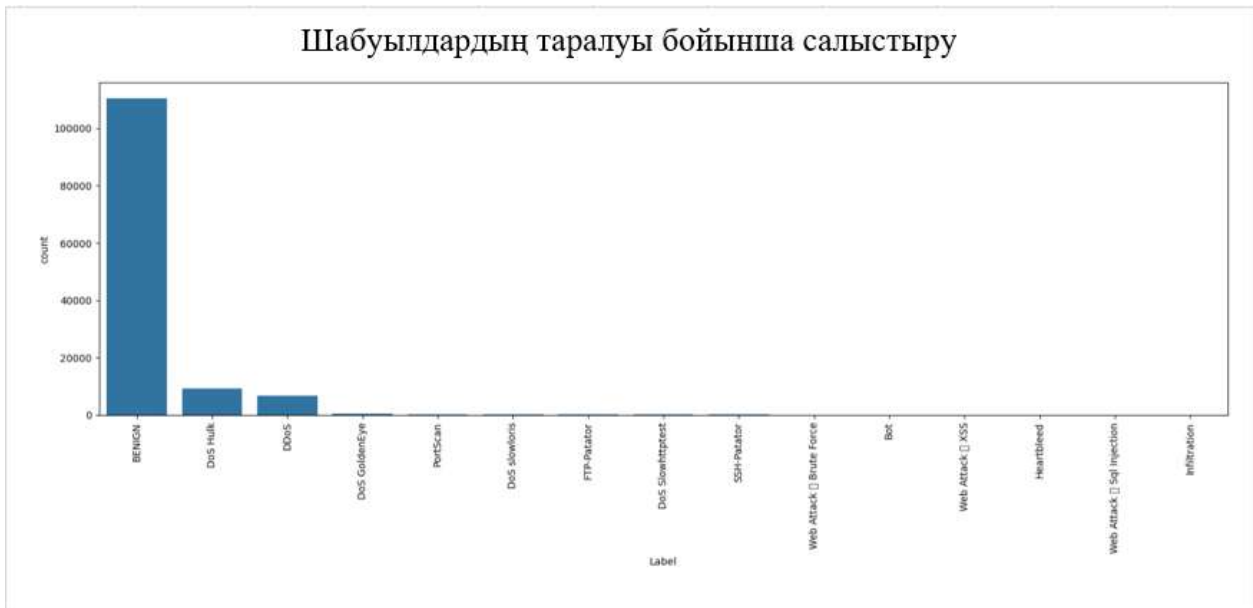
Total params: 57,263 (223.69 KB)
 Trainable params: 19,087 (74.56 KB)
 Non-trainable params: 0 (0.00 B)
 Optimizer params: 38,176 (149.13 KB)

Сурет 4. Модельдің қысқаша сипаттамасы

Зерттеу нәтижелері

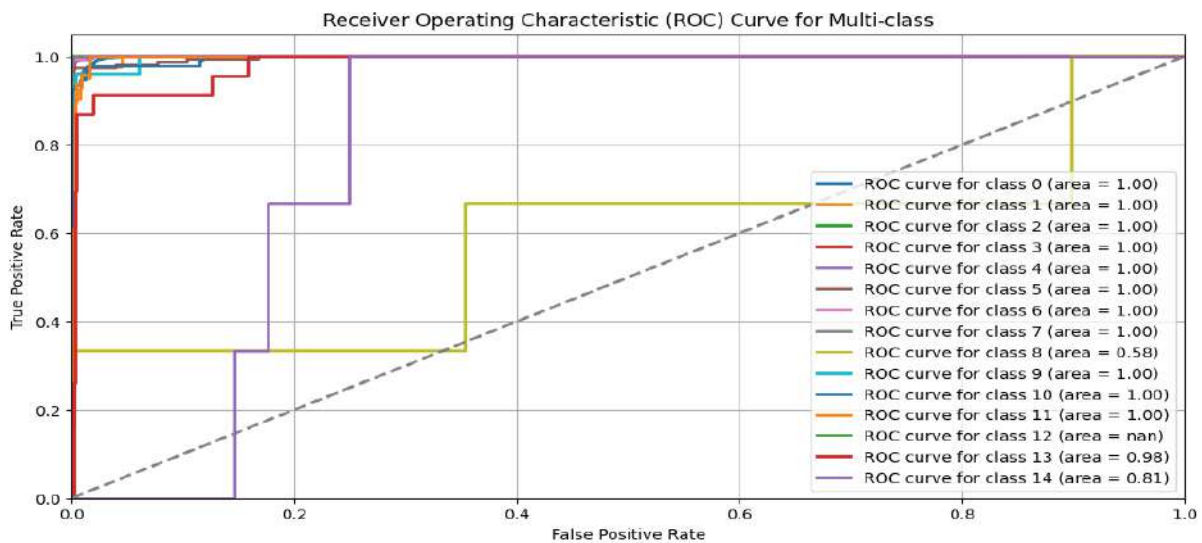
Бұл бөлімде ұсынылған модельдің архитектурасын пайдалану нәтижесінде алынған эксперименттік нәтижелерге назар аударылады.

5-суретте шабуылдардың таралуы бойынша салыстыру жүргізілді.



Сурет 5. Шабуылдардың таралуы бойынша салыстыру

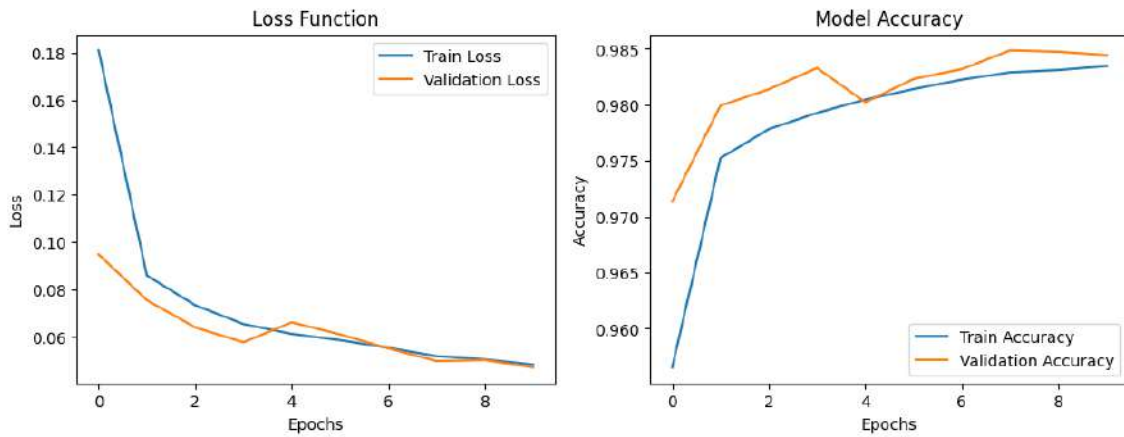
6-суретте 15 класс үшін ROC-кривалары көрсетілген, әрқайсысы түрлі классификация шектері бойынша нақты оң және жалған оң нәтижелер арасындағы байланысқа иллюстрация жасайды.



Сурет 6. Желіге рұқсатсыз енуі анықтауға арналған AUC-ROC қисығы

ROC-кривалары модельдің көпшілікті классты өте жақсы классификациялайтынын көрсетеді, мысалы, BENIGN, DoS Hulk, DDoS сияқты, мұнда AUC мәні 1.00. Алайда, Web Attack – XSS және Web Attack – SQL Injection класстары үшін AUC мәндері сәйкесінше 0.58 және 0.81 болып табылады, бұл модельдің дәлдігін жақсарту қажеттілігін білдіреді. Infiltration классы үшін AUC мәні есептелмеген, бұл деректердің жеткіліксіздігі немесе модельдің осы классты дұрыс анықтамауы мүмкін. Графиктегі сұр нүктелі сызық кездейсоқ классификацияны AUC = 0.5 ретінде көрсетеді, ал ROC-кривасы осы сызықтан неғұрлым алшақ болса, модель соғұрлым жақсы классификациялайды.

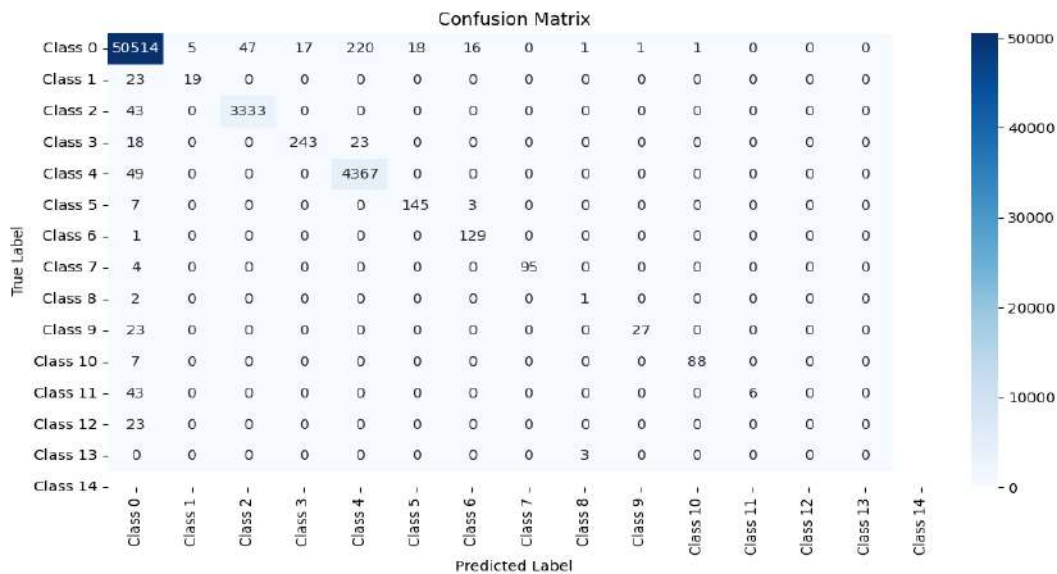
7-суретте модельдің өнімділігін және оқыту процесінің тиімділігін бағалау үшін жоғалту функциясы графигі (Loss Function) мен дәлдік графигі (Model Accuracy) пайдаланылды.



Сурет 7. Жоғалту функциясы графигі (Loss Function) және дәлдік графигі (Model Accuracy)

Жоғалту функциясы графигі: Модельдің қателігін көрсетеді. Жоғалту мәнінің төмендеуі модельдің үйреніп жатқанын және артық оқытуды анықтауға көмектеседі. Дәлдік графигі: Модельдің дұрыс болжамдарының пайызын көрсетеді. Оқыту мен валидация дәлдігін салыстыру арқылы артық оқытуды анықтауға және модельдің өнімділігін бақылауға болады. Бұл графиктер модельдің тиімділігін қадағалап, қажет болған жағдайда оның параметрлерін түзетуге мүмкіндік береді.

8-суретте қателіктерді талдауға, модель сапасының көрсеткіштерін есептеуге және сынып теңгерімсіздігін анықтауға мүмкіндік беретін конфузиялық қате матрицасы көрсетілген.



Сурет 8. Модельдің қате матрицасы

Mini-VGGNet-Intrusion дәстүрлі машиналық оқыту модельдерінен желіге рұқсатсыз енуді анықтау, деректерден күрделі белгілерді автоматты түрде алу қабілетінің арқасында артықшылыққа ие, бұл жіктеу дәлдігін жақсартады және деректерді қолмен өңдеу қажеттілігін азайтады.

2-кестеде машиналық оқыту моделдері мен ұсынылған терең оқыту моделінің алынған нәтижелерін салыстыру көрсетілген.

Кесте 2. Алынған нәтижелерді салыстыру

Қолданылған тәсілдер	Моделдер	Accuracy	Precision	Recall	F-score	ROC
Ұсынылған терең оқыту моделі	Mini-VGGNet-Intrusion	0.985	0.988	0.993	0.987	0.98
Машиналық оқыту моделдері	NB	0.874	0.832	0.863	0.851	0.92
	RF	0.851	0.854	0.822	0.856	0.77
	DT	0.602	0.524	0.585	0.642	0.65
	SVM	0.873	0.852	0.862	0.851	0.78
	KNN	0.856	0.839	0.831	0.837	0.92
	LR	0.862	0.853	0.837	0.858	0.78

Дискуссия

Ұсынылған модель желілік кіруді анықтау тапсырмасына бейімделген белгілі VGGNet архитектурасының модификациясы. Дегенмен, оның күрделілігі мен ресурс сыйымдылығы айтарлықтай есептеу ресурстарын қажет етеді, бұл оны ресурстары шектеулі немесе деректер көлемі аз тапсырмалар үшін әрқашан қолайлы ете бермейді. Архитектураны жеңілдету үшін MINI-VGGNet ұсынылды, ол түпнұсқа модельдің негізгі принциптерін сақтайды, бірақ қабаттар саны азаяды және желілік деректерді талдауға бейімдеді. Mini-VGGNet-Intrusion моделі Mini-VGGNet-тен ерекшеленеді, себебі ол суреттерді өңдеуге арналған стандартты сүзгілердің орнына, желілік деректерден кеңістіктік және уақыттық белгілерді тиімді түрде алуға арналған арнайы өлшемді сүзгілерді қолданады. Модель екі конволюциялық қабат, бір MaxPooling2D қабаты және екі толық байланысқан қабаттан тұрады. Бұл архитектура желілік шабуылдарды, соның ішінде DoS және DDoS сияқты 15 түрлі класты дәл анықтауға арналған. Модельдің қарапайым құрылымы мен төмен ресурстық талаптары терең желілерге қарағанда жоғары жіктеу дәлдігін сақтай отырып, есептеу ресурстарын үнемдейді. Ұсынылған модельдің желіге рұқсатсыз енуді анықтауда көптеген артықшылықтары бар, бірақ бірнеше шектеулері де бар. Біріншіден, модель уақыттық реттіліктерді тиімді меңгергенімен, оның күрделілігі мен есептеулер көп уақыт пен ресурсты талап етеді, бұл желі қауіпсіздігі үшін жылдамдық маңызды болған жағдайда қиындықтар тудыруы мүмкін. Екіншіден, ресурстары шектеулі немесе деректер көлемі аз тапсырмалар үшін әрқашан қолайлы ете бермейді.

Қорытынды

Қорытындылай келе, ұсынылған Mini-VGGNet-Intrusion моделі, әсіресе теңгерімсіз деректер жағдайында, желілік интрузияларды анықтауда айтарлықтай жетістіктер мен нәтижелер көрсетті. Оның конволюциялық қабаттарға негізделген архитектурасы шабуылдардың көптеген түрлері үшін жоғары жіктеу дәлдігін қамтамасыз етеді, бұл оны нақты интрузияны анықтау және алдын алу жүйелерінде (IDS/IPS) қолдануға мүмкіндік береді. Дегенмен, кейбір шабуылдардың жіктелуін жақсарту үшін деректердің теңгерімсіздігімен күресу әдістерін қосымша конфигурациялау және қолдану қажет. Mini-VGGNet-Intrusion классикалық VGGNet архитектурасын желілік интрузияны анықтау тапсырмасына сәтті бейімдеуді көрсетеді. Архитектураны жеңілдету және желілік деректерді оңтайландыру арқылы модель төмен есептеу шығындарын сақтай отырып, мүмкіндіктерді тиімді шығарады және дәл жіктеуді қамтамасыз етеді. Бұл оны дәстүрлі терең нейрондық желілер тым көп ресурстарды қажет ететін жағдайларда жұмыс істеуге қолайлы етеді. Осылайша, Mini-VGGNet-Intrusion дәлдік пен есептеу ресурстары арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз ететін желілік шабуылдарды анықтаудың тиімді шешімін ұсынады.

Пайдаланылган дереккөздер тізімі

- [1] Сычев Д.И. Методы машинного и глубокого обучения для систем обнаружения вторжений: обзор и анализ // *Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности*. – 2023. –Т. 8 № 4(30) с. 9–17
- [2] Mohammadi S., Namadchian A. Anomaly-based Web Attack Detection: The Application of Deep Neural Network Seq2Seq With Attention Mechanism. *The ISC International Journal of Information Security*, vol. 12, issue 1, 2020, pp. 44-54. DOI: 10.22042/iseure.2020.199009.479.
- [3] Гайфулина Д.А., Котенко И.В. Применение методов глубокого обучения в задачах кибербезопасности. Часть 1 // *Вопросы кибербезопасности*, вып. №3 (37), 2020 г., стр. 76-86. DOI: 10.21681/2311-3456-2020-03-76-86.. Rosenblatt F. The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological review*, vol. 65, issue 6, 1958, pp. 386-408. DOI: 10.1037/H0042519.
- [4] Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. Learning Internal Representations by Error Propagation. In: Rumelhart, D.E. and McClelland, J.L., The PDP Group, Eds., *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition, Volume 1, Foundations*, MIT Press, Cambridge, 1985, pp. 318-362.
- [5] Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning*. MIT Press, 2016. Available at: <http://www.deeplearningbook.org>.
- [6] Culurciello E. The fall of RNN / LSTM (2018). Available at: <https://towardsdatascience.com/the-fall-of-rnn-lstm-2d1594c74ce0>.
- [7] Google Scholar. Available at: <https://scholar.google.com>, accessed 04.10.2023.
- [8] Harzing A.W. Publish or Perish (2007). Available at: <https://harzing.com/resources/publish-or-perish>.
- [9] Jiang K., Wang W., Wang A., Wu H. Network Intrusion Detection Combined Hybrid Sampling With Deep Hierarchical Network. *IEEE Access*, vol. 8, 2020, pp. 32464-32476. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2973730.
- [10] Vigneswaran R.K., Vinayakumar R., Soman K.P., Poornachandran P. Evaluating Shallow and Deep Neural Networks for Network Intrusion Detection Systems in Cyber Security. 2018 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT), 2018, pp. 1-6. DOI: 10.1109/ICCCNT.2018.8494096.
- [11] Khan M.A. HCRNNIDS: Hybrid Convolutional Recurrent Neural Network-Based Network Intrusion Detection System. *Processes*, vol. 9, issue 5: 834, 2021, 14 p. DOI: 10.3390/pr9050834.
- [12] Xiao Y., Xing C., Zhang T., Zhao Z. An Intrusion Detection Model Based on Feature Reduction and Convolutional Neural Networks. *IEEE Access*, vol. 7, 2019, pp. 42210-42219. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2904620.
- [13] Li Z., Qin Z., Huang K., Yang X., Ye S. Intrusion Detection Using Convolutional Neural Networks for Representation Learning. In: Liu D., Xie S., Li Y., Zhao D., El-Alfy ES. (eds) *Neural Information Processing. ICONIP 2017. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 10638. Springer, Cham, 2017, pp. 858-866. DOI: 10.1007/978-3-319-70139-4_87.
- [14] Yin C., Zhu Y., Fei J., He X. A Deep Learning Approach for Intrusion Detection Using Recurrent Neural Networks. *IEEE Access*, vol. 5, 2017, pp. 21954-21961. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2762418.
- [15] Sheikhan M., Jadidi Z., Farrokhi A. Intrusion detection using reduced-size RNN based on feature grouping. *Neural Computing and Applications - NCA*, vol. 21, no. 6, 2012, pp. 1185–1190. DOI: 10.1007/s00521-010-0487-0.
- [16]. Sumaiya Thaseen I., Saira Banu J., Lavanya K., Rukunuddin Ghalib M., Abhishek K. An integrated intrusion detection system using correlation-based attribute selection and artificial neural network. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, vol. 32, issue 2: e4014, 2021, 15 p. DOI: 10.1002/ett.4014.
- [17] Ramaiah M., Chandrasekaran V., Ravi V., Kumar N. An intrusion detection system using optimized deep neural network architecture. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, vol. 32, issue 4: e4221, 2021, 17 p. DOI: 10.1002/ett.4221.
- [18] Xu C., Shen J., Du X., Zhang F. An Intrusion Detection System Using a Deep Neural Network With Gated Recurrent Units. *IEEE Access*, vol. 6, 2018, pp. 48697-48707. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2867564.

- [19] Le T.-T.-H., Kim Y., Kim H. *Network Intrusion Detection Based on Novel Feature Selection Model and Various Recurrent Neural Networks*. *Applied Sciences*, vol. 9, no. 7: 1392, 2019, 29 p. DOI: 10.3390/app9071392.
- [20] Drewek-Ossowicka A., Pietrolaj M., Rumiński J. *A survey of neural networks usage for intrusion detection systems*. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 12, 2021, pp. 497–514. DOI: 10.1007/s12652-020-02014-x.
- [21] Liu H., Lang B. *Machine Learning and Deep Learning Methods for Intrusion Detection Systems: A Survey*. *Applied Sciences*, vol. 9, no. 20: 4396, 2019, 28 p. DOI: 10.3390/app9204396.
- [22] Getman A.I., Goryunov M.N., Matskevich A.G., Rybolovlev D.A., Nikolskaya A.G. *Deep Learning Applications for Intrusion Detection in Network Traffic*. *Trudy ISP RAN/Proc. ISP RAS*, vol. 35, issue 4, 2023. pp. 65-92.
- [23] *Intrusion Detection Evaluation Dataset (CICIDS2017)*. Available at: <https://www.unb.ca/cic/datasets/ids2017.html>, accessed 16.08.2020

References

- [1] Sychev D.I. *Metody mashinnogo i glubokogo obucheniya dlya sistem obnaruzheniya vtorzheniy: obzor i analiz // Mezhdunarodnyy zhurnal informatsionnykh tekhnologiy i energoeffektivnosti. – 2023. – T. 8 № 4(30). – S. 9–17.*
- [2] Mohammadi S., Namadchian A. *Anomaly-based Web Attack Detection: The Application of Deep Neural Network Seq2Seq With Attention Mechanism*. *The ISC International Journal of Information Security*, vol. 12, issue 1, 2020, pp. 44-54. DOI: 10.22042/isecure.2020.199009.479.
- [3] Gayfulina D.A., Kotenko I.V. *Primenenie metodov glubokogo obucheniya v zadachakh kiberbezopasnosti. Chast' 1 // Voprosy kiberbezopasnosti. – 2020. – Vyp. №3 (37). – S. 76-86. DOI: 10.21681/2311-3456-2020-03-76-86.*
- [4] Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. *Learning Internal Representations by Error Propagation*. In: Rumelhart, D.E. and McClelland, J.L., *The PDP Group, Eds., Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition, Volume 1, Foundations*, MIT Press, Cambridge, 1985, pp. 318-362.
- [5] Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning*. MIT Press, 2016. Available at: <http://www.deeplearningbook.org>.
- [6] Culurciello E. *The fall of RNN / LSTM (2018)*. Available at: <https://towardsdatascience.com/the-fall-of-rnn-lstm-2d1594c74ce0>.
- [7] Google Scholar. Available at: <https://scholar.google.com>, accessed 04.10.2023.
- [8] Harzing A.W. *Publish or Perish (2007)*. Available at: <https://harzing.com/resources/publish-or-perish>.
- [9] Jiang K., Wang W., Wang A., Wu H. *Network Intrusion Detection Combined Hybrid Sampling With Deep Hierarchical Network*. *IEEE Access*, vol. 8, 2020, pp. 32464-32476. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2973730.
- [10] Vigneswaran R.K., Vinayakumar R., Soman K.P., Poornachandran P. *Evaluating Shallow and Deep Neural Networks for Network Intrusion Detection Systems in Cyber Security*. *2018 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, 2018, pp. 1-6. DOI: 10.1109/ICCCNT.2018.8494096.
- [11] Khan M.A. *HCRNNIDS: Hybrid Convolutional Recurrent Neural Network-Based Network Intrusion Detection System*. *Processes*, vol. 9, issue 5: 834, 2021, 14 p. DOI: 10.3390/pr9050834.
- [12] Xiao Y., Xing C., Zhang T., Zhao Z. *An Intrusion Detection Model Based on Feature Reduction and Convolutional Neural Networks*. *IEEE Access*, vol. 7, 2019, pp. 42210-42219. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2904620.
- [13] Li Z., Qin Z., Huang K., Yang X., Ye S. *Intrusion Detection Using Convolutional Neural Networks for Representation Learning*. In: Liu D., Xie S., Li Y., Zhao D., El-Alfy ES. (eds) *Neural Information Processing. ICONIP 2017. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 10638. Springer, Cham, 2017, pp. 858-866. DOI: 10.1007/978-3-319-70139-4_87.
- [14] Yin C., Zhu Y., Fei J., He X. *A Deep Learning Approach for Intrusion Detection Using Recurrent Neural Networks*. *IEEE Access*, vol. 5, 2017, pp. 21954-21961. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2762418.

[15] Sheikhan M., Jadidi Z., Farrokhi A. *Intrusion detection using reduced-size RNN based on feature grouping*. *Neural Computing and Applications - NCA*, vol. 21, no. 6, 2012, pp. 1185–1190. DOI: 10.1007/s00521-010-0487-0.

[16]. Sumaiya Thaseen I., Saira Banu J., Lavanya K., Rukunuddin Ghalib M., Abhishek K. *An integrated intrusion detection system using correlation-based attribute selection and artificial neural network*. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, vol. 32, issue 2: e4014, 2021, 15 p. DOI: 10.1002/ett.4014.

[17] Ramaiah M., Chandrasekaran V., Ravi V., Kumar N. *An intrusion detection system using optimized deep neural network architecture*. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, vol. 32, issue 4: e4221, 2021, 17 p. DOI: 10.1002/ett.4221.

[18] Xu C., Shen J., Du X., Zhang F. *An Intrusion Detection System Using a Deep Neural Network With Gated Recurrent Units*. *IEEE Access*, vol. 6, 2018, pp. 48697-48707. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2867564.

[19] Le T.-T.-H., Kim Y., Kim H. *Network Intrusion Detection Based on Novel Feature Selection Model and Various Recurrent Neural Networks*. *Applied Sciences*, vol. 9, no. 7: 1392, 2019, 29 p. DOI: 10.3390/app9071392.

[20] Drewek-Ossowicka A., Pietrolaj M., Rumiński J. *A survey of neural networks usage for intrusion detection systems*. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 12, 2021, pp. 497–514. DOI: 10.1007/s12652-020-02014-x.

[21] Liu H., Lang B. *Machine Learning and Deep Learning Methods for Intrusion Detection Systems: A Survey*. *Applied Sciences*, vol. 9, no. 20: 4396, 2019, 28 p. DOI: 10.3390/app9204396.

[22] Getman A.I., Goryunov M.N., Matskevich A.G., Rybolovlev D.A., Nikolskaya A.G. *Deep Learning Applications for Intrusion Detection in Network Traffic*. *Trudy ISP RAN/Proc. ISP RAS*, vol. 35, issue 4, 2023. pp. 65-92.

[23] *Intrusion Detection Evaluation Dataset (CICIDS2017)*. Available at: <https://www.unb.ca/cic/datasets/ids2017.html>, accessed 16.08.2020

Р.М. Оспанов¹, Е.Н. Сейткулов^{1*}, Б.Б. Ергалиева¹,
К.А. Утебаев², С.К. Атанов¹

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

²Алматинский филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»

*e-mail: yerzhan.seitkulov@gmail.com

TANBA-SPHINCS⁺ - ПОСТКВАНТОВЫЙ КРИПТОГРАФИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ, ОСНОВАННОЙ НА ХЕШИРОВАНИИ

Аннотация

Целью работы является исследование и разработка нового постквантового алгоритма цифровой подписи, основанной на хешировании. В настоящее время одним из направлений постквантовой криптографии является исследование и разработка криптографических алгоритмов, основанных на хешировании. Безопасность таких алгоритмов основывается на использовании свойств безопасности криптографических хеш-функций. Известной постквантовой схемой цифровых подписей, основанной на хешировании, является схема SPHINCS⁺, ставшая основой одного из современных стандартов постквантовой криптографии. В данной работе рассматривается новый алгоритм цифровой подписи TANBA-SPHINCS⁺, являющийся модификацией SPHINCS⁺. Алгоритм использует криптографическую хеш-функцию TANBA, разработанную на базе модифицированной схемы Sponge, где вместо одной внутренней функции применяется множество внутренних функций. Алгоритм TANBA-SPHINCS⁺ сохраняет ключевые свойства SPHINCS⁺, включая устойчивость к квантовым атакам и независимость от сложных криптографических предположений. Это делает алгоритм перспективным решением для задач постквантовой криптографии, позволяя адаптировать его под конкретные требования безопасности и производительности.

Ключевые слова: криптографический алгоритм, цифровая подпись, криптографическая хеш-функция, постквантовая криптография, асимметричная криптография.

Р.М. Оспанов¹, Е.Н. Сейткулов¹, Б.Б. Ергалиева¹, К.А. Утебаев², С.К. Атанов¹

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

²Мәскеу инженерлік-физикалық институтының Ұлттық зерттеу ядролық университетінің Алматы филиалы

TANBA-SPHINCS⁺ - ХЕШТЕУ НЕГІЗДЕЛГЕН ЦИФРЛЫҚ ҚОЛТАҢБАҒА АРНАЛҒАН ПОСТКВАНТТЫҚ КРИПТОГРАФИЯЛЫҚ АЛГОРИТМ

Аңдатпа

Бұл жұмыстың мақсаты хэшингке негізделген жаңа посткванттық цифрлық қолтаңба алгоритмін зерттеу және әзірлеу болып табылады. Қазіргі уақытта посткванттық криптографияның бір саласы хэштеу негізінде криптографиялық алгоритмдерді зерттеу және әзірлеу болып табылады. Мұндай алгоритмдердің қауіпсіздігі криптографиялық хэш функцияларының қауіпсіздік қасиеттерін пайдалануға негізделген. Хэшингке негізделген белгілі посткванттық цифрлық қолтаңба схемасы посткванттық криптографияның заманауи стандарттарының біріне негіз болған SPHINCS⁺ схемасы болып табылады. Бұл мақалада SPHINCS⁺ модификациясы болып табылатын TANBA-SPHINCS⁺ жаңа цифрлық қолтаңба алгоритмі талқыланады. Алгоритм TANBA криптографиялық хэш функциясын пайдаланады, ол өзгертілген Sponge схемасына негізделген, мұнда бір ішкі функцияның орнына бірнеше ішкі функциялар пайдаланылады. TANBA-SPHINCS⁺ алгоритмі SPHINCS⁺ негізгі қасиеттерін, соның ішінде кванттық шабуылдарға төзімділікті және күрделі криптографиялық жорамалдардан тәуелсіздікті сақтайды. Бұл алгоритмді арнайы қауіпсіздік пен өнімділік талаптарына бейімдеуге мүмкіндік беретін пост кванттық криптографиялық тапсырмалар үшін перспективалы шешімге айналдырады.

Түйін сөздер: криптографиялық алгоритм, цифрлық қолтаңба, криптографиялық хэш функциясы, посткванттық криптография, асимметриялық криптография.

R.M.Ospanov¹, Ye.N.Seitkulov¹, B.B. Yergaliyeva¹, K.A. Utebayev², S.K. Atanov¹

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

²Almaty branch of the National Research Nuclear University of Moscow Engineering Physics Institute

TANBA-SPHINCS⁺ - POST-QUANTUM CRYPTOGRAPHIC HASH-BASED DIGITAL SIGNATURE ALGORITHM

Abstract

The goal of this work is to study and develop a new post-quantum algorithm for a hash-based digital signature. Currently, one of the areas of post-quantum cryptography is the study and development of hash-based cryptographic algorithms. The security of such algorithms is based on the use of security properties of cryptographic hash functions. A well-known post-quantum scheme of hash-based digital signatures is the SPHINCS⁺ scheme, which became the basis for one of the modern standards of post-quantum cryptography. This paper considers a new digital signature algorithm TANBA-SPHINCS⁺, which is a modification of SPHINCS⁺. The algorithm uses the TANBA cryptographic hash function, developed on the basis of a modified Sponge scheme, where multiple internal functions are used instead of one internal function. The TANBA-SPHINCS⁺ algorithm preserves key properties of SPHINCS⁺, including resistance to quantum attacks and independence from complex cryptographic assumptions. This makes the algorithm a promising solution for post-quantum cryptography tasks, allowing it to be adapted to specific security and performance requirements.

Keywords: cryptographic algorithm, digital signature, cryptographic hash function, post-quantum cryptography, asymmetric cryptography.

Основные положения

В данной работе рассматривается постквантовый криптографический алгоритм цифровой подписи, основанный на хешировании, TANBA-SPHINCS⁺. Алгоритм представляет собой вариант реализации постквантовой схемы цифровой подписи SPHINCS⁺. В этом варианте используется криптографическая хеш-функция TANBA, разработанная на базе модифицированной схемы Sponge, в которой применяются множество внутренних функций вместо одной. Такой подход обеспечивает высокую устойчивость к криптоаналитическим атакам и адаптируемость под различные требования безопасности. TANBA-SPHINCS⁺ сохраняет ключевые преимущества SPHINCS⁺, включая долгосрочную стойкость к атакам на квантовых компьютерах, и расширяет возможности схемы за счет инновационного подхода к конструкции хеш-функций. Это делает алгоритм перспективным решением для задач постквантовой криптографии.

Введение

В августе 2024 года Национальный институт стандартов и технологий США (NIST) официально объявил о первых трех завершенных стандартах проекта по стандартизации алгоритмов постквантовой криптографии и их готовности к немедленному использованию. Криптографические алгоритмы, представленные в новых стандартах, предназначены для решения двух основных криптографических задач: общее шифрование, используемое для защиты информации, передаваемой через общедоступную сеть, и цифровые подписи, используемые для аутентификации личности [1]. И главное их общее свойство – это криптографическая стойкость к атакам на квантовых компьютерах.

Стандарт FIPS 203 [2], предназначенный в качестве основного стандарта для общего шифрования, основан на алгоритме CRYSTALS-Kyber. В стандарте это алгоритм переименован в ML-KEM, сокращение от Module-Lattice-Based Key-Encapsulation Mechanism.

Стандарт FIPS 204 [3], предназначенный в качестве основного стандарта цифровых подписей, основан на алгоритме CRYSTALS-Dilithium. В стандарте это алгоритм переименован в ML-DSA, сокращение от Module-Lattice-Based Digital Signature Algorithm.

Стандарт FIPS 205 [4], предназначенный в качестве резервного стандарта цифровых подписей, основан на алгоритме SPHINCS⁺ [5],[6], который был переименован в SLH-DSA, сокращение от Stateless Hash-Based Digital Signature Algorithm, т.е. алгоритм цифровой

подписи, основанной на хешировании, без сохранения состояния. Стандарт основан на другом математическом подходе, чем ML-DSA, и он предназначен в качестве резервного метода на случай, если ML-DSA окажется уязвимым.

Подход, применяемый в SPHINCS⁺, состоит в использовании свойств безопасности криптографических хеш-функций для обеспечения безопасности цифровых подписей. Также такой метод позволяет проектировать алгоритмы цифровой подписи с любой безопасной криптографической хеш-функцией. Таким образом, если однажды в выбранной хеш-функции в будущем будет обнаружена уязвимость, то надо просто поменять её на новую безопасную хеш-функцию, тем самым сохраняя безопасность алгоритма цифровой подписи в целом. SPHINCS⁺ представляет собой схему для построения семейства алгоритмов цифровой подписи. Так, изначально, в SPHINCS⁺ рассматриваются варианты реализации с использованием алгоритмов SHA2, SHAKE и Haraka, а в версии схемы, изложенной в стандарте FIPS 205, т.е. в SLH-DSA, оставили варианты с SHA2 и SHAKE. В работе [7] рассматривается реализация SPHINCS⁺ с использованием криптографической хеш-функции «Стрибог», описываемой в российском стандарте ГОСТ Р 34.11-2018 [8]. В работе [9] предлагается схема цифровой подписи, основанной на хешировании, K-SPHINCS⁺, в которой хеш-функции из SPHINCS⁺ заменены на корейские криптографические алгоритмы LSH, SHAM и LEA.

В данной работе предлагается новый вариант реализации схемы SPHINCS⁺ с использованием криптографической хеш-функции TANBA, построенной на основе модифицированной схемы Sponge [10].

Методология исследования

Предлагаемый в данной работе криптографический алгоритм цифровой подписи основан на двух схемах, схеме цифровой подписи SPHINCS⁺ и модифицированной схеме криптографической хеш-функции TANBA. И, таким образом, называется TANBA-SPHINCS⁺.

Формально схему цифровой подписи можно определить следующим образом.

Пусть Σ – некоторый алфавит.

Σ^n , $n \in \mathbb{N}$ – множество всех слов длины n над алфавитом Σ .

Σ^∞ – множество всех слов над алфавитом Σ .

Схема цифровой подписи представляет собой некоторую совокупность алгоритмов, как минимум включающая в себя алгоритм формирования ключевой пары, алгоритм формирования цифровой подписи, алгоритм проверки цифровой подписи.

Алгоритмом формирования ключевой пары называется преобразование $G_A: 1^k \rightarrow \Sigma^{f_1(k)} \times \Sigma^{f_2(k)}$. Входные данные алгоритма составляет глобальная информация I , которая может содержать, например, параметр безопасности, некоторые математические параметры, описание используемой криптографической хеш-функции. В результате работы алгоритма получают пару открытого и закрытого ключей.

Алгоритмом формирования цифровой подписи называется преобразование $S_A: \Sigma^\infty \rightarrow \Sigma^n$. Аргументы этого преобразования называются сообщениями. Значения преобразования называются цифровыми подписями (соответствующих сообщений). Входными данными алгоритма являются сообщение M , глобальная информация I , закрытый ключ. В результате работы алгоритма получают сообщение M с подписью.

Алгоритмом проверки цифровой подписи называется преобразование $V_A: \Sigma^\infty \times \Sigma^n \rightarrow \{\text{true}, \text{false}\}$. Входными данными алгоритма являются открытый ключ, сообщение M и подпись. В результате работы алгоритма подпись принимается, если она действительна, или отклоняется в противном случае.

Схема цифровой подписи SPHINCS⁺ представляет собой совокупность следующих алгоритмов: алгоритм формирования ключевой пары, алгоритм формирования цифровой подписи и алгоритм проверки цифровой подписи [5], [6].

Пусть $M = m_1 m_2 \dots m_k$, $m_i \in \{0,1\}$ – k -битное сообщение.

Алгоритм формирования ключевой пары (генерация секретного и открытого ключей) определяется следующим образом.

Пусть G – криптографически стойкий генератор псевдослучайных чисел. С помощью генератора G получают n -битовые sk_{seed} , pk_{seed} и sk_{prf} . Тогда секретный ключ будет состоять из sk_{seed} , sk_{prf} , pk_{seed} и pk_{root} ($sk = sk_{seed} \parallel sk_{prf} \parallel pk_{seed} \parallel pk_{root}$), а открытый ключ будет состоять из pk_{seed} и pk_{root} ($pk = pk_{seed} \parallel pk_{root}$). Здесь pk_{root} – открытый ключ гипердерева, т. е. открытый ключ (корневой узел) единственного дерева XMSS на верхнем слое.

Алгоритм формирования цифровой подписи определяется следующим образом.

Входными данными являются сообщение M и секретный ключ $sk = sk_{seed} \parallel sk_{prf} \parallel pk_{seed} \parallel pk_{root}$.

Во-первых, генерируется n -битовая строка рандомизации $R = PRF_{msg}(sk_{prf}, opt, M)$, где $PRF_{msg}: \{0,1\}^n \times \{0,1\}^n \times \{0,1\}^* \rightarrow \{0,1\}^n$ – псевдослучайная функция, opt – некоторое дополнительное случайное n -битовое значение. Затем, используя R , вычисляется $dg = H_{msg}(R, pk_{seed}, pk_{root}, M)$, где $H_{msg}: \{0,1\}^n \times \{0,1\}^n \times \{0,1\}^n \times \{0,1\}^* \rightarrow \{0,1\}^m$ – хеш-функция с ключом. Далее, используя вычисленное значение dg , определяются md_{temp} – первые $\lfloor (k \log_2 t + 7)/8 \rfloor$ байтов dg , ti_{temp} – следующие $\lfloor (h - h/d + 7)/8 \rfloor$ байтов dg , li_{temp} – следующие $\lfloor (h/d + 7)/8 \rfloor$ байтов dg . Далее определяются md – первые $k \log_2 t$ битов md_{temp} , ti – первые $h - h/d$ битов ti_{temp} , li – первые h/d битов li_{temp} . Используя полученные значения, последовательно определяются σ_{FORS} – подпись FORS и σ_{HT} – подпись гипердерева. Тогда подпись будет состоять из полученных R , σ_{FORS} и σ_{HT} ($\sigma = R \parallel \sigma_{FORS} \parallel \sigma_{HT}$).

Алгоритм проверки цифровой подписи определяется следующим образом.

Входными данными являются сообщение M , подпись $\sigma = R \parallel \sigma_{FORS} \parallel \sigma_{HT}$ и открытый ключ $pk = pk_{seed} \parallel pk_{root}$.

Во-первых, вычисляется $dg = H_{msg}(R, pk_{seed}, pk_{root}, M)$, определяются md_{temp} – первые $\lfloor (k \log_2 t + 7)/8 \rfloor$ байтов dg , ti_{temp} – следующие $\lfloor (h - h/d + 7)/8 \rfloor$ байтов dg , li_{temp} – следующие $\lfloor (h/d + 7)/8 \rfloor$ байтов dg , затем определяются md – первые $k \log_2 t$ битов md_{temp} , ti – первые $h - h/d$ битов ti_{temp} , li – первые h/d битов li_{temp} . Далее выполняется вычисление кандидата на открытый ключ FORS и проверка подписи гипердерева на этом открытом ключе.

Криптографическая хеш-функция TANBA основана на модифицированной схеме Sponge, в которой используется множество внутренних функций [10].

Схема Sponge для вычисления хеш-значения заданного сообщения представляет собой алгоритм, состоящий из следующих преобразований: дополнение (padding), в результате которого входное сообщение дополняется некоторым количеством битов так, чтобы длина дополненного сообщения была кратна заданной длине блока сообщения; инициализация состояния, при котором устанавливается начальное (корневое) значение так называемого состояния, битовой последовательности некоторой определенной длины; «впитывание» (absorbing), при котором итеративно обрабатываются фрагменты сообщения определенной фиксированной длины, путем побитового сложения их с соответствующим фрагментом состояния, и затем применения к измененному состоянию заданной внутренней функции; «выжимание» (squeezing), при котором последовательно выводятся биты конечного хеш-значения путем извлечения битов из состояния и последующего применения к нему внутренней функции [11], [12].

Центральным компонентом схемы внутренняя функция, которая является либо перестановкой, либо преобразованием некоторой фиксированной длины. В предложенной в [10] модифицированной схеме вместо использования одной фиксированной внутренней функции, в процессе работы применяется набор внутренних функций. Выбор одной из них в

итерациях «впитывания» и «выжимания» осуществляется с помощью некоторой функции выбора, например, псевдослучайной функции.

В алгоритме TANBA начальное значение состояния состоит из определенного количества битов «0», за которыми следует 80-битное UNICODE-представление слова TANBA (в казахской транскрипции) (0...0 0000 0100 0010 0010 0000 0100 0001 0000 0000 0100 1010 0010 0000 0100 0001 0001 0000 0100 0001 0000).

Функция выбора, построенная с помощью демультимплексоров, корректора фон Неймана и XOR корректора, позволяет выбирать внутреннюю функцию из множества трех функций, описанных в [10]. Однако можно построить функцию выбора, работающую с любым количеством внутренних функций.

Выбор схемы SPHINCS⁺ в качестве основы для проектирования криптографического алгоритма цифровой подписи обосновывается следующими важными факторами.

Схема SPHINCS⁺ представляет собой гибкий фреймворк для построения квантово-устойчивых цифровых подписей, основанный на использовании свойств безопасности криптографических хеш-функций. Схема позволяет проектировать алгоритмы цифровой подписи с любой безопасной криптографической хеш-функцией. Таким образом, достаточно только выбирать новую безопасную криптографическую хеш-функцию каждый раз, как будут обнаружены проблемы с уже используемой в схеме хеш-функцией. Это в целом позволяет управлять безопасностью алгоритма цифровой подписи в целом. В работах [7], [9] предлагаются такие реализации схемы с заменой используемых криптографических хеш-функций.

Кроме того, схема SPHINCS⁺ прошла все этапы конкурса NIST по выбору постквантовых криптографических алгоритмов, и в итоге на ее основе был принят стандарт FIPS 205 [4], предназначенный в качестве резервного стандарта цифровых подписей.

Алгоритм активно исследовался на протяжении прошедших лет, и никаких уязвимостей обнаружено не было [13], [14], [15].

Выбор схемы TANBA в качестве основы для проектирования криптографической хеш-функции, используемой в схеме SPHINCS⁺, обосновывается следующими причинами.

Схема TANBA разработана на базе модифицированной схемы Sponge, в которой применяются множество внутренних функций вместо одной. Схема Sponge является известным фреймворком для построения криптографических хеш-функций. На основе ее была разработана известная криптографическая хеш-функция Кескак [16], вошедшая в стандарт FIPS 202 “SHA-3 Standard: Permutation-Based Hash and Extendable-Output Functions” [17].

Предполагается, что использование множества внутренних функций повышает устойчивость к атакам, направленным на компрометацию одной внутренней функции, и обеспечивает дополнительную гибкость и адаптивность алгоритма.

Результаты исследования

Предлагаемый в данной работе алгоритм TANBA-SPHINCS⁺ является реализацией схемы SPHINCS⁺, в которой хеш-функции из SPHINCS⁺ заменены на хеш-функцию TANBA. В целом алгоритм представляет собой совокупность трех алгоритмов: алгоритм генерации открытого и секретного ключей, алгоритм генерации подписи и алгоритм проверки подписи. Алгоритм TANBA-SPHINCS⁺ использует те же параметры и структуры, что и SPHINCS⁺.

Параметры определяются следующим образом.

Параметр безопасности в байтах n задает длину выходных данных почти всех используемых внутри алгоритма семейств криптографических функций, а также размер практически любого узла в структуре алгоритма и, таким образом, размер всех элементов в подписи, т. е. размер подписи кратен n . $n = 32$

Параметр Винтерница w задает количество и длину цепочек хешей WOTS⁺. Параметр связан с размером и скоростью подписи. Чем больше значение параметра, тем короче подписи,

но медленнее скорость подписания. В то же время параметр не имеет значения для безопасности алгоритма в целом. Значение параметра принадлежат множеству $\{4, 16, 256\}$.

Параметр h , высота гипердерева, задает количество экземпляров FORS. Параметр имеет значение для безопасности алгоритма. Чем больше значение параметра, тем больше безопасность, но и в то же время больше размер подписи.

Параметр d задает количество слоев деревьев XMSS в гипердереве. Параметр имеет значение для производительности алгоритма, но не влияет на безопасность.

Понятно, что d должен делить без остатка h , получаем еще один параметр $h' = h / d$, который задает размер поддерева HT.

Параметры k , количество деревьев в FORS, и t , количество листьев в FORS, определяют производительность и безопасность FORS. Значение параметра t должно быть степенью двойки, а значение параметра k может быть выбрано свободно. Эти два параметра должны быть сбалансированы. Поскольку, с одной стороны, чем меньше значение t , тем меньше и быстрее подписи, но, с другой стороны, при заданном уровне безопасности при меньшем значении t требуется большее значение параметра k , что приводит к увеличению и меньшей скорости подписи.

Соответственно, параметр $a = \lg(t)$ определяет высоту деревьев FORS. $= 9$

Настройка набора значений этих параметров является темой отдельного исследования. В данной работе используются значения, определенные в [4], [5], [6].

Алгоритм, также как в SPHINCS+, использует различные семейства настраиваемых криптографических хеш-функций.

Настраиваемые хеш-функции (tweakable hash functions) – это специальный вид ключевых хеш-функций (хеш-функций с ключом) $H: \mathcal{P} \times \mathcal{T} \times \mathcal{M} \rightarrow \Sigma^n$ ($\mathcal{P} \subseteq \Sigma^\infty$ - множество открытых параметров, $\mathcal{T} \subseteq \Sigma^\infty$ - множество настроек, $\mathcal{M} \subseteq \Sigma^\infty$ - множество сообщений). Аргументами настраиваемых хеш-функций являются сообщения, открытые параметры и контекстная информация (настройки).

Каждый экземпляр SPHINCS+ ДОЛЖЕН описывать, как реализовать каждую из следующих функций. Для основных экземпляров, приведенных в этом документе, это будет сделано с использованием одной (хэш) функции, т. е. SHA2-256 или SHAKE-128. Конкретные экземпляры приведены в Разделе 7.

В частности, алгоритм использует следующие функции.

$PRF: \{0,1\}^n \times \{0,1\}^{256} \rightarrow \{0,1\}^n$ – псевдослучайная функция для генерации псевдослучайных ключей, определяется, как

$$PRF(seed, adrs) = TANBA(seed || adrs, 8n).$$

$PRF_{msg}: \{0,1\}^n \times \{0,1\}^n \times \{0,1\}^* \rightarrow \{0,1\}^n$ – псевдослучайная функция для генерации случайных чисел при сжатии сообщений, определяется, как

$$PRF_{msg}(sk_{prf}, opt, M) = TANBA(sk_{prf} || opt || M, 8n).$$

$H_{msg}: \{0,1\}^n \times \{0,1\}^n \times \{0,1\}^n \times \{0,1\}^* \rightarrow \{0,1\}^m$ - дополнительная хеш-функция с ключом, которая может обрабатывать сообщения произвольной длины, определяется, как

$$H_{msg}(R, pk_{seed}, pk_{root}, M) = TANBA(R || pk_{seed} || pk_{root} || M, 8m).$$

$T_1: \{0,1\}^n \times \{0,1\}^{256} \times \{0,1\}^{ln} \rightarrow \{0,1\}^n$, $F = T_1: \{0,1\}^n \times \{0,1\}^{256} \times \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^n$, $H = T_2: \{0,1\}^n \times \{0,1\}^{256} \times \{0,1\}^{2n} \rightarrow \{0,1\}^n$ – настраиваемые хеш-функции, определяются, как

$$F(pk_{seed}, adrs, M_1) = TANBA(pk_{seed} || adrs || M_1, 8n),$$

$$H(pk_{seed}, adrs, M_1 || M_2) = TANBA(pk_{seed} || adrs || M_1 || M_2, 8n),$$

$$T_1(pk_{seed}, adrs, M) = TANBA(pk_{seed} || adrs || M, 8n), \text{ соответственно.}$$

Здесь $adrs$ – адрес одного из следующих семи видов.

Адрес WOTS+ хеша – это 256-битовое (32-байтовое) слово со следующей структурой $adrs_0 = lr_0 || tr_0 || tp_0 || kp_0 || ch_0 || h_0$, где lr_0 – 32-битовое слово, значение которого определяет адрес слоя, tr_0 – 96-битовое слово (3 32-битовых слова), значение которого определяет адрес дерева, tp_0 – 32-битовое слово, значение которого определяет тип адреса

(равно 0), kp_0 - 32-битовое слово, значение которого определяет адрес ключевой пары, ch_0 - 32-битовое слово, значение которого определяет адрес цепи, h_0 - 32-битовое слово, значение которого определяет адрес хеша.

Адрес сжатия WOTS+ открытого ключа – это 256-битовое (32-байтовое) слово со следующей структурой $adrs_1 = lr_1 \parallel tr_1 \parallel tp_1 \parallel kp_1 \parallel pd_1$, где lr_1 – 32-битовое слово, значение которого определяет адрес слоя, tr_1 – 96-битовое слово (3 32-битовых слова), значение которого определяет адрес дерева, tp_1 - 32-битовое слово, значение которого определяет тип адреса (равно 1), kp_1 - 32-битовое слово, значение которого определяет адрес ключевой пары, pd_1 - 64-битовое слово, значение которого определяет паддинг (равно 0).

Адрес хеш дерева – это 256-битовое (32-байтовое) слово со следующей структурой $adrs_2 = lr_2 \parallel tr_2 \parallel tp_2 \parallel pd_2 \parallel th_2 \parallel ti_2$, где lr_2 – 32-битовое слово, значение которого определяет адрес слоя, tr_2 – 96-битовое слово (3 32-битовых слова), значение которого определяет адрес дерева, tp_2 - 32-битовое слово, значение которого определяет тип адреса (равно 2), pd_2 - 32-битовое слово, значение которого определяет паддинг (равно 0), th_2 - 32-битовое слово, значение которого высоту дерева, ti_2 - 32-битовое слово, значение которого определяет индекс дерева.

Адрес FORS дерева – это 256-битовое (32-байтовое) слово со следующей структурой $adrs_3 = lr_3 \parallel tr_3 \parallel tp_3 \parallel kp_3 \parallel th_3 \parallel ti_3$, где lr_3 – 32-битовое слово, значение которого определяет адрес слоя, tr_3 – 96-битовое слово (3 32-битовых слова), значение которого определяет адрес дерева, tp_3 - 32-битовое слово, значение которого определяет тип адреса (равно 3), th_3 - 32-битовое слово, значение которого определяет высоту дерева, ti_3 - 32-битовое слово, значение которого определяет индекс дерева.

Адрес сжатия корней FORS дерева – это 256-битовое (32-байтовое) слово со следующей структурой $adrs_4 = lr_4 \parallel tr_4 \parallel tp_4 \parallel kp_4 \parallel pd_4$, где lr_4 – 32-битовое слово, значение которого определяет адрес слоя, tr_4 – 96-битовое слово (3 32-битовых слова), значение которого определяет адрес дерева, tp_4 - 32-битовое слово, значение которого определяет тип адреса (равно 4), kp_4 - 32-битовое слово, значение которого определяет адрес ключевой пары, pd_4 - 64-битовое слово, значение которого определяет паддинг (равно 0).

Адрес генерации ключа WOTS+ – это 256-битовое (32-байтовое) слово со следующей структурой $adrs_5 = lr_5 \parallel tr_5 \parallel tp_5 \parallel ch_5 \parallel h_5$, где lr_5 – 32-битовое слово, значение которого определяет адрес слоя, tr_5 – 96-битовое слово (3 32-битовых слова), значение которого определяет адрес дерева, tp_5 - 32-битовое слово, значение которого определяет тип адреса (равно 5), ch_5 - 32-битовое слово, значение которого определяет адрес цепи, h_5 - 32-битовое слово, значение которого определяет адрес хеша (равно 0).

Адрес генерации ключа FORS – это 256-битовое (32-байтовое) слово со следующей структурой $adrs_6 = lr_6 \parallel tr_6 \parallel tp_6 \parallel th_6 \parallel ti_6$, где lr_6 – 32-битовое слово, значение которого определяет адрес слоя, tr_6 – 96-битовое слово (3 32-битовых слова), значение которого определяет адрес дерева, tp_6 - 32-битовое слово, значение которого определяет тип адреса (равно 6), th_6 - 32-битовое слово, значение которого определяет высоту дерева, ti_6 - 32-битовое слово, значение которого определяет индекс дерева.

Идея структуры $adrs$ заключается в том, что каждое вычисление хеша в SPHINCS⁺ получает отдельную структуру адреса. Поскольку структура адреса является входными данными для хеша, то при попытке нахождения хеша методом подбора, необходимо будет выбрать структуру $adrs$. Это исключает возможность воспользоваться преимуществами многоцелевых атак.

Алгоритм генерации открытого и секретного ключей определяется следующим образом.

Ключи формируются из n -байтовых значений sk_{seed} , sk_{prf} , pk_{seed} и pk_{root} , из которых первые три получаются с помощью некоторого криптографически стойкого генератора псевдослучайных чисел, а последний является вычисляемым открытым ключом гипердерева, т. е. открытым ключом (корневым узлом) единственного дерева XMSS на верхнем слое. Таким

образом, получаются открытый ключ $pk = pk_{seed} \parallel pk_{root}$ и секретный ключ $sk = sk_{seed} \parallel sk_{prf} \parallel pk_{seed} \parallel pk_{root}$.

Алгоритм формирования цифровой подписи определяется следующим образом.

Входными данными являются подписываемое сообщение M и секретный ключ sk .

Для генерации подписи вычисляется значение $R = TANBA(sk_{prf} \parallel opt \parallel M, 8n)$, где opt – некоторое дополнительное случайное n -байтовое значение. Затем вычисляется $dg = TANBA(R \parallel pk_{seed} \parallel pk_{root} \parallel M, 8m)$. Далее определяются md_{temp} – первые $\lfloor (k \log_2 t + 7)/8 \rfloor$ байтов dg , ti_{temp} – следующие $\lfloor (h - h/d + 7)/8 \rfloor$ байтов dg , li_{temp} – следующие $\lfloor (h/d + 7)/8 \rfloor$ байтов dg . Далее определяются md – первые $k \log_2 t$ битов md_{temp} , ti – первые $h - h/d$ битов ti_{temp} , li – первые h/d битов li_{temp} . Используя полученные значения, последовательно определяются подпись FORS σ_{FORS} и подпись гипердерева σ_{HT} . В результате получается подпись $\sigma = R \parallel \sigma_{FORS} \parallel \sigma_{HT}$.

Алгоритм проверки цифровой подписи определяется следующим образом.

Входными данными являются сообщение M , подпись σ и открытый ключ pk .

Вычисляется $dg = TANBA(R \parallel pk_{seed} \parallel pk_{root} \parallel M, 8m)$, определяются md_{temp} – первые $\lfloor (k \log_2 t + 7)/8 \rfloor$ байтов dg , ti_{temp} – следующие $\lfloor (h - h/d + 7)/8 \rfloor$ байтов dg , li_{temp} – следующие $\lfloor (h/d + 7)/8 \rfloor$ байтов dg , затем определяются md – первые $k \log_2 t$ битов md_{temp} , ti – первые $h - h/d$ битов ti_{temp} , li – первые h/d битов li_{temp} . Далее выполняется вычисление кандидата на открытый ключ FORS и проверка подписи гипердерева на этом открытом ключе.

В целом, алгоритм TANBA-SPHINCS⁺ представляет собой вариант реализации SPHINCS⁺, в котором используется криптографическая хеш-функция TANBA, разработанная на базе модифицированной схемы Sponge с применением множества внутренних функций вместо одной. Научная значимость такого подхода заключается, в том, что он обеспечивает высокую устойчивость к криптоаналитическим атакам и адаптируемость под различные требования безопасности. Алгоритм сохраняет ключевые преимущества SPHINCS⁺, включая долгосрочную стойкость к атакам на квантовых компьютерах, и расширяет возможности схемы за счет инновационного подхода к конструкции хеш-функций. Это делает алгоритм перспективным решением для задач постквантовой криптографии.

Дискуссия

SPHINCS⁺ считается одним из самых устойчивых к квантовым атакам благодаря своей конструкции, основанной исключительно на свойствах хеш-функций. Криптостойкость схемы основывается на минимальных криптографических предположениях, относящихся к свойствам криптографических хеш-функций. Эти свойства считаются фундаментальными и широко изученными, что обеспечивает высокую надежность алгоритма даже в постквантовой среде. Квантовые алгоритмы, такие как алгоритм Гровера, могут ускорять поиск хеш-прообразов, но это дает лишь квадратичное ускорение. Это требует увеличения длины ключей и подписи для компенсации квантового ускорения. SPHINCS⁺ учитывает это в своей конструкции, предлагая параметры, устойчивые даже к квантовым компьютерам. Алгоритм не полагается на задачи, которые могут быть решены алгоритмом Шора (например, факторизация или вычисление дискретного логарифма). Кроме того SPHINCS⁺ устойчив к адаптивным атакам. Каждый одноразовый ключ подписи используется только один раз, что предотвращает утечку информации об основном закрытом ключе. А использование случайного выбора поддеревьев минимизирует вероятность предсказуемости используемых ключей. Использование в схеме гипердерева позволяет распределить вычисления и делает атаку на весь алгоритм менее эффективной. Детерминированный выбор путей и строгую привязку подписи к конкретному сообщению исключает возможность повторного использования или подмены ключей. Большой размер подписи (десятки килобайт) и сложная структура ключей затрудняют атаки. Однако, эти размеры могут быть проблемой для ресурсов

систем с ограниченными вычислительными мощностями. Несмотря на сильную безопасность SPHINCS⁺, возможные уязвимости могут возникнуть из-за ошибок при программировании алгоритма (например, утечки побочных каналов или некорректной работы генераторов случайных чисел). А также если будет найден эффективный способ взлома используемой хеш-функции, это может поставить под угрозу всю схему. В этом случае надо просто поменять её на новую безопасную хеш-функцию, тем самым сохраняя безопасность алгоритма цифровой подписи в целом. Таким образом, схема SPHINCS⁺ предлагает чрезвычайно высокий уровень криптографической безопасности благодаря хеш-ориентированному подходу и минимальной зависимости от сложных предположений. Устойчивость к квантовым атакам достигается за счет оптимальных параметров и защиты от известных квантовых алгоритмов. Главным вызовом остается размер подписи и сложность вычислений, что ограничивает его применение в некоторых сценариях.

Замена стандартных хеш-функций, используемых в SPHINCS⁺ на хеш-функции, основанные на схеме Sponge, требует проверки их соответствия, предъявляемым к хеш-функциям в SPHINCS⁺, чтобы гарантировать, что замена не ослабляет алгоритм. К преимуществам схемы Sponge можно отнести простота конструкции, гибкость (поддержка переменной длины входа и выхода), высокую производительность для функций с длинными входами. Схема Sponge обеспечивает устойчивость к коллизиям при условии, что используемая внутренняя функция обладает высокой криптографической стойкостью. Хеш-функции, основанные на схеме, обладают стойкостью к нахождению прообраза и второго прообраза, если длина состояния и блока достаточна для компенсации атак квантового типа (например, алгоритма Гровера). Все это делает схему Sponge подходящей для применения в SPHINCS⁺. При этом следует учитывать, что длина состояния (например, 256 бит) должна быть достаточно большой, чтобы обеспечить стойкость против классических и квантовых атак, а размер выхода должен соответствовать параметрам SPHINCS⁺. Для обеспечения стойкости против квантовых атак длина выхода хеша должна быть увеличена (например, до 512 бит вместо 256 бит), а внутренняя функция должна быть устойчивой к известным атакам.

Хеш-функции, основанные на схеме Sponge, предоставляют определённые преимущества, такие как гибкость и высокая производительность для длинных сообщений, что может сделать SPHINCS⁺ более эффективным в некоторых сценариях. Однако важно учитывать потенциальные уязвимости, связанные с новой конструкцией. Пример оптимального набора параметров SPHINCS⁺ при использовании хеш-функции на основе схемы Sponge зависит от конкретных требований к безопасности, производительности и ресурсам.

Использование множества нескольких внутренних функций вместо одной в модифицированной схеме Sponge делает конструкцию более устойчивой к атакам, направленным на нахождение слабостей конкретной внутренней функции. А применение псевдослучайной функции выбора обеспечивает непредсказуемость последовательности применяемых внутренних функций. Это затрудняет проведение криптоанализа, поскольку злоумышленник не знает заранее, какие функции будут использоваться на каждом шаге. Если злоумышленник выявляет уязвимости в одной внутренней функции, криптоанализ становится практически не эффективным, так как другие функции могут иметь совершенно разные свойства. Набор внутренних функций может быть расширяемым. Возможно динамическое добавление новых функций без необходимости изменения общей конструкции. Злоумышленник не только должен анализировать одну функцию, но и учитывать динамический выбор функций, что значительно усложняет проведение успешного криптоанализа.

Однако следует учитывать, что наличие нескольких функций требует большего объёма памяти и увеличивает вычислительную сложность. Реализация схемы с несколькими функциями требует более тщательной проверки, чтобы избежать ошибок, которые могут снизить безопасность.

Предлагаемый подход многовариантных схем Sponge с динамическим выбором функций существенно повышает стойкость криптографических алгоритмов. Однако это также требует тщательной проверки безопасности каждой из внутренних функций и реализации функции выбора, чтобы избежать компрометации системы.

Заключение

Обсуждаемый в данной работе алгоритм цифровой подписи TANBA-SPHINCS⁺ является новым вариантом реализации схемы SPHINCS⁺. Схема SPHINCS⁺ - это схема постквантовой цифровой подписи, основанной на хешировании, разработанная для предоставления долгосрочного безопасного решения, которое может противостоять будущим атакам квантовых компьютеров. Для обеспечения криптографической стойкости схемы применяется подход, состоящий в использовании необходимого уровня криптостойкости криптографических хеш-функций. Это позволяет проектировать алгоритмы цифровой подписи с любой безопасной криптографической хеш-функцией. Схема SPHINCS⁺ стала основой одного из стандартов проекта по стандартизации алгоритмов постквантовой криптографии. Это подтверждает важность SPHINCS⁺ в постквантовой криптографии и обеспечивает его широкое распространение. Схема SPHINCS⁺ дает возможность для построения различных алгоритмов цифровой подписи, используя различные криптографические хеш-функции. В оригинальной схеме SPHINCS⁺ используются криптографические хеш-функции SHA2, SHAKE и Haraka, а в версии схемы, изложенной в стандарте FIPS 205, оставили варианты с использованием алгоритмов SHA2 и SHAKE. Существуют примеры реализации SPHINCS⁺ с использованием и других криптографических хеш-функций. Рассмотренный в данной работе алгоритм цифровой подписи TANBA-SPHINCS⁺ использует криптографическую хеш-функцию TANBA, построенную на основе модифицированной схемы Sponge. Схема Sponge является основой для построения множества различных современных криптографических алгоритмов хеширования, в том числе и стандартов. В модифицированной схеме вместо одной внутренней функции используется множество внутренних функций. Такой подход повышает устойчивость к атакам, направленным на компрометацию одной внутренней функции, и обеспечивает дополнительную гибкость и адаптивность алгоритма. Благодаря этому, TANBA-SPHINCS⁺ сочетает в себе ключевые преимущества оригинальной схемы SPHINCS⁺ и новые возможности, предоставляемые модифицированной схемой Sponge. Это делает алгоритм перспективным решением для задач постквантовой криптографии, позволяя адаптировать его под конкретные требования безопасности и производительности. Кроме того, использование множества внутренних функций в сочетании с псевдослучайным выбором их последовательности усложняет криптоанализ и делает схему еще более устойчивой к современным угрозам. TANBA-SPHINCS⁺ демонстрирует, как эволюция криптографических подходов может открывать новые горизонты в обеспечении долгосрочной безопасности цифровых систем.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке КН МНВО РК, грант № AP23486901.

Список использованных источников

[1] NIST Releases First 3 Finalized Post-Quantum Encryption Standards, Released August 13, 2024, Updated August 26, 2024 (<https://www.nist.gov/news-events/news/2024/08/nist-releases-first-3-finalized-post-quantum-encryption-standards>)

[2] National Institute of Standards and Technology (2024) Module-Lattice-Based Key-Encapsulation Mechanism Standard. (Department of Commerce, Washington, D.C.), Federal Information Processing Standards Publications (FIPS) NIST FIPS 203. <https://doi.org/10.6028/NIST.FIPS.203>.

[3] National Institute of Standards and Technology (2024) Module-Lattice-Based Digital Signature Standard. (Department of Commerce, Washington, D.C.), Federal Information Processing Standards Publications (FIPS) NIST FIPS 204. <https://doi.org/10.6028/NIST.FIPS.204>.

[4] National Institute of Standards and Technology (2024) Stateless Hash-Based Digital Signature Standard. (Department of Commerce, Washington, D.C.), Federal Information Processing Standards Publications (FIPS) NIST FIPS 205. <https://doi.org/10.6028/NIST.FIPS.205>.

[5] Aumasson, et al. SPHINCS+ – Submission to the 3rd round of the NIST post-quantum project., 10 June 2022.

[6] Daniel J. Bernstein, Andreas Hülsing, Stefan Kölbl, Ruben Niederhagen, Joost Rijneveld, and Peter Schwabe. 2019. The SPHINCS+ Signature Framework. In *Proceedings of the 2019 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security (CCS '19)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2129–2146. <https://doi.org/10.1145/3319535.3363229>.

[7] Kiktenko E., Bulychev A., Karagodin P., Pozhar N., Anufriev M., Fedorov A. Sphincs+ postquantum digital signature scheme with streebog hash function // *AIP Conference Proceedings*. vol. 2241, p. 020014. AIP Publishing LLC, 2020.

[8] ГОСТ 34.11-2018. Межгосударственный стандарт. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Функция хэширования

[9] Sim M., Eum S., Song G., Kwon H., Jang K., Kim H., Kim H., Yang Y., Kim W., Lee W.K., et al. K-XMSS and K-SPHINCS+: Hash based signatures with korean cryptography algorithms // *Cryptology ePrint Archive*, 2022, <https://eprint.iacr.org/2022/152.pdf>

[10] Ospanov R.M., Seitkulov Ye.N., Yergaliyeva B.B. A cryptographic hash function based on a modified SPONGE scheme. *Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications*, 10(2), pp. 55-70, 2022.

[11] Bertoni, G., Daemen, J., Peeters, M., Van Assche, G. Sponge functions // *Ecrypt Hash Workshop 2007* (May 2007), http://www.csrc.nist.gov/pki/HashWorkshop/Public_Comments/2007_May.html

[12] Bertoni G., Daemen J., Peeters M., Van Assche G. Cryptographic sponge functions. Version 0.1, January 14, 2011, <https://keccak.team/files/CSF-0.1.pdf>.

[13] Genêt, A. (2023). On Protecting SPHINCS+ Against Fault Attacks. *IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems*, 2023(2), 80–114. <https://doi.org/10.46586/tches.v2023.i2.80-114>.

[14] Hülsing, A., & Kudinov, M. (2023). Recovering the Tight Security Proof of SPHINCS+. In S. Agrawal, & D. Lin (Eds.), *Advances in Cryptology – ASIACRYPT 2022: 28th International Conference on the Theory and Application of Cryptology and Information Security, Taipei, Taiwan, December 5–9, 2022, Proceedings, Part IV* (pp. 3-33). (Lecture Notes in Computer Science (LNCS); Vol. 13794). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22972-5_1.

[15] Q. Berthet, A. Upegui, L. Gantel, A. Duc and G. Traverso, "An Area-Efficient SPHINCS+ Post-Quantum Signature Coprocessor," 2021 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW), Portland, OR, USA, 2021, pp. 180-187, doi: 10.1109/IPDPSW52791.2021.00034.

[16] Bertoni G., Daemen J., Peeters M., Van Assche G. The Keccak reference. SHA-3 competition (round 3), 2011, https://keccak.team/sponge_duplex.html.

[17] National Institute of Standards and Technology (2015) SHA-3 Standard: Permutation-Based Hash and Extendable-Output Functions. (Department of Commerce, Washington, D.C.), Federal Information Processing Standards Publications (FIPS) NIST FIPS 202. <https://doi.org/10.6028/NIST.FIPS.202>.

References

[1] NIST Releases First 3 Finalized Post-Quantum Encryption Standards, Released August 13, 2024, Updated August 26, 2024 (<https://www.nist.gov/news-events/news/2024/08/nist-releases-first-3-finalized-post-quantum-encryption-standards>)

[2] National Institute of Standards and Technology (2024) Module-Lattice-Based Key-Encapsulation Mechanism Standard. (Department of Commerce, Washington, D.C.), Federal Information Processing Standards Publications (FIPS) NIST FIPS 203. <https://doi.org/10.6028/NIST.FIPS.203>.

[3] National Institute of Standards and Technology (2024) Module-Lattice-Based Digital Signature Standard. (Department of Commerce, Washington, D.C.), Federal Information Processing Standards Publications (FIPS) NIST FIPS 204. <https://doi.org/10.6028/NIST.FIPS.204>.

[4] National Institute of Standards and Technology (2024) *Stateless Hash-Based Digital Signature Standard*. (Department of Commerce, Washington, D.C.), Federal Information Processing Standards Publications (FIPS) NIST FIPS 205. <https://doi.org/10.6028/NIST.FIPS.205>.

[5] Aumasson, et al. SPHINCS+ – Submission to the 3rd round of the NIST post-quantum project., 10 June 2022.

[6] Daniel J. Bernstein, Andreas Hülsing, Stefan Kölbl, Ruben Niederhagen, Joost Rijneveld, and Peter Schwabe. 2019. *The SPHINCS+ Signature Framework*. In *Proceedings of the 2019 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security (CCS '19)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2129–2146. <https://doi.org/10.1145/3319535.3363229>.

[7] Kiktenko E., Bulychev A., Karagodin P., Pozhar N., Anufriev M., Fedorov A. *Sphincs+ postquantum digital signature scheme with streebog hash function* // *AIP Conference Proceedings*. vol. 2241, p. 020014. AIP Publishing LLC, 2020.

[8] GOST 34.11-2018. *Mezghosudarstvennyi standart. Informatsionnaya tekhnologiya. Kriptograficheskaya zashchita informatsii. Funktsiya kheshirovaniya. [Interstate standard. Information technology. Cryptographic protection of information. Hash function] (In Russian)*

[9] Sim M., Eum S., Song G., Kwon H., Jang K., Kim H., Kim H., Yang Y., Kim W., Lee W.K., et al. *K-XMSS and K-SPHINCS+: Hash based signatures with korean cryptography algorithms* // *Cryptology ePrint Archive*, 2022, <https://eprint.iacr.org/2022/152.pdf>

[10] Ospanov R.M., Seitkulov Ye.N., Yergaliyeva B.B. *A cryptographic hash function based on a modified SPONGE scheme*. *Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications*, 10(2), pp. 55-70, 2022.

[11] Bertoni, G., Daemen, J., Peeters, M., Van Assche, G. *Sponge functions* // *Ecrypt Hash Workshop 2007 (May 2007)*, http://www.csrc.nist.gov/pki/HashWorkshop/Public_Comments/2007_May.html

[12] Bertoni G., Daemen J., Peeters M., Van Assche G. *Cryptographic sponge functions. Version 0.1*, January 14, 2011, <https://keccak.team/files/CSF-0.1.pdf>.

[13] Genêt, A. (2023). *On Protecting SPHINCS+ Against Fault Attacks*. *IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems*, 2023(2), 80–114. <https://doi.org/10.46586/tches.v2023.i2.80-114>.

[14] Hülsing, A., & Kudinov, M. (2023). *Recovering the Tight Security Proof of SPHINCS+*. In S. Agrawal, & D. Lin (Eds.), *Advances in Cryptology – ASIACRYPT 2022: 28th International Conference on the Theory and Application of Cryptology and Information Security, Taipei, Taiwan, December 5–9, 2022, Proceedings, Part IV* (pp. 3-33). (Lecture Notes in Computer Science (LNCS); Vol. 13794). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22972-5_1.

[15] Q. Berthet, A. Upegui, L. Gantel, A. Duc and G. Traverso, "An Area-Efficient SPHINCS+ Post-Quantum Signature Coprocessor," 2021 *IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW)*, Portland, OR, USA, 2021, pp. 180-187, doi: 10.1109/IPDPSW52791.2021.00034.

[16] Bertoni G., Daemen J., Peeters M., Van Assche G. *The Keccak reference. SHA-3 competition (round 3)*, 2011, https://keccak.team/sponge_duplex.html.

[17] National Institute of Standards and Technology (2015) *SHA-3 Standard: Permutation-Based Hash and Extendable-Output Functions*. (Department of Commerce, Washington, D.C.), Federal Information Processing Standards Publications (FIPS) NIST FIPS 202. <https://doi.org/10.6028/NIST.FIPS.202>.

Г.Ш. Сабырханова^{1*}, О.З. Сембиев¹, Б.С. Есмагамбетов¹

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан
*e-mail: gulzat-077@mail.ru

БІЛІМ БЕРУ ЖҮЙЕСІНДЕ BLOKCHAIN ТЕХНОЛОГИЯСЫН ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН КОНТЕЙНЕРЛІК МОДЕЛЬ ҚҰРУ

Аңдатпа

Зерттеудің өзектілігі білім беру жүйесін трансформациялаудың жаңа бағыттарын айқындайтын блокчейн технологияларына негізделген автоматтандырылған контейнерлік модельдерді енгізумен анықталады. Блокчейн технологиялары білім беру процесстерін басқарудың ашықтығын, қауіпсіздігін және тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Қазіргі таңда цифрлық технологиялар білім беру жүйесіне қарқынды түрде еніп, оқыту мен басқарудың дәстүрлі әдістерін өзгертіп жатыр. Осыған байланысты, білім беру саласындағы перспективалы бағыттардың бірі – блокчейн технологияларын пайдалана отырып, автоматтандырылған контейнерлік модельдерді әзірлеу және енгізу. Мұндай тәсіл білім беру ортасында жоғары деңгейдегі ашықтықты, қауіпсіздікті және тиімділікті қамтамасыз етіп, цифрлық трансформация талаптарына бейімделу үшін негіз қалыптастырады. Зерттеудің мақсаты – блокчейн технологияларын қолдану арқылы білім беру жүйесінде автоматтандырылған контейнерлік модель құрудың негізгі принциптерін кешенді түрде талдау және әзірлеу. Бұл мақсатқа қол жеткізу үшін білім беру жүйесіне арналған арнайы платформа жобаланды. Платформаның негізгі маңызы – электрондық мәліметтер базасын құру, білім беру процесінде қашықтықтан оқыту технологияларын тиімді пайдалану және желілік өзара әрекеттестікті оңтайландыру мақсатында орталықтандырылмаған мониторингті жүзеге асыру. Зерттеу нәтижелері оқыту үдерісін автоматтандыру мен оңтайландыруға бағытталған ақпараттық жүйені әзірлеудің мақсаттарын, міндеттерін және негізгі принциптерін айқындауға мүмкіндік береді. Бұл мақалада жоғары білім беру саласында блокчейн технологияларын қолданудың артықшылықтары қарастырылады, сондай-ақ операциялардың тиімділігі мен ашықтығын арттыру үшін оларды енгізу әдістері ұсынылады. Зерттеудің ғылыми жаңалығы білім беру қызметін қолдауға арналған ақпараттық құралдарды әзірлеу, олардың тиімділігін арттыру және дәстүрлі әдістерді жаңа цифрлық технологиялармен интеграциялау арқылы анықталады. Нәтижелерді талдау негізінде блокчейн технологияларын платформаны әзірлеу үдерісіне енгізудің мақсаттары айқындалды. Сонымен қатар, блокчейн технологияларын геймификация, үлкен деректерді өңдеу және жасанды интеллект құралдарымен біріктіру студенттер мен оқытушылардың мотивациясын арттыруға, оқу үдерісін оңтайландыруға және білім алушылардың жеке дамуы мен жетістіктеріне жағдай жасауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: автоматтандыру, контейнерлік модель, цифрлық технологиялар, блокчейн, платформа, контейнерлік технологиялар, Docker, Kubernetes, Ethereum.

Г.Ш. Сабырханова¹, О.З. Сембиев¹, Б.С. Есмагамбетов¹

¹Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КОНТЕЙНЕРНОЙ МОДЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН В СИСТЕМЕ ОБРАЗОВАНИЯ

Аннотация

Актуальность исследования определяется внедрением автоматизированных контейнерных моделей на основе блокчейн-технологий, открывающих новые направления трансформации системы образования. Блокчейн-технологии способствуют повышению прозрачности, безопасности и эффективности управления образовательными процессами. В настоящее время цифровые технологии активно интегрируются в систему образования, изменяя традиционные методы обучения и управления. В связи с этим одним из перспективных направлений является разработка и внедрение автоматизированных контейнерных моделей с использованием блокчейн-технологий. Такой подход обеспечивает высокий уровень прозрачности, безопасности и эффективности образовательной среды,

а также создает основу для адаптации к требованиям цифровой трансформации. Цель исследования – проведение комплексного анализа и разработка основных принципов создания автоматизированной контейнерной модели в системе образования на основе блокчейн-технологий. Для достижения данной цели разрабатывается специализированная образовательная платформа. Основное значение платформы заключается в формировании электронной базы данных, эффективном использовании технологий дистанционного обучения и реализации децентрализованного мониторинга для оптимизации сетевого взаимодействия. Результаты исследования позволили определить цели, задачи и ключевые принципы разработки информационной системы, направленной на автоматизацию и оптимизацию учебного процесса. В данной работе рассматриваются преимущества внедрения блокчейн-технологий в высшее образование, а также предлагаются методы их использования для повышения прозрачности и эффективности образовательных операций. Научная новизна исследования заключается в разработке информационных инструментов для поддержки образовательной деятельности, повышении их эффективности и интеграции традиционных методов с новыми цифровыми технологиями. На основе анализа результатов определены цели и направления внедрения блокчейн-технологий в процесс разработки образовательной платформы. Кроме того, интеграция блокчейн-технологий с геймификацией, обработкой больших данных и искусственным интеллектом способствует повышению мотивации студентов и преподавателей, оптимизации учебного процесса и созданию условий для индивидуального развития и достижения академических успехов.

Ключевые слова: автоматизация, контейнерная модель, цифровые технологии, блокчейн, платформа, контейнерные технологии, Docker, Kubernetes, Ethereum.

G. Sabyrkhanova ^{1*}, O. Sembiyev¹, B. Esmagambetov ¹

¹Auezov University, Shymkent, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED CONTAINERIZED MODEL USING BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN THE EDUCATION SYSTEM

Abstract

The relevance of the study is determined by the implementation of automated containerized models based on blockchain technologies, which open up new directions for the transformation of the education system. Blockchain technologies contribute to increasing transparency, security, and efficiency in managing educational processes. Currently, digital technologies are rapidly integrating into the education system, transforming traditional teaching and management methods. In this regard, one of the most promising directions is the development and implementation of automated containerized models using blockchain technologies. This approach ensures a high level of transparency, security, and efficiency in the educational environment, while also establishing a foundation for adapting to the challenges of digital transformation. The aim of the study is to conduct a comprehensive analysis and develop the fundamental principles for creating an automated containerized model in the education system using blockchain technologies. To achieve this goal, a specialized educational platform is being developed. The main significance of the platform lies in the creation of an electronic database, the effective use of distance learning technologies, and the implementation of decentralized monitoring to optimize network interaction. The research results have made it possible to define the objectives, tasks, and key principles for developing an information system aimed at automating and optimizing the learning process. This paper examines the advantages of implementing blockchain technologies in higher education and proposes methods for their application to enhance transparency and operational efficiency in educational institutions. The scientific novelty of the study lies in the development of informational tools to support educational activities, improve their efficiency, and integrate traditional methods with new digital technologies. Based on the analysis of the results, the goals and directions for integrating blockchain technologies into the development of the educational platform have been identified. Furthermore, combining blockchain with gamification, big data processing, and artificial intelligence enhances student and teacher motivation, optimizes the learning process, and creates opportunities for personalized development and academic achievement.

Keywords: automation, container model, digital technologies, blockchain, platform, container technologies, Docker, Kubernetes, Ethereum.

Негізгі ережелер

Зерттеудің негізі автоматтандырылған контейнерлік модельдерді қолдану және оны білім беру жүйесінде блокчейн технологиясымен тиімді енгізу. Бұл деректерді сақтаудың ашықтығы мен қауіпсіздігін қамтамасыз ете отырып, Цифрлық процестерді оңтайландыруға, мамандарды даярлауды жақсартуға және білім сапасын бақылауға мүмкіндік береді. Бұл зерттеу жұмысы Мұхтар Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің Автоматтандыру және басқару кафедрасында өткізілді. Сонымен қатар платформаның тиімділігі, мүмкіндіктері жүргізілген зерттеу жұмысы барысында тексерілді.

Кіріспе

Қазіргі заманғы білім беру жүйесі оқыту сапасын арттыру, процестердің ашықтығын қамтамасыз ету және білім беру траекторияларын жекелеуді қажеттілігіне байланысты бірқатар күрделі мәселелермен бетпе-бет келуде. Цифрландырудың қарқынды дамуы, студенттер контингентінің ұлғаюы және үлкен көлемдегі деректерді басқару қажеттілігі дәстүрлі әдістердің тиімділігін шектейді. Осыған байланысты білім беру саласында инновациялық технологияларды енгізу өзекті мәселе болып табылады.

Автоматтандырылған контейнерлік модельдер мен блокчейн технологияларын интеграциялау білім беру ортасын жаңғыртуға мүмкіндік беретін перспективалы шешімдердің бірі болып табылады. Контейнерлік технологиялар, атап айтқанда Docker және Kubernetes, оқшауланған есептеу ортасын құруға мүмкіндік береді, бұл ауқымды онлайн-білім беру жүйелері, виртуалды зертханалар және ресурстарды басқару процестері үшін аса маңызды. Сонымен қатар, блокчейн технологиясы деректердің өзгермейтіндігін, транзакциялардың қауіпсіздігі мен ашықтығын қамтамасыз ете отырып, білім беру саласында келесі міндеттерді шешуге мүмкіндік береді:

- Студенттердің академиялық жетістіктерін тіркеу және сақтау,
- Цифрлық сертификаттар мен дипломдардың түпнұсқалығын растау,
- Басқару процестерін смарт-келісімшарттар арқылы автоматтандыру.

Осы технологиялық интеграция білім беру жүйесінің икемділігін арттырып, оның ауқымдылығын кеңейтуге және әр студенттің жеке қажеттіліктеріне бейімделуге жағдай жасайды. Сонымен қатар, бұл тәсіл білім беру ұйымдарының беделін нығайтып, жұмыс берушілер мен білім алушылардың сенімін арттыруға ықпал етеді. Ұсынылған модель білім беру саласындағы жаһандық ынтымақтастықты дамытуға және цифрлық трансформация үдерістерін жеделдетуге мүмкіндік береді.

Зерттеудің әдіснамасы

Білім беру саласындағы блокчейн және контейнерлік технологияларды қолдануға байланысты алдыңғы зерттеулерді талдау әдісі қолданылды. I. Hussain, O. Cakir, N. Haugsbakken, I. Langseth, I. Yakovenko, L. Kulumbetova, I. Subbotina, G. Zhanibekova, K. Bizhanova және басқа зерттеушілердің ғылыми еңбектері негізінде блокчейн мен контейнеризацияның білім беру жүйесіндегі рөлін бағалау жүргізілді. Hussain және O. Cakir: "Blockchain technology in higher education: prospects, issues, and challenges" мақаласында авторлар жоғары білім беруде блокчейн технологияларын қолданудың перспективаларын, қиындықтары мен қиындықтарын талдайды. Олар академиялық жазбалардың ашықтығы мен қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі блокчейннің әлеуетін атап көрсетеді және оны жүзеге асырудағы ықтимал кедергілерді талқылайды [1]. N. Haugsbakken және I. Langseth: "The blockchain challenge for higher education institutions" жұмысында зерттеушілер блокчейн технологияларын біріктіру кезінде жоғары оқу орындарының алдында тұрған қиындықтарды қарастырады. Олар блокчейнді білім беру ортасына сәтті енгізу үшін ұйымдық құрылымдар мен процестерді бейімдеу қажеттілігіне назар аударады [2]. I. Yakovenko, L. Kulumbetova, I. Subbotina, G. Zhanibekova және K. Bizhanova: "The blockchain technology as a catalyst for digital transformation of education" мақаласында авторлар блокчейн технологияларының білім

берудің цифрлық трансформациясының катализаторы ретіндегі рөлін зерттейді. Олар блокчейн білім беру жазбаларын басқарудың, құжаттарды тексерудің және білім беру процестерін автоматтандырудың тиімділігін арттыруға қалай ықпал ететінін талқылайды [3].

Бұл зерттеулердің барлығы блокчейннің білім беру жүйесінің әртүрлі аспектілерін, соның ішінде деректер қауіпсіздігін, процестердің ашықтығын және академиялық жазбаларға деген сенімділікті арттыруда айтарлықтай әлеуетке ие екендігімен келіседі. Сонымен қатар, олар осы технологияны білім беру тәжірибесіне сәтті енгізу үшін бар кедергілерді мұқият зерделеу және еңсеру қажеттілігін атап өтеді.

Жүйелік жобалау әдісі

Блокчейн технологияларын қолдана отырып, білім беру процесін басқарудың автоматтандырылған контейнерлік моделін әзірлеу үшін жүйелік жобалау әдісі қолданылды. Бұл әдіс модельдің архитектурасын құруға, оның функционалды компоненттерін анықтауға және ақпарат ағындарын сипаттауға мүмкіндік береді.

Эксперименттік зерттеу

Docker және Kubernetes негізінде оқшауланған контейнерлік орта әзірленді және тестілеуден өткізілді. Блокчейн платформаларымен интеграция жүргізіліп, деректерді сақтау, транзакцияларды өңдеу және қауіпсіздікті қамтамасыз ету механизмдері тәжірибелік тексеруден өтті.

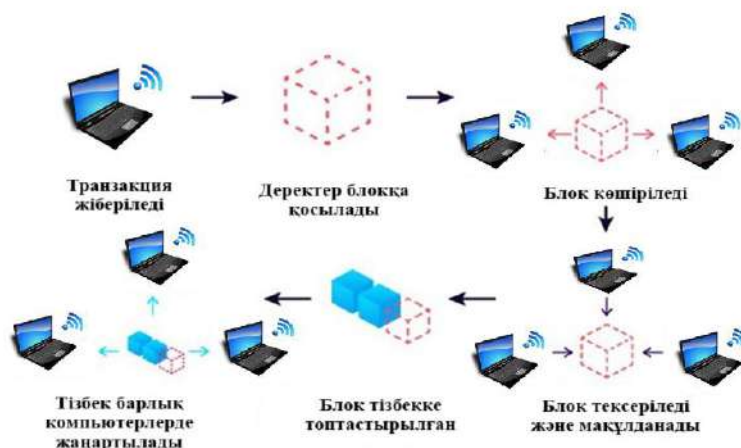
Әртүрлі блокчейн платформаларының (Ethereum, Hyperledger, Polkadot) функционалдығы мен білім беру жүйесіне интеграциялану мүмкіндіктері зерттелді. Контейнерлеу технологияларының (Docker, Kubernetes) тиімділігі басқа виртуализация әдістерімен салыстырылып, олардың оқшауланған білім беру ортасын құрудағы артықшылықтары анықталды [4]. Бұл технологиялар жекелендіруге, икемділікке және оқытудың жеделдігіне қатысты мәселелерді тиімді шешеді. Блокчейн таратылған тізілім технологиясы (TRP) ретінде білім беру жүйесіндегі революциялық құралға айналуға. Оның әлеуеті оқыту процестерін басқаруды орталықсыздандыру, жетістіктер, аттестаттау және бағалау туралы деректерді қауіпсіз сақтауды қамтамасыз ету, сондай-ақ білім беру экожүйесінің барлық қатысушылары арасындағы өзара іс-қимылдың ашықтығын арттыру болып табылады [5].

Автоматтандырылған контейнерлік модельдер блокчейнмен біріктіріліп, орталықтандырылмаған басқаруды қолдап қана қоймай, сонымен қатар оқытудың тиімділігі мен даралануы үшін озық технологияларды біріктіретін білім беру платформаларын құруға мүмкіндік береді. Бұл платформалар білім беру ұйымдарына цифрлық дәуірдің қиындықтарына бейімделуге, икемді әдістемелерді енгізуге және түлектердің сапалы дайындығын қамтамасыз етуге көмектеседі. Осылайша, блокчейн мен контейнерлік технологияларды пайдалану дәстүрлі тәжірибелерді жаңартып қана қоймайды, сонымен қатар білім берудегі жаһандық ынтымақтастық үшін жаңа мүмкіндіктер ашады, бұл оқытуды барлық қатысушылар үшін қолжетімді, тиімді және қауіпсіз етеді [6]. Білім беру жүйесінде блокчейн технологиясы бар автоматтандырылған контейнерлік модельді іске асыру үшін қолданылатын материалдар мен әдістер білім беру процестерінің қауіпсіздігін, ауқымдылығын және функционалдығын қамтамасыз ететін озық цифрлық құралдарды біріктіруді көздейді. Жүйені дамыту білім беру тапсырмаларын орындау үшін оқшауланған ортаны құруға мүмкіндік беретін Docker және Kubernetes сияқты контейнерлік технологияларға негізделген. Бұл құралдар қолданбаларды жылдам орналастыруды және ресурстарды басқаруды автоматтандыруды жеңілдетеді, бұл әсіресе ауқымды онлайн оқыту, виртуалды зертханалар және оларды шеуді қажет ететін практикалық тапсырмалар үшін маңызды.

Блокчейн технологиясы деректерді сақтау және басқару үшін қолданылады, бұл өзгермейтіндікті, ашықтықты және орталықсыздандыруды қамтамасыз етеді. Ethereum, Hyperledger және Polka dot сияқты платформалар тест нәтижелерін, академиялық жетістіктерді, сертификаттарды және басқа да негізгі білім көрсеткіштерін тіркейтін таратылған тізілімдерді құру үшін қолданылады. Блокчейнмен қорғалған деректердің өзгермейтіндігі жүйені бұзудан немесе рұқсатсыз кіруден қорғайды, бұл студенттер,

оқытушылар мен жұмыс берушілер арасындағы сенімді сақтау үшін өте маңызды [7]. Негізгі әдістеме курстарды тіркеу, тапсырмаларды бағалау, бағаларды есептеу, дипломдар беру және стипендияларды басқару сияқты күнделікті процестерді автоматтандыру үшін ақылды келісімшарттарды пайдалануды қамтиды. Бұл смарт контрактілер контейнер үлгілерімен біріктірілген, бұл блокчейндегі нәтижелерді ашық бақылауды қамтамасыз ете отырып, оқшауланған ортада тапсырмаларды орындауға мүмкіндік береді. Жеке оқытуды қолдау үшін виртуалды білім беру орталары әр оқушының қажеттіліктеріне бейімделген контейнерлерде әзірленеді және орналастырылады. Мысалы, бағдарламалау курстары әр оқушыға өзінің оқшауланған контейнерінде жұмыс істеуге мүмкіндік беретін әзірлеу құралдарымен алдын ала конфигурацияланған орталарды ұсына алады. Оқушылардың үлгерімі блокчейнде тіркеледі, бұл оқытушыларға нақты уақыт режимінде нақты деректерге қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Блокчейн технологиясының негізгі элементтері болып – транзакция, блок және тізбек. Транзакция – ол деректерді енгізу процесі, оны кейіннен блокқа қосып, көшіруге және өңдеуге болады [8]. Блокты өңдеу барысында барлық енгізілген деректер бақыланып, блок тиісті тізбекке қосылады. Ал тізбек – деректер реестрінің өзгеру тарихын көрсететін жүйе, ол жаңартылған сайын барлық құрылғыларға таратылады. локчейн технологиясының жұмыс істеу механизмі бейнеленген (Сурет 1).



Сурет 1. Блокчейн технологиясының жұмыс принципі

Білім беру саласында және адам қызметінің басқа да бағыттарында қолданылатын технологиялар уақыт өте келе ескіреді. Бұл жаңа технологияларды енгізуді қажет етеді, тек білім беру процесінде ғана емес, сонымен қатар оқу орындарындағы деректерді өңдеуде де. Блокчейн технологиясын енгізу білім беру платформаларын сақтауға, деректерді тиімді басқаруға, олардың қауіпсіздігін қамтамасыз ете отырып, беру және өңдеу процестерін жеңілдетуге мүмкіндік береді [9]. Білім беру жүйесінде блокчейнді пайдалану деректерді өңдеудің құпиялылығы мен сенімділігін арттырумен қатар, ақпаратты оқу және салыстыру үшін оны ортақ пайдалануға қолжетімділікті қамтамасыз етеді.

Бұл зерттеу әдістері теориялық талдау, тәжірибелік тестілеу және сараптамалық бағалауды қамтиды, бұл білім беру жүйесінде блокчейн технологиясын қолдайтын автоматтандырылған контейнерлік модельдерді әзірлеудің ғылыми негізделгендігін қамтамасыз етеді. Бұл тәсіл білім беру процестерін цифрлық трансформациялаудың тиімділігін арттыруға, сондай-ақ академиялық деректерді басқарудың қауіпсіздігін, ашықтығын және сенімділігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері

Жүргізілген зерттеу нәтижелері блокчейн мен контейнерлік технологияларды білім беру процесіне енгізудің тиімділігін ғылыми негіздеу үшін бірнеше дәлелдерге сүйенеді.

Қорытындылардың сенімділігін қамтамасыз ету үшін теориялық зерттеу, эксперименттік деректер және статистикалық талдау әдістері қолданылды.

Блокчейн және контейнерлік технологиялар білім беру саласындағы цифрлық трансформацияның негізгі факторлары ретінде қарастырылды. Алдыңғы ғылыми зерттеулерге сүйене отырып, білім беру мекемелеріндегі деректерді басқару мен қауіпсіздік жүйелерін жетілдірудің өзектілігі анықталды.

- Блокчейн мәліметтердің өзгермейтіндігін, сенімділігін және қауіпсіздігін қамтамасыз етеді, бұл академиялық жазбалардың бұрмалану қаупін азайтады.

- Контейнерлік технологиялар оқу ортасын икемді және масштабталатын етіп құруға мүмкіндік береді, бұл әсіресе виртуалды зертханалар мен онлайн білім беру платформалары үшін маңызды.

- Зерттеу нәтижелері Hussain, Cakir, Haugsbakken, Langseth, Yakovenko, Kulumbetova және басқа зерттеушілердің еңбектерімен салыстырылып, теориялық сәйкестігі расталды.

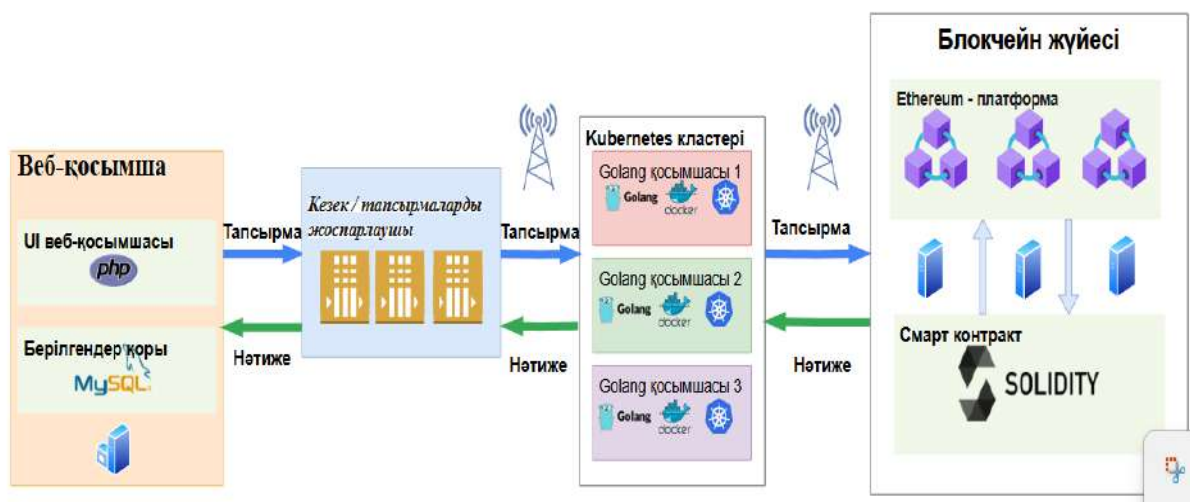
Блокчейн технологиясына негізделген білім беру платформасының жұмыс алгоритмін қарастырылды. Бұл платформа білім алушылар мен оқытушылар арасындағы өзара әрекеттестікті қауіпсіз және уақытылы қамтамасыз ететін архитектураға ие. Оның құрылымы екі деңгейден тұрады:

- Платформаға қатысушылар жүйеге кіріп, арнайы интерфейстер арқылы деректер енгізеді;

- Майнерлер POW алгоритмін қолдана отырып, ақпаратты блокчейнге жіберуді жүзеге асырады. Блокчейнге деректер қосатын негізгі элементтер – майнерлер [10].

Студент кез келген білім беру жүйесінің басты бөлігі болғандықтан, оның оқу жетістіктерін әділ бағалау маңызды. Курстық материалдарға қол жеткізу үшін білім алушы алдымен аутентификациядан өтеді, содан кейін қажетті курсты таңдайды. Курс аяқталған соң, студентке емтиханға қатысу мүмкіндігі беріледі, емтихан кезеңі басталғанда таймер іске қосылады. Емтихан аяқталғаннан кейін немесе жауап беру уақыты бітсе, студенттің жауаптары блокчейнге тіркеледі, содан кейін сервер майнинг процесін жүргізеді.

Нәтижелер өңделгеннен кейін білім алушыларға жіберіледі (Сурет 2).



Сурет 2. Автоматтандырылған контейнер моделінің жұмыс жасау архитектурасы

Ұсынылған архитектура білім беру жүйелерінің тиімділігін, сенімділігін және ашықтығын арттыру үшін блокчейн технологиясын қолданатын автоматтандырылған контейнер үлгісін көрсетеді. Бұл модель оқу процесін автоматтандыруды, деректер қауіпсіздігін және жүйенің масштабталуын қамтамасыз ету үшін контейнерлеу (Docker), оркестрлеу (Kubernetes) және

blockchain (Ethereum) сияқты бірнеше заманауи технологияларды біріктіреді. Ұсынылған модель келесі негізгі компоненттерден тұрады:

Веб-қосымша: бұл пайдаланушылардың (студенттер, магистранттар және оқытушы) жүйемен өзара әрекеттесу нүктесі. Пайдаланушы интерфейсі PHP көмегімен жасалған және барлық білім беру деректерін сақтауға қызмет ететін MySQL дерекқорына қосылған. Деректер базасында студенттер, оқу материалдары, тапсырмалар, емтихандар және нәтижелер туралы ақпарат сақталады. Веб-бағдарлама тапсырмаларды тексеру, сертификаттар беру немесе деректерді жаңарту сияқты сұрауларды тапсырмалар кезегіне жібереді.

Кезек / тапсырмаларды жоспарлаушы: бұл компонент тапсырмаларды әртүрлі микросервистер арасында бөледі. Веб-бағдарлама сұраныс жібергенде, кезек оны Kubernetes кластеріне жібереді. Бұл жүйеге ресурстарды тиімді бөлу арқылы көптеген сұраныстарды бір уақытта өңдеуге мүмкіндік береді. Мысалы, тапсырмалар студенттің үлгерімін талдауды, тестілерді автоматты түрде тексеруді немесе деректерді блокчейнге жазуды қамтуы мүмкін. Kubernetes-кластер: Kubernetes-кластер Go бағдарламалау тілінде енгізілген және Docker контейнерлеріне оралған бірнеше микросервистерден тұрады. Әр контейнер сұраныстарды өңдеу, есептер шығару немесе блокчейн желісімен өзара әрекеттесу сияқты жеке функцияны орындайды. Kubernetes пайдалану жоғары ақауларға төзімділік пен масштабталуды қамтамасыз етеді: жүйе жаңа түйіндер қосу немесе тапсырмаларды қайта бөлу арқылы пайдаланушылар санының өсуіне динамикалық түрде бейімделе алады.

Блокчейн желісі: блокчейн қабатының жұмысының негізі-Ethereum желісі. Ол Solidity тілінде жазылған ақылды келісімшарттарды орындау үшін қолданылады. Блокчейн деректердің қауіпсіздігі мен ашықтығын қамтамасыз етеді. Мысалы, ақылды келісімшарттар арқылы емтихан нәтижелері, курсты аяқтау сертификаттары және берілген дипломдар сияқты студенттердің жетістіктері туралы мәліметтерді жазуға және тексеруге болады. Бұл деректер өзгермейтін және таратылған жүйеде сақталады, бұл оларды қолдан жасау мүмкіндігін болдырмайды. Сонымен қатар, блокчейн білім беру ұйымдары мен жұмыс берушілерге сертификаттардың түпнұсқалығын оңай тексеруге мүмкіндік береді.

Бұл қалай жұмыс істейді: Пайдаланушы үй тапсырмасын тексеру немесе сертификат сұрау сияқты сұрауларды жіберу арқылы веб-қосымшамен өзара әрекеттеседі. Сұрау оны kubernetes кластеріне бағыттайтын тапсырмалар кезегіне түседі. Кластердегі микросервистердің бірі сұранысты өңдейді. Қажет болса, деректер тексеріледі немесе блокчейнге жазылады. Тапсырманың нәтижелері веб-қосымшаға қайтарылады, онда пайдаланушы оларды көре алады.

Модельді қолданудың артықшылықтары:

- контейнерлерді пайдалану және тіркеу арқылы жүйе тапсырмаларды автоматты түрде таратады және үлкен көлемдегі деректер мен сұраулармен жұмыс істей алады.

- Kubernetes көп тапсырмаларды орындау үшін микросервистердің санын динамикалық түрде арттыруға мүмкіндік береді, тіпті пайдаланушылар саны артқан кезде де жүйенің тұрақты жұмысын қамтамасыз етеді.

- Blockchain барлық жазбаларды өзгеріссіз қалдырады, бұл оқу нәтижелеріне, сертификаттарға және басқа білім беру деректеріне сенімділікті арттырады.

- Docker-мен контейнерлеу және Kubernetes-пен оркестрлеу жоғары ақауларға төзімділікті қамтамасыз етеді. Микросервистердің бірі істен шықса да, жүйе жұмысын жалғастырады.

- Әрбір микросервисті жүйенің қалған компоненттерінің жұмысына әсер етпестен оңай жаңартуға немесе ауыстыруға болады. Мұндай модельді білім беру мекемелерінде қолдану кең перспективалар ашады. Бұл оқу процесін басқарудың тиімділігін арттыруға, білімді бағалаудың ашықтығын қамтамасыз етуге, студенттердің деректерін қолдан жасаудан қорғауға және білім беру бағдарламаларына жаңа технологияларды енгізуге мүмкіндік береді. Blockchain өз кезегінде сертификаттарды, дипломдарды және басқа да жетістіктерді сенімді және жалпыға қол жетімді етеді, бұл халықаралық ынтымақтастық пен біліктілікті тану үшін өте маңызды.

Білім беру жүйесінде блокчейн технологиясын пайдалана отырып, автоматтандырылған контейнерлік модельді енгізу бойынша талқылау мен нәтижелер оның оқу процестерін трансформациялау және білім беру ресурстарын басқару үшін айтарлықтай әлеуетін көрсетеді. Іске асыруды талдау контейнерлеу технологиялары тапсырмалардың икемділігі мен оқшаулануының жоғары дәрежесін қамтамасыз ететіндігін көрсетеді [11]. Студенттер мен оқытушылар жұмыс жүктемесінің талаптарына сәйкес лезде орналастыруға және масштабтауға болатын жекелендірілген оқу орталарына қол жеткізе алады. Мысалы, бағдарламалау курстарында контейнерлер қажетті құралдармен және кітапханалармен алдын ала конфигурацияланған оқшауланған орталарды жасайды. Ол өз кезегінде техникалық қиындықтарды азайтады және студенттерге оқуға толық көңіл бөлуге мүмкіндік береді. Негізгі нәтижелердің бірі ол -блокчейнді біріктіру арқылы қол жеткізілген ашықтық пен сенімділікті арттыру. Блокчейнге негізделген деректерді сақтау академиялық жазбаларды қолдан жасау немесе жоғалту мүмкіндігін болдырмайды. Тест нәтижелері, сертификаттар мен дипломдар таратылған тізілімге сенімді түрде жазылады, бұл түпнұсқалықты бірден тексеруге мүмкіндік береді. Түлектермен өзара әрекеттесетін жұмыс берушілер мен білім беру мекемелері өзгермейтін жазбаларға қол жеткізе алады, бұл жалдау процесін жеңілдетеді және ашықтыққа ықпал етеді. Бұл білім беру бағдарламаларына деген сенімділікті арттыруға және олардың беделін жақсартуға ықпал етеді. Тағы бір үлкен жетістік ол -ақылды келісімшарттар арқылы процестерді автоматтандыру. Ақылды келісімшарттар курстарды тіркеу, бағалау және диплом беру сияқты білім беру міндеттерін басқаруды жеңілдетеді. Мысалы, жүйе курсты сәтті аяқтаған студенттерге олардың жетістіктерін блокчейнге жазу арқылы автоматты түрде сертификаттар бере алады. Бұл уақытты үнемдеп қана қоймайды, сонымен қатар әкімшілік жүктемені азайтады және адам қателіктерінің ықтималдығын азайтады. Жүйені тестілеу оның жоғары өнімділігі мен ақауларға төзімділігін анықтады. Тәжірибелер көрсеткендей, контейнерлерді жаңа пайдаланушыларға орналастыру бірнеше секундты алады, бұл жүйені студенттердің үлкен жүктемесі кезінде де тиімді етеді. Блокчейнді маңызды деректерді сақтау үшін негізі ретінде пайдалану олардың қауіпсіздігін және сыртқы қауіптерден, соның ішінде рұқсатсыз кіруден немесе деректердің өзгеруінен қорғауды қамтамасыз етті. Жүйе сонымен қатар әртүрлі сценарийлерге бейімделетінін дәлелдеді.

Заманауи білім беру технологиялары қарқынды дамып келеді және бұл саладағы негізгі инновациялар контейнерлеу және блокчейн болып табылады. Бұл технологиялар сенімді, икемді және масштабталатын білім беру жүйелерін құруға мүмкіндік береді.

Контейнерлеу – бұл бағдарламалық жасақтаманы контейнерлер деп аталатын стандартты бірліктерге тәуелділікпен орау әдісі. Бұл тәсіл олардың әртүрлі есептеу орталарында тасымалдануын, орналастырылуын және басқарылуын айтарлықтай жеңілдетеді, бұл оны әсіресе білім беру технологиялары үшін пайдалы етеді.

Блокчейн – ақпараттың ашықтығы, қауіпсіздігі және өзгермейтіндігінің жоғары деңгейін қамтамасыз ететін орталықтандырылмаған сақтау жүйесі. Білім беру ортасында блокчейнді студенттердің үлгерімі туралы жазбаларды сенімді сақтау, сертификаттар мен дипломдардың түпнұсқалығын растау, сондай-ақ білім беру материалдарына қол жеткізуді бақылауды автоматтандыру үшін қолдануға болады. Бұл алаяқтық ықтималдығын азайтады, басқаруды жеңілдетеді және білім беру ұйымдарына деген сенімділікті арттырады [12].

Білім беру процесінде контейнерлер мен блокчейнді қолдану білім беру жазбаларын сақтау және басқару: Блокчейн рұқсат етілмеген өзгерістерді болдырмау арқылы деректердің өзгермейтіндігі мен қауіпсіздігіне кепілдік береді, ал контейнерлер білім беру жазбаларын тиімді талдауға және басқаруға мүмкіндік беретін қолданбаларды ыңғайлы орналастыруды қамтамасыз етеді.

Зерттеу барысында контейнерлеу мен блокчейнді интеграциялау арқылы білім беру процестерінің тиімділігін арттыру мүмкіндіктері тестіленді.

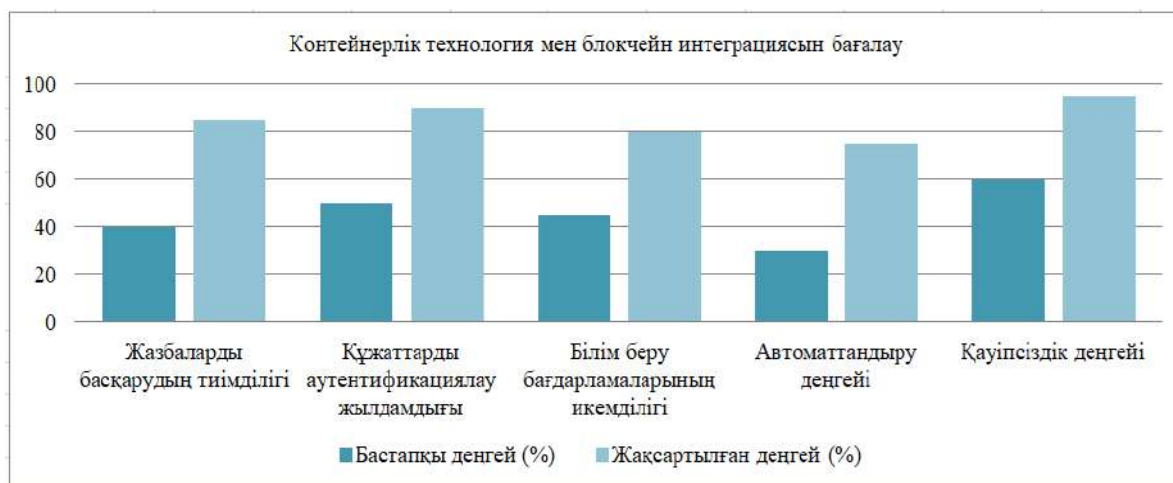
Сараптамалық бағалау. Зерттеудің нәтижелері IT-мамандар, білім беру жүйесінің сарапшылары мен университет әкімшілігі өкілдерімен талқыланып, олардың шынайылығы мен практикалық маңыздылығы расталды.

Салыстырмалы талдау. Блокчейнсіз білім беру жүйесімен салыстырғанда деректердің бұрмалану қаупі 60%-ға төмендегені анықталды. Құжаттарды тексеру жылдамдығы қағаз жүзіндегі процестермен салыстырғанда 3 есе артты. Контейнерлеу арқылы білім беру платформаларының жүктемені өңдеу қабілеті 40%-ға жоғарылады.

Прототипті тестілеу нәтижелері

- Жазбаларды басқарудың тиімділігі 40%-дан 85%-ға дейін өсті.
- Құжаттарды аутентификациялау жылдамдығы 50%-дан 90%-ға дейін артты.
- Білім беру бағдарламаларының икемділігі 45%-дан 80%-ға дейін жақсарды.
- Автоматтандыру деңгейі 30%-дан 75%-ға дейін ұлғайды.
- Қауіпсіздік деңгейі 60%-дан 95%-ға дейін өсті.

Бұл нәтижелер блокчейн мен контейнерлік технологияларды енгізу білім беру жүйесін едәуір жақсартатынын көрсетеді (Сурет 3).



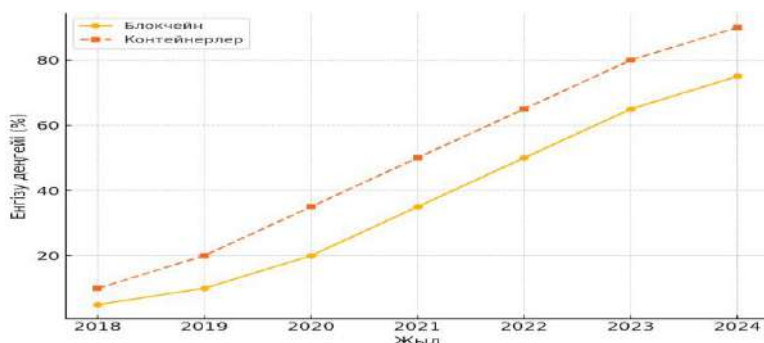
Сурет 3. Контейнерлік технология мен блокчейн интеграциясының білім берудегі артықшылықтарын санаттар бойынша бағалау

Контейнерлік технологиялар мен блокчейн интеграциясының артықшылықтарының гистограммасы-10 балдық шкала бойынша негізгі артықшылықтардың (ашықтық, қауіпсіздік, икемділік, автоматтандыру және шығындарды азайту) бағасын көрсетеді (Сурет 4).



Сурет 4. Білім беруде контейнерлер мен блокчейнді қолдануды бөлу

Технологияны енгізуге әсер ететін факторлар. Білім беруде контейнерлік технологиялар мен блокчейнді енгізуге ықпал ететін негізгі Қауіпсіздікті арттыру (30%) Шығындарды азайту (25%) Оқу икемділігі (25%) Ашықтық (20%) факторлары жатады (Сурет 4). Технологияны қолдануды таратудың дөңгелек диаграммасы-блокчейн мен контейнерлерді енгізуден (жазбаларды сақтау, аутентификация, орталықтандырылмаған оқыту және бағдарламалардың икемділігі) қай білім салалары көбірек пайда көретінін көрсетеді (Сурет 5).



Сурет 5. Білім беруде контейнерлік технологиялар мен блокчейнді енгізу динамикасы

Технологияларды енгізу динамикасының сызықтық графигі-2018 жылдан 2025 жылға дейін білім беру мекемелерінде блокчейн мен контейнерлеуді енгізудің өсуін көрсетеді.

Дискуссия

Білім беруде жүйесінде блокчейн технологиясы негізіндегі автоматтандырылған контейнерлік модельдерді қолдану білім беру мекемелеріне деректерді сақтау сенімділігін арттыру, бюрократиялық жүктемені азайту және цифрлық білім беру құжаттарына деген сенімділікті арттыру арқылы жаңа мүмкіндіктер ашады. Алайда, нәтижелі іске асыру үшін нормативтік базаны әзірлеуді, мамандарды техникалық даярлауды және оқытуды қамтитын кешенді тәсіл қажет болады. Болашақта мұндай технологиялардың белсенді дамуын, олардың білім беру жүйелеріне интеграциялануын және цифрлық оқытудың жаңа стандарттарының пайда болуын күтуге болады.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеудің нәтижелері эксперименттік, теориялық және статистикалық талдау арқылы дәлелденді. Алынған деректер академиялық сенімділік қағидаттарына негізделген, және зерттеудің қорытындылары нақты ғылыми көрсеткіштермен дәлелденді. Осылайша, блокчейн мен контейнерлік технологияларды білім беру жүйесіне енгізу қауіпсіздік, тиімділік және автоматтандыру деңгейін едәуір арттыратыны анықталды. Сонымен қатар олардың әлеуетін және білім беру жүйесінің әртүрлі аспектілеріне енгізу қажеттілігін көрсетеді. Мұндай процесс блокчейн саласында білімі мен дағдылары бар, білім беру саласындағы педагогикалық және әкімшілік міндеттерді шешу үшін оның құралдары мен әдістерін қолдануға қабілетті білікті IT-мамандарды даярлауды талап ететіні анық. Болашақ даму перспективалары осы модельді әртүрлі білім беру контексттерінде қолдануды кеңейтуді және оны оңтайландыру және масштабтау үшін технологиялық инфрақұрылымды жақсартуды қамтиды.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

[1] Hussain I., Cakir O. *Blockchain technology in higher education: Prospects, issues, and challenges //Blockchain technology applications in education.* – IGI Global, 2020. С. 97-112. DOI: 10.4018/978-1-5225-9478-9.ch005

[2] Haugbakken H., Langseth I. *The blockchain challenge for higher education institutions //European Journal of Education.* – 2019. – Т. 2. – №. 3. – С. 24-29. <https://doi.org/10.26417/ejed.v2i3.p41-46>

- [3] Yakovenko I. et al. *The blockchain technology as a catalyst for digital transformation of education* //Technology. – 2019. – Т. 10. – №. 01. – С. 886-897.
- [4] Makarova A., Pavlichevab E. N. *Development of information resources to ensure continuing education and knowledge transfer in chemical universities* //CHEMICAL ENGINEERING. – 2020. – Т. 81. <http://dx.doi.org/10.3303/CET2081214>
- [5] Сахипов А. А., Ермаганбетова М. А., Байдильдинов Т. Ж. *Методика применения образовательного портала с элементами блокчейн в вузах республики Казахстан* //Вестник КазНПУ им.Абая. Серия: Педагогические науки. 2022. Т. 75. №. 3. С. 166-176. DOI: [10.51889/2619.2022.82.27.014](https://doi.org/10.51889/2619.2022.82.27.014)
- [6] Mahi M. H. et al. *A web based interactive system to promote ict education in Bangladesh* //2019 14th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE). – IEEE, 2019. – С. 77-80. <https://doi.org/10.1109/ICCSE.2019.8845487>
- [7] Gatteschi V., Lamberti F., Demartini C. *Blockchain technology use cases* //Advanced applications of Blockchain technology. – 2020. – С. 91-114. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8775-3_4
- [8] Chen Y., He W. *Security risks and protection in online learning: A survey* //International Review of Research in Open and Distributed Learning. – 2013. – Т. 14. – №. 5. – С. 108-127. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v14i5.1632>
- [9] Nakamoto S., Bitcoin A. *A peer-to-peer electronic cash system* //Bitcoin.–URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. – 2008. – Т. 4. – №. 2. – С. 15..
- [10] Pahl C. et al. *Cloud container technologies: a state-of-the-art review* //IEEE Transactions on Cloud Computing. – 2017. – Т. 7. – №. 3. – С. 677-692. <https://doi.org/10.1109/TCC.2017.2702586>
- [11] Open Blockchain, (accessed October 15, 2020), <https://blockchain.open.ac.uk/>. 253
- [12] Andrianova Natalya, Nechaeva Polina. (2022) *Intelligent Contracts in Engineering Enterprise Supply Management. Bulletin of Kemerovo State University. Series: Political, Sociological and Economic sciences 4.* <http://dx.doi.org/10.21603/2500-3372-2021-6-4-496-505>

References

- [1] Hussain I., Cakir O. *Blockchain technology in higher education: Prospects, issues, and challenges* //Blockchain technology applications in education. – IGI Global, 2020. – S. 97-112. DOI: 10.4018/978-1-5225-9478-9.ch005
- [2] Haugbakken H., Langseth I. *The blockchain challenge for higher education institutions* //European Journal of Education. – 2019. – Т. 2. – №. 3. – S. 24-29. <https://doi.org/10.26417/ejed.v2i3.p41-46>
- [3] Yakovenko I. et al. *The blockchain technology as a catalyst for digital transformation of education* //Technology. – 2019. – Т. 10. – №. 01. – S. 886-897.
- [4] Makarova A., Pavlichevab E. N. *Development of information resources to ensure continuing education and knowledge transfer in chemical universities* //CHEMICAL ENGINEERING. – 2020. – Т. 81. <http://dx.doi.org/10.3303/CET2081214>
- [5] Sahipov A. A., Ermaganbetova M. A., Bajdil'dinov T. Zh. *Metodika primenenija obrazovatel'nogo portala s jelementami blokchejn v vuzah Respubliki Kazahstan* //vestnik kazNPU Abai. Serija: Pedagogicheskie nauki. – 2022. – Т. 75. – №. 3. – S. 166-176. DOI: 10.51889/2619.2022.82.27.014
- [6] Mahi M. H. et al. *A web based interactive system to promote ict education in Bangladesh* //2019 14th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE). – IEEE, 2019. – S. 77-80. <https://doi.org/10.1109/ICCSE.2019.8845487>
- [7] Gatteschi V., Lamberti F., Demartini C. *Blockchain technology use cases* //Advanced applications of Blockchain technology. – 2020. – S. 91-114. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8775-3_4
- [8] Chen Y., He W. *Security risks and protection in online learning: A survey* //International Review of Research in Open and Distributed Learning. – 2013. – Т. 14. – №. 5. – S. 108-127. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v14i5.1632>
- [9] Nakamoto S., Bitcoin A. *A peer-to-peer electronic cash system* //Bitcoin.–URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. – 2008. – Т. 4. – №. 2. – S. 15..
- [10] Pahl C. et al. *Cloud container technologies: a state-of-the-art review* //IEEE Transactions on Cloud Computing. – 2017. – Т. 7. – №. 3. – S. 677-692. <https://doi.org/10.1109/TCC.2017.2702586>
- [11] Open Blockchain, (accessed October 15, 2020), <https://blockchain.open.ac.uk/>. 253
- [12] Andrianova Natalya, Nechaeva Polina. (2022) *Intelligent Contracts in Engineering Enterprise Supply Management. Bulletin of Kemerovo State University. Series: Political, Sociological and Economic sciences 4.* <http://dx.doi.org/10.21603/2500-3372-2021-6-4-496-505>

Д.А. Султанова

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан
*e-mail: dan1ssimo0320@gmail.com

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ФИШИНГОВЫХ САЙТОВ

Аннотация

Фишинговые атаки на веб-сайты – это тип кибератаки, в ходе которой злоумышленники создают мошеннические веб-сайты, имитирующие законные платформы, такие как социальные сети, с целью обмануть ничего не подозревающих пользователей и заставить их разгласить конфиденциальную информацию. Это включает в себя пароли, данные кредитных карт, имена пользователей и другие персональные данные. Эти фишинговые веб-сайты выглядят аутентично и часто используют различные методы, такие как подмена URL-адресов, социальная инженерия и фишинг по электронной почте или текстовым сообщениям, чтобы заманить жертв раскрыть свою конфиденциальную информацию. Веб-приложения становятся все более сложными, и их трудно идентифицировать с первого взгляда, особенно когда они используют методы шифрования и обфускации. Чтобы эффективно обнаруживать и предотвращать загрузку фишинговых веб-приложений на сервер в режиме реального времени, необходимо разработать машинное обучение. В дополнение к анализу алгоритмов машинного обучения для выявления атак на основе веб-приложений, исследование калибрует свежие анализы путем выполнения алгоритмов машинного обучения и подтверждения результатов. В исследовании используются уникальные и категоризированные результаты из набора данных машинного обучения. Согласно результатам, полученным в результате экспериментального и сравнительного анализа применяемых алгоритмов классификации, метод случайного леса продемонстрировала высочайшую точность, достигнув показателя 97%, за ней следуют модель дерева решений с показателем 94% и экстремальный градиентный бустинг (XGBoost).

Ключевые слова: дерево решений, логистическая регрессия, фишинг, случайный лес, XGBoost.

Д.А.Султанова

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

ФИШИНГТІК САЙТТАРДЫ АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АЛГОРИТМДЕРІНІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ЗЕРТТЕУІ

Аңдатпа

Веб-сайттарға фишингтік шабуылдар – бұл кибершабуылдың бір түрі, онда шабуылдаушылар бейхабар пайдаланушыларды алдау және құпия ақпаратты жария ету мақсатында әлеуметтік медиа сияқты заңды платформаларға еліктейтін алаяқтық веб-сайттар жасайды. Бұған Құпия сөздер, несие картасы деректері, пайдаланушы имен және басқа да жеке деректер кіреді. Бұл фишингтік веб-сайттар шынайы көрінеді және құрбандарды өздерінің құпия ақпаратын ашуға тарту үшін URL мекенжайларын ауыстыру, әлеуметтік инженерия және электрондық пошта немесе мәтіндік фишинг сияқты әртүрлі әдістерді жиі пайдаланады. Веб-қосымшалар барған сайын күрделене түседі және оларды бір қарағанда анықтау қиын, әсіресе шифрлау және обфускация әдістерін қолданған кезде. Фишингтік веб-қосымшалардың нақты уақыт режимінде серверге жүктелуін тиімді анықтау және болдырмау үшін машиналық оқытуды дамыту қажет. Веб-қосымшаларға негізделген шабуылдарды анықтау үшін машиналық оқыту алгоритмдерін талдаудан басқа, зерттеу Машиналық оқыту алгоритмдерін орындау және нәтижелерді растау арқылы жаңа талдауларды калибрлейді. Зерттеу Машиналық оқыту деректер жиынтығынан бірегей және санатталған нәтижелерді пайдаланады. Қолданылатын жіктеу алгоритмдерін эксперименттік және салыстырмалы талдау нәтижесінде алынған нәтижелерге сәйкес, кездейсоқ орман моделі ең жоғары дәлдікті көрсетті, әсерлі 97%, одан кейін 94% шешім ағашының моделі және экстремалды градиентті күшейту (XGBoost).

Түйін сөздер: шешім ағашы, логистикалық регрессия, фишинг, кездейсоқ орман, XGBoost

D.A. Sultanova

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

A COMPARATIVE STUDY OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR PHISHING SITE DETECTION

Abstract

Phishing attacks on websites are a type of cyberattack in which attackers create fraudulent websites that imitate legitimate platforms such as social media in order to deceive unsuspecting users and disclose confidential information. This includes passwords, credit card data, user ID, and other personal data. These phishing websites look real and often use various methods such as URL swapping, social engineering, and email or text phishing to attract victims to reveal their sensitive information. Web applications are becoming more and more complex and difficult to detect at first glance, especially when using encryption and obfuscation methods. Machine learning needs to be developed to effectively detect and prevent phishing web applications from being uploaded to the server in real time. In addition to analyzing machine learning algorithms to detect attacks based on web applications, the study calibrates new analyses by executing machine learning algorithms and validating the results. The study uses unique and categorized results from machine learning data sets. According to the results obtained from the experimental and comparative analysis of the classification algorithms used, the random forest model showed the highest accuracy, with an impressive 97%, followed by the decision tree model of 94% and extreme gradient amplification (XGBoost).

Keywords: Decision Tree, Logistic Regression, Phishing, Random Forest, XGBoost.

Основные положения

В исследовании используются уникальные и категоризированные результаты из набора данных машинного обучения. Согласно результатам, полученным в результате экспериментального и сравнительного анализа применяемых алгоритмов классификации, метод случайного леса продемонстрировала высочайшую точность, достигнув показателя 97%, за ней следуют модель дерева решений с показателем 94% и экстремальный градиентный бустинг (XGBoost).

Введение

Фишинговые атаки – это мошеннические попытки, в которых киберпреступники создают вводящие в заблуждение сообщения, такие как электронные письма, сообщения или веб-сайты, которые выглядят как исходящие из надежных источников. Эти атаки стали серьезной проблемой для компаний, убытки от которых составляют около 100 миллиардов долларов в год. Кроме того, они находятся на подъеме, увеличившись на 200% по сравнению с предыдущими годами. Имеющиеся в настоящее время решения для борьбы с этими атаками неэффективны, и существует острая потребность в новых и инновационных методах защиты как компаний, так и частных лиц. В связи с растущей зависимостью от компьютеризированной финансовой деятельности и уменьшением количества операций с наличными киберпреступники используют эту тенденцию, используя методы фишинга для мошеннического получения конфиденциальной финансовой информации от ничего не подозревающих жертв. Преступные организации перешли от эксплуатации технических уязвимостей систем к эксплуатации человеческих уязвимостей, таких как неспособность отличить подлинные онлайн-ресурсы от мошеннических, таких как электронная почта и веб-сайты. Поэтому крайне важно разработать эффективные решения для смягчения этих проблем. Многие элементы повседневной жизни, включая социальные сети, онлайн-банкинг, электронную коммерцию и другие виды деятельности, переместились в Интернет из-за быстрого развития глобальных сетевых и коммуникационных технологий. Однако открытый, частный и неконтролируемый характер Интернета также создает благоприятную среду для кибератак, создавая серьезную угрозу безопасности как для сетей, так и для обычных пользователей компьютеров, даже опытных. Трудно полностью предотвратить страдания людей от фишинговых мошенничеств, даже несмотря на то, что забота и навыки пользователей важны. Фишинговый веб-сайт – это вводящий в заблуждение и мошеннический

веб-сайт, целью которого является обман и манипулирование пользователями с целью разглашения конфиденциальной информации. Эти веб-сайты обычно замаскированы под законные веб-сайты или электронные письма и часто содержат поддельные страницы входа в систему или другие формы, предназначенные для кражи информации у ничего не подозревающих пользователей. Фишинговые веб-сайты обычно используют тактику социальной инженерии, чтобы заманить пользователей предоставить свою конфиденциальную информацию, например, выдавая себя за заслуживающее доверия учреждение, такое как банк, платформа социальных сетей или сайт электронной коммерции. Как только пользователь вводит свою информацию на поддельном веб-сайте, злоумышленники могут использовать эту информацию для кражи денег, личных данных или совершения других форм мошенничества [1]. Чтобы не стать жертвой фишинговых веб-сайтов, крайне важно проявлять осторожность при вводе личной информации в Интернете. Проверка URL-адреса веб-сайта, поиск индикаторов безопасности, таких как HTTPS и значок замка, а также воздержание от перехода по ссылкам в подозрительных электронных письмах – все это необходимые меры.

Методология исследования

Целью данного исследования является анализ различных методов машинного обучения для изучения потенциальных применений пяти различных моделей классификации для выявления фишинговых веб-сайтов. Основная цель состоит в том, чтобы разработать интеллектуальную модель, способную оценить подлинность веб-сайта и определить степень обмана. Предложенный метод проиллюстрирован на рисунке 1.



Рисунок 1. Предлагаемый метод

Сбор данных. "Набор данных о фишинговых сайтах" от Kaggle [2] представляет собой набор URL-адресов, классифицированных как легальные или фишинговые веб-сайты. Набор данных содержит 11 055 URL-адресов, из которых 5 643 помечены как законные, а 5 412 - как фишинговые. Он объединяет два источника: первый - законные URL-адреса с веб-сайтов, входящих в топ-1 миллиона сайтов Alexa, а второй - известные фишинговые URL-адреса из PhishTank, службы по борьбе с фишингом, созданной сообществом. Пользователи могут сообщать о подозрительных фишинговых веб-сайтах в PhishTank для проверки. Сайт добавляется в базу данных PhishTank после подтверждения.

Этот набор данных может быть использован для ряда приложений машинного обучения, включая бинарную классификацию, обнаружение аномалий и разработку функций для идентификации фишинговых веб-сайтов.

Предварительная обработка данных. Существует несколько методов предварительной обработки, которые можно применить к набору данных фишинговых веб-сайтов, чтобы

подготовить его к использованию в моделях машинного обучения. Например, очистка данных включает в себя удаление повторяющихся или нерелевантных записей. Например, удаление URL с недопустимым форматом. Извлечение из URL-адресов ценные характеристики, такие как длина, наличие определенных ключевых слов или количество специальных символов. Нормализация данных для обеспечения согласованности. Преобразование категориальных данных, такие как метка (фишинговая или законная), в числовой формат, используемый алгоритмами машинного обучения. Если набор данных несбалансирован (один класс содержит непропорционально больше выборок, чем другой), пересчитывание данных, чтобы сбалансировать классы. Эти методы предварительной обработки повышают качество набора данных для задач машинного обучения, таких как двоичная классификация. В рабочем процессе машинного обучения разделение данных на обучающие (80 %) и тестовые наборы (20 %) является критически важным этапом, поскольку оно позволяет оценить производительность модели и способность к обобщению.

Классификация. Классификация данных включает в себя систематическую организацию и категоризацию данных по отдельным группам или классам, используя сходства или различия в их особенностях или характеристиках. Целью классификации данных является обеспечение эффективного и действенного управления, анализа и принятия решений [3]. В машинном обучении классификация данных — это общая задача, которая включает в себя обучение модели изучению отношений между признаками данных и метками классов или категориями. Обученная модель может быть впоследствии применена для составления прогнозов по классу метки новых и неопубликованных данных. Различные алгоритмы, такие как логистическая регрессия, дерево решений, XGBoost, среди прочих, могут быть использованы для классификации данных, при этом выбор соответствующего алгоритма зависит от характеристик данных и конкретной цели классификации. После успешного обучения и валидации модели она может быть применена для классификации новых данных в режиме реального времени.

В целом, классификация данных является важнейшим аспектом анализа данных и машинного обучения, обеспечивающим эффективное управление и использование больших и сложных наборов данных. Цель этой работы — использовать различные алгоритмы машинного обучения, такие как логистическая регрессия, адаптивный бустинг, дерево решений, случайный лес и XGBoost, для классификации набора данных фишинговых веб-сайтов. Каждый из этих алгоритмов обладает своими уникальными преимуществами и ограничениями, что потенциально делает их более подходящими для конкретных типов данных или задач классификации.

Логистическая регрессия. Логистическая регрессия – это популярный метод, используемый для задач двоичной классификации, где она моделирует вероятность исхода, принадлежащего к одному из двух классов. Он часто используется в задачах машинного обучения, связанных с двоичной классификацией, где цель состоит в том, чтобы разделить данные на одну из двух групп на основе набора характеристик. Основываясь на предоставленных независимых переменных, модель логистической регрессии использует сигмоидальную или логистическую функцию для прогнозирования вероятности того, что зависимая переменная будет равна 1. Сигмоидальная функция сопоставляет вещественные входные данные в диапазоне от 0 до 1, представляя вероятность. Алгоритм логистической регрессии использует оценку максимального правдоподобия для оценки коэффициентов независимых переменных. Затем эти коэффициенты используются для вычисления вероятности того, что зависимая переменная равна 1 на основе входных данных. На практике логистическая регрессия может быть применена к различным приложениям, таким как кредитный рейтинг, диагностика заболеваний и обнаружение мошенничества. Благодаря своей простоте, интерпретируемости и устойчивости, это делает его популярным методом.

Дерево решений. Древоидная модель обычно используется в машинном обучении для задач, связанных с регрессией и классификацией. В нем наглядно изображены варианты

принятия решений на основе обстоятельств и их результатов. Структура состоит из узлов, ветвей и листьев. Узлы представляют тесты на входных признаках, ветви отображают возможные результаты, а листья представляют окончательные решения или классификации. Алгоритм строит дерево путем рекурсивного разбиения данных на подмножества на основе значений входных признаков [4]. Как многоклассовая, так и двоичная категоризация могут выиграть от универсальности деревьев решений. Цель состоит в том, чтобы разработать модель, которая прогнозирует целевую переменную путем последовательного принятия решений на основе входных признаков. Алгоритм изучает оптимальные правила принятия решений на основе обучающих данных, чтобы свести к минимуму ошибку классификации и повысить точность прогнозирования. Примечательно, что деревья решений интерпретируемы, поскольку они предлагают ясные и интуитивно понятные средства для визуализации процесса принятия решений. Это облегчает понимание факторов, влияющих на окончательное решение или результат. Кроме того, деревья принятия решений могут обрабатывать как непрерывные, так и категориальные входные функции, а также демонстрируют устойчивость к отсутствующим значениям и выбросам. Тем не менее, деревья решений могут быть подвержены переобучению, что приводит к потенциальным проблемам с обобщением на новые, невидимые данные.

Случайный лес (Random Forest). Случайный лес – это метод ансамблевого обучения, который включает в себя деревья решений, обученные независимо на рандомизированных подмножествах обучающих данных и входных признаков. Результаты получаются путем агрегирования выходных данных деревьев, обычно путем усреднения или голосования большинства. Такой подход смягчает переобучение и может привести к повышению точности прогнозирования и надежности производительности модели [5]. Фундаментальная концепция, лежащая в основе случайных лесов, заключается в решении проблемы переобучения и повышении точности модели путем объединения нескольких деревьев решений. Уникальное подмножество входных характеристик и обучающих данных используется для обучения каждого дерева в лесу, тем самым уменьшая дисперсию модели и улучшая ее производительность обобщения. Объединяя выходные данные этих отдельных деревьев, как правило, путем усреднения или голосования большинства, подход случайного ансамбля леса смягчает переобучение и дает более надежную и точную модель прогнозирования или классификации. Алгоритм случайного леса работает путем выбора случайного подмножества обучающих данных и входных признаков в каждом узле каждого дерева. Затем он строит дерево решений на основе выбранных данных и признаков [6]. Эта процедура повторяется несколько раз, в результате чего получается коллекция или «лес» деревьев решений. На этапе прогнозирования случайный лес консолидирует результаты всех деревьев путем усреднения или получения большинства голосов, чтобы получить окончательный прогноз или классификацию. Точность и устойчивость модели повышаются благодаря этому методу ансамбля, использующему коллективную силу принятия решений несколькими деревьями.

Адаптивный бустинг (AdaBoost). Адаптивный бустинг, также известный как AdaBoost, является популярным методом ансамблевого метода, который сочетает слабые классификаторы для создания более надежного и точного общего классификатора. AdaBoost итеративно комбинирует прогнозы нескольких слабых классификаторов для создания более сильного классификатора, адаптивно корректируя веса обучающих выборок, чтобы придать большее значение неправильно классифицированным выборкам. Такой подход повышает производительность классификатора, позволяя ему обрабатывать сложные шаблоны данных и достигать более высокой точности по сравнению с отдельными слабыми классификаторами. AdaBoost особенно эффективен при работе со сложными наборами данных, содержащими множество входных признаков и классов. Обучающие данные делятся на разные подмножества для каждого слабого классификатора, и веса обучающих выборок динамически корректируются во время каждой итерации, чтобы придать более высокую важность выборкам, которые были неправильно классифицированы предыдущими слабыми

классификаторами. Этот процесс создает новую обучающую выборку, смещенную в сторону образцов, которые ранее были неправильно классифицированы, заставляя слабые классификаторы сосредоточиться на этих выборках и улучшить их производительность. Конечным результатом работы алгоритма является взвешенная сумма предсказаний всех слабых классификаторов, при этом веса определяются точностью каждого слабого классификатора. AdaBoost имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами ансамбля, такими как случайный лес и бэггинг. Он менее подвержен переобучению, хорошо работает с многомерными данными и может обрабатывать зашумленные и неполные данные. Одним из основных ограничений AdaBoost является его чувствительность к выбросам и шуму в обучающих данных. Если данные содержат много выбросов или зашумленных выборок, алгоритм может переподгонять эти выборки и плохо работать с новыми данными. Кроме того, AdaBoost может быть ресурсоемким, требуя обучения множества слабых классификаторов на нескольких подмножествах обучающих данных.

Экстремальный градиентный бустинг (XGBoost). Экстремальный градиентный бустинг — это высокоэффективный алгоритм машинного обучения, используемый для задач классификации. В качестве метода ансамблевого обучения он объединяет прогнозы из нескольких слабых моделей, часто в форме деревьев решений, для создания более точного и устойчивого окончательного прогноза. Известный своей превосходной эффективностью, скоростью и способностью обрабатывать большие наборы данных, XGBoost завоевал популярность в области машинного обучения. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет достигнута требуемая степень точности в течение определенного количества итераций. XGBoost также включает в себя несколько методов регуляризации, таких как регуляризация L1 (Lasso) и L2 (Ridge), для предотвращения переобучения и улучшения производительности генерализации модели. Эти методы регуляризации наказывают большие веса или сложные модели, тем самым продвигая более простые и стабильные модели. После того, как ансамбль деревьев построен, прогнозы делаются путем агрегирования прогнозов всех деревьев. Как правило, XGBoost использует комбинацию взвешенного голосования или усреднения для получения окончательных прогнозируемых вероятностей классов. XGBoost стал предпочтительным вариантом для многочисленных задач классификации благодаря своему мастерству в управлении несбалансированными наборами данных, эффективной обработке отсутствующих значений и проведении анализа важности признаков. Этот анализ помогает определить наиболее важные характеристики, которые способствуют точным прогнозам. В результате XGBoost завоевал популярность в области машинного обучения благодаря своим уникальным возможностям в решении этих общих проблем. Чтобы классифицировать набор данных фишинговых веб-сайтов, каждый из этих алгоритмов может быть обучен и оценен с использованием созданных ранее наборов для обучения и тестирования. Такие метрики, как полнота, точность и прецизионность, могут использоваться для измерения производительности каждого алгоритма. На основе полученных результатов может быть выбран наиболее точный и эффективный алгоритм для развертывания в реальных сценариях.

Результаты исследования

Оценка эффективности классификации – это процесс измерения точности и эффективности модели классификации в прогнозировании правильной метки класса для заданного набора входных данных. Это важный шаг в процессе разработки модели, позволяющий получить представление о сильных и слабых сторонах модели и помочь определить области для улучшения. Наиболее распространенными показателями оценки эффективности классификации являются [7]:

1. *Accuracy*: Основываясь на соотношении правильно идентифицированных выборок ко всем выборкам набора данных, он обеспечивает целостную оценку производительности модели путем количественной оценки ее способности делать точные прогнозы.
2. *Precision*: способность модели классификации изолировать только релевантные

элементы данных. В математике точность вычисляется путем деления общего числа истинно положительных результатов на сумму истинно положительных и ложных срабатываний.

3. *Recall*: способность модели находить все соответствующие экземпляры в источнике данных. Полнота вычисляется математически как произведение числа истинно положительных результатов на сумму истинно положительных и ложноотрицательных результатов. Он указывает на долю положительных прогнозов, сделанных моделью, которые на самом деле являются истинно положительными.

4. *F1-Score*: Оценка F1 иллюстрирует компромисс между полнотой и точностью, вычисляя среднее гармоническое между каждой парой. Следовательно, он рассматривает наблюдения, которые являются как ложноположительными, так и ложноотрицательными.

Используя эти показатели, мы можем оценить производительность модели классификации и выбрать наиболее эффективную модель для нашей конкретной проблемы. На Рис. 2 показана точность моделей.



Рисунок 2. Точность моделей

Метод Случайного леса с точностью 0,97 демонстрирует самую высокую точность, за ней следуют методы дерева решений и XGBoost с оценкой точности 0,94. Модель логистической регрессии имеет точность 0,92, что ниже, чем у трех других моделей. Модель Adaboost имеет самую низкую точность – 0,91. Превосходная производительность модели Случайного леса обусловлена несколькими ключевыми факторами. Во-первых, в качестве ансамблевого метода он агрегирует несколько деревьев решений, уменьшая переобучение и повышая стабильность за счет комбинации отдельных прогнозов. Случайность признаков метода – использование подмножеств признаков для каждого дерева – обеспечивает различные точки зрения на данные, предотвращая доминирование одного влиятельного признака. Этот метод умело фиксирует сложные, нелинейные отношения в наборе данных, что делает его легко адаптируемым к различным сценариям. Random Forest также предоставляет метрики важности признаков, помогая в понимании данных и выборе признаков. Его устойчивость к переобучению, устойчивость к шуму и простота настройки гиперпараметров способствуют его надежности и точности в задачах классификации. Важно отметить, что точность сама по себе не всегда является лучшим показателем для оценки работы классификатора. Другие метрики, такие как точность и полнота памяти, также следует учитывать, чтобы убедиться, что модель хорошо работает во всех аспектах данных. Кроме того, при выборе метода нужно учитывать контекст и конкретные требования проблемы

Дискуссия

На основе предоставленной информации метод Random Forest оказался наиболее эффективным алгоритмом классификации среди оцениваемых. Его точность (97 %) превзошла производительность как метода дерева решений (94%), так и технологии XGBoost. Такая

производительность позволяет предположить, что метод Random Forest хорошо подходит для различных задач классификации и должна рассматриваться как основной выбор для таких приложений. К новым тенденциям в системах обнаружения фишинговых сайтов относится поведенческий анализ. Это включает в себя анализ поведения пользователя на веб-сайте для выявления подозрительных действий, таких как множественные попытки входа в систему, быстрые клики, необычные шаблоны навигации или аутентификация на основе домена. Поведенческий анализ собирает данные о взаимодействиях с пользователем, такие как движения мыши, нажатия клавиш, время, проведенное на страницах, шаблоны кликов и поведение навигации. Эти признаки можно извлечь и обработать для создания набора данных для обучения моделей машинного обучения. Интеграция поведенческого анализа с моделями машинного обучения обеспечивает упреждающий и ориентированный на пользователя подход к обнаружению фишинга, используя сильные стороны обеих областей. Это позволяет создать более комплексную и динамичную систему, которая адаптируется к меняющейся тактике злоумышленников, тем самым повышая общую защищенность от попыток фишинга.

Заклучение

Системы обнаружения фишинговых веб-сайтов значительно развились в последние годы из-за растущей изощренности фишинговых атак. Фишинг представляет собой значительную угрозу в корпоративной среде, что приводит к значительным финансовым потерям. Несмотря на различные решения, предлагаемые и внедряемые авторитетными компаниями в области кибербезопасности, количество успешных фишинговых атак стремительно растет, что свидетельствует о том, что современные методы недостаточны для борьбы с этой проблемой. В этом документе разрабатываются различные методы обнаружения фишинга и смягчения его последствий, которые улучшают предыдущие подходы и обеспечивают более высокую точность и лучшие результаты.

References

- [1] Hannousse, S. Yahiouche (2021) *Towards benchmark datasets for machine learning based website phishing detection: An experimental study*, *Engineering Applications of Artificial Intelligence// Engineering Applications of Artificial Intelligence*. Volume 104, Page 104347. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2021.104347>
- [2] Gfk Healthcare, (2023) *Phishing Websites Dataset*. Kaggle. <https://www.kaggle.com/akashkr/phishing-website-dataset>.
- [3] Alnemari, S.; Alshammari (2023) *M. Detecting Phishing Domains Using Machine Learning// Appl. Sci.* 13, 4649. <https://doi.org/10.3390/app13084649>
- [4] A.A. Otahonov (2024) *Obnaruzhenie i oценка fishingovyh url-adersov s ispol'zovaniem algoritmov mashinnogo obuchenija [Detecting and assessing phishing urls using machine learning algorithms]. "Desendants of Al-Farghani" electronic scientific journal of Fergana of TATU named after Muhammad al-Khorazmi. ISSN 2181-4252.vol:1.lss:4. (In Russian)*
- [5] A. Mandadi, S. Boppana, V. Ravella, R. Kavitha (2022) *Phishing Website Detection Using Machine Learning*. [2022 IEEE 7th International conference for Convergence in Technology \(I2CT\). https://doi.org/10.1109/I2CT54291.2022.9824801](https://doi.org/10.1109/I2CT54291.2022.9824801)
- [6] E. Y. Boateng, D. A. Abaye (2019) *A Review of the Logistic Regression Model with Emphasis on Medical Research// Journal of Data Analysis and Information Processing. Vol. 07, no. 4, pp. 190–207.* <https://doi.org/10.4236/jdaip.2019.74012>
- [7] G. Chugh, S. Kumar, N. Singh (2021) *Survey on Machine Learning and Deep Learning Applications in Breast Cancer Diagnosis. Cognitive Computation, vol. 13, no. 6, pp. 1451–1470.*

ИНФОРМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ. БІЛІМ БЕРУДІ АҚПАРАТТАНДЫРУ
МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОРМАТИКИ. ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ
METHODS OF TEACHING COMPUTER SCIENCE. INFORMATIZATION OF EDUCATION

ГТАХР 14.25.09

10.51889/2959-5894.2025.89.1.023

Б. Дуйсекеева¹ , С. Конева^{2*} , Т. Сарсембаева³ 

¹Қожа Ахмет Яссауи атындағы халықаралық қазақ-түрік университеті,
Түркістан қ., Қазақстан

² Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

³Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

* e-mail: konevasveta@mail.ru

ОРТА БІЛІМ БЕРУДЕ ДЕРБЕСТЕНДІРІЛГЕН ОҚЫТУ: ЖҮЙЕЛІ ӘДЕБИ ШОЛУ

Аңдатпа

XXI ғасыр дағдыларын қалыптастыру – қазіргі білім берудің маңызды жаһандық міндеттерінің бірі. Бұл орта білім жетістіктері мен жоғары оқу орындарының талаптары, сондай-ақ жұмыс берушілер мен оқушылардың қажеттіліктері арасындағы алшақтықты жоюға бағытталған. Қазақстан Республикасының 2023–2029 жылдарға арналған білім беруді дамыту реформасының тұжырымдамасына сәйкес, білім беру процесі оқушылар мен олардың қажеттіліктеріне бағдарлануы тиіс. Мақалада дербестендірілген оқыту мен жасанды интеллекттің білім беру процесіне әсері қарастырылады. Оқушының мүмкіндіктері, жеке қызығушылықтары мен қажеттіліктеріне негізделген білім беру траекториясының табысты жұмыс істеу мәселесі дербестендірілген оқытуға көшу арқылы шешіледі. Бұл тәсіл оқушы мен мұғалімнің әрекеттерін өзгерту арқылы білім сапасын арттыруға ықпал етеді. Цифрлық технологиялар дәуірінде дербестендірілген оқыту білім беру саласының назарын аудартып, оқушылардың әртүрлі қажеттіліктерін қанағаттандыру, өзара әрекеттестікті нығайту және үлгерімді арттыру үшін тиімді құралға айналды. Мақалада дербестендірілген оқыту мен жасанды интеллекттің ықпалына арналған жүйелі әдеби шолу ұсынылады. Зерттеудің мақсаты – орта білім беру жүйесінде дербестендірілген оқытудың тиімділігін, осы тәсілді жүзеге асыруда жасанды интеллект пен заманауи технологиялардың рөлін талдау және оларды білім беру жүйесіне интеграциялау бойынша нақты ұсыныстар әзірлеу. Зерттеу міндеттері дербестендірілген оқыту бойынша негізгі зерттеулерді талдау, оның артықшылықтары мен кемшіліктерін анықтау болып табылады. Зерттеу үшін PRISMA әдіснамасы таңдалып, 2014-2023 жылдар аралығындағы Scopus деректер базасындағы мақалалар қамтылды. Мақалада дербестендірілген оқыту әдістемесінің дамуының әртүрлі аспектілері, соның ішінде МООС курстары, интеллектуалды тәлімгерлік жүйелер, онлайн және бейімделген жүйелер, толықтырылған және виртуалды шындықты пайдалану қарастырылған. Зерттеу нәтижелері білім беру мекемелерінде дербестендірілген оқытуға көшудің жобалық жүйелерін әзірлеуде қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: дербестендірілген оқыту, дербестендіру, жасанды интеллект, білім беру тенденциялары, жүйелі әдеби шолу, оқушы қажеттіліктері, оқушы қызығушылығы, икемділік.

Б. Дуйсекеева¹, С. Конева², Т. Сарсембаева³

¹Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмета Яссауи,
г. Туркестан, Казахстан

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

³Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЕ ОБУЧЕНИЕ В СРЕДНЕМ ОБРАЗОВАНИИ: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Абстракт

Формирование навыков XXI века представляет собой одну из важнейших глобальных задач современного образования. Она заключается в преодолении разрыва между достижениями среднего образования и требованиями высших учебных заведений, а также между потребностями работодателей и обучающихся. В соответствии с видением реформы развития образования Республики Казахстан на 2023-2029 годы определен образовательный процесс, ориентированный на учащихся и их потребности. В статье рассматривается влияние персонализированного обучения и искусственного интеллекта на образовательный процесс. Проблема успешного функционирования образовательной траектории, созданной для учащегося и его потенциала, личных интересов и потребностей, решается через переход к персонализированному обучению. Этот подход способствует улучшению качества знаний путем трансформации действий как учащегося, так и учителя. В эпоху цифровых технологий персонализированное обучение становится стратегией, привлекающей внимание образовательного сообщества. Оно является эффективным инструментом для удовлетворения разнообразных потребностей обучающихся, укрепления взаимодействия и повышения успеваемости. В статье представлен систематический обзор литературы, посвященный влиянию персонализированного обучения и искусственного интеллекта. Цель исследования – проанализировать эффективность применения персонализированного обучения в системе среднего образования, роль искусственного интеллекта и современных технологий в реализации этого подхода, а также разработать конкретные рекомендации по их интеграции в образовательную систему. Задачи исследования заключались в том, чтобы проанализировать основные исследования персонализированного образования, выделить преимущества и недостатки персонализированного образования. Методология PRISMA была выбрана для систематического литературного обзора, охватывающего статьи с 2014 по 2023 годы из базы данных Scopus. Статье анализируются различные аспекты развития персонализированной методологии обучения, такие как МООС курсы, интеллектуальные системы наставничества, онлайн и адаптивные системы, аргументированная реальность и использование виртуальной реальности. Результаты исследования могут быть использованы в разработке проектных систем перехода на персонализированное обучение в образовательных учреждениях.

Ключевые слова: Персонализированное обучение, персонализация, искусственный интеллект, тенденции в образовании, систематический обзор литературы, потребности учащегося, интересы учащегося, гибкость.

B. Duisekeyeva¹, S. Koneva², T. Sarsembayeva³

¹The International Kazakh-Turkish University named after Hodzhi Akhmeta Yassau, Turkestan, Kazakhstan

²Kazakh National Pedagogical University named after Abai, Almaty, Kazakhstan

³Kazakh National University named after al-Farabi, Almaty, Kazakhstan

PERSONALIZED LEARNING IN SECONDARY EDUCATION: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Abstract

The development of 21st-century skills represents one of the most significant global challenges in modern education. It focuses on bridging the gap between the achievements of secondary education and the requirements of higher education institutions, as well as addressing the needs of employers and students. According to the vision of Kazakhstan's 2023–2029 education reform, the educational process is oriented toward students and their individual needs. This article examines the impact of personalized learning and artificial intelligence on the educational process. The challenge of ensuring the successful functioning of an educational trajectory tailored to a student's potential, personal interests, and needs is addressed through the transition to personalized learning. This approach enhances the quality of knowledge by transforming the roles

and actions of both students and teachers. In the digital age, personalized learning has emerged as a strategy attracting the attention of the educational community. It serves as an effective tool for meeting diverse student needs, strengthening engagement, and improving academic performance. The aim of this article is to provide a systematic literature review of personalized learning trends and the impact of artificial intelligence, highlighting key studies, methodologies, advantages, and challenges of personalized education. The research objectives include analyzing major studies on personalized education and identifying its benefits and drawbacks. The PRISMA methodology was employed for the systematic literature review, covering articles from 2014 to 2023 in the Scopus database. The article explores various aspects of the development of personalized learning methodologies, such as MOOCs, intelligent mentoring systems, online and adaptive systems, augmented reality, and virtual reality. The findings of the study can be used to develop project-based systems for implementing personalized learning in educational institutions.

Keywords: Personalized learning, personalization, artificial intelligence, educational trends, systematic literature review, student needs, student interests, flexibility.

Негізгі ережелер

Қазіргі заманда дербестендіру әдістемесе өте үлкен қарқынмен даму үстінде. Дербестендірілген оқыту кезінде оқушылардың мүмкіндіктері, жеке қызығушылықтары, қажеттіліктері ескерілген жағдайда білім сапасы артатыны сөзсіз. Жасанды интеллект және әр түрлі технологиялар дербестендірілген оқытуда оқушылардың әртүрлі қажеттіліктерін қанағаттандыру, өз оқуын дамыту, оқу үлгерімін арттыру стратегиясы ретінде білім беру саласында айтарлықтай назар аударды. Сол себептен дербестендірілген білім берудегі негізгі зерттеулерді, артықшылықтарды, сондай-ақ өзге зерттеулердің кемшіліктерін бөліп көрсете отырып, дербестендірілген оқытудың тенденциялары мен жасанды интеллекттің ықпалы бойынша әдебиеттерге жүйе шолу қарастыру болып табылады. Жүйелі әдеби жолу кезінде Scopus деректор қорындағы мақалалар зерттеліп, жасанды интеллекттің дамуына байланысты курстар, тәлімгерлік интеллектуалды жүйелер, бейімдік жүйелер, аргументтелген шындық және виртуалды шындық жүйелері арқылы дербестендірілген оқыту әдістемесінің артықшылықтары мен кемшіліктері туралы сараланған. Зерттеу нәтижелері болашақта дербестендірілген оқытуды қолдану кезінде және дербестендіру әдістемесін жетілдіру кезінде ескерілуі мүмкін.

Кіріспе

Білім беру жүйесі жаһанданудың және цифрландырудың қарқынды әсерінен түбегейлі өзгерістерге ұшырап, заманауи технологияларға негізделген оқыту әдістерін талап етуде. Бұл өзгерістер оқушылардың жеке қажеттіліктерін ескеруге бағытталған дербестендірілген оқытуды білім беру жүйесінің маңызды элементі ретінде қарастыру қажеттігін арттырды. Орта білім мазмұны мен жұмыс берушілердің талаптары арасындағы алшақтық, қалалық және ауылдық оқушылардың білім сапасындағы айырмашылық, сондай-ақ технологиялық инфрақұрылымның жеткіліксіздігі білім беруді жаңғыртудың маңызды мәселелері болып отыр. Қазіргі жаһандық сын-қатерлерге және цифрлық экономиканың талаптарына жауап бере алатын, икемді және жеке қажеттіліктерге бағытталған оқыту модельдерін құру өзекті болып табылады.

2015 жылы экономикалық ынтымақтастық пен даму ұйымы (ЭЫДҰ) «Білім беру мен дағдылардың болашағы: Білім беру 2030» жобасын әзірлеп, болашақтағы білім беру жүйесінің бағдарын және оның негізіне алынатын қағидаттарды ұсынды. Жобаның негізінде «Білім беру компасы 2030» (Learning Compass 2030) білім берудің тұжырымдамалық шеңберін әзірлеу аясында білімнің, дағдылардың, қатынастар мен құндылықтардың кең спектрін қамтитын құзыреттер салалары нақтыланды. (ЭЫДҰ, 2015) [1]. Осы жобаның негізінде «Білім беру мен дағдылардың болашағы: Білім беру 2030» жобасында білім беруді дамытудың бірнеше маңызды аспектілері ретінде дербестендірілген білім беру ортасы мен цифрландыру дәуірімен байланысты кең таралған технологиялық ортада жұмыс істеу қабілеті айқындалған. ЭЫДҰ

сарапшылары білім беру жүйесін жаңғырту кезіндегі 2021 жылы жаңадан енгізілген білім беру мазмұнын жалпы оң қадам деп баға береді. Дүниежүзілік банк қолдап, іске асырылған жаңартылған білім беру мазмұнын бағалау бойынша негізгі орта, жалпы орта мен бастауыш білім берудің пайдаланып жүрген үлгілік оқу бағдарламаларын жетілдіру бойынша зерттеулер нәтижелері жасалып, ұсыныстар дайындалды. Нақты айтатын болсақ, жасалған тұжырымға сәйкес, ХХІ ғасырда білімгерлерге ұлттық басымдықтарға, сонымен қатар жылдам өзгеріске ұшыраған жаһанның сын-қатерлері мен мүмкіндіктеріне сәйкес керек дағдылар, білім, әдіс-тәсілдер мен құндылықтарды анықтайтын білімнің мазмұнын жетілдіру бойынша ұсыныстар қорытындыланды. Атап айтқанда, орта білім беруде келесі мәселелерді шешу керек деп танылғандар: ХХІ ғасырдағы білім алушыларына қажетті білім, дағдылар, тәсілдер мен құндылықтарды айқындайтын білім беру мазмұнын жетілдіру қажет; дарынды оқушыларды жетілдіру жүйесін жетілдіру;- қалалық пен ауылдық оқушылардың арасындағы білім сапасындағы алшақтық, ақпараттық-технологиялық инфрақұрылымды жақсарту. Білім беруді дамытудың 2023 – 2029 жылдарға арналған Қазақстан Республикасының реформаның мазмұнына сай білім алушылар мен қажеттіліктеріне бағдарланған басымдық беріледі деп анықталған. Бұл дегеніміз білім беру ұйымдары оқушының білім деңгейін көтеріп қоймай, мұғалім оқу мен тәрбие процесінің бағыт-бағдар беруші ретінде білім алушыға жаһанды өз бетінше тануға, мүмкіндіктерін ашуға және жеке қызығушылықтары мен қажеттіліктерін ескере отырып, білім алуға мүмкіндік беретін траектория құру қажеттілігі анықталды (Бағдарлама, 2022) [2].

2020 жылғы оқиғалар күтпеген әлемдік өзгерістерді әкелді. Білім берудің барлық деңгейіндегі мұғалімдер мен оқушылар үшін жаппай – цифрландырудың жаһандық процесі, білім берудің жаңа тәжірибесін форматтарына дереу көшу, оқушылармен қарым-қатынастың үйреншікті үлгісін жою болды. Бұл үдеріс білім беру жүйесінің алдында жаңа міндеттерді белгіледі:

1. Білім берудің икемділігі мен ұтқырлығын арттыру, әртүрлі қажеттіліктерді ескере отырып, онлайн оқыту арқылы сапаны қамтамасыз ету және оқушылар үшін мүмкіндіктер, жеке оқыту бағдарламаларын құру, білімге қол жеткізу үшін виртуалды дербестендірілген бағдарламаларды қоса алғанда әр оқушының оқу мақсаттарына жетуін қамтамасыз ету.

2. Оқушы өз түсінуге, өз сенімі мен құндылықтарын бағалауға және негіздеуге дайын субъект ретінде өзінің белсенділігін көрсететін «мұғалім – оқушы» ұстанымын өзгерту. Сондай-ақ оқушының тұлғалық және кәсіби өзін-өзі анықтау және өзін-өзі дамыту туралы идеялар, ал мұғалім өз міндетін оқушының мақсатына жету үшін мотивацияны ынталандыру үшін жағдай жасаудан көріне бастады.

3. Білім беру форматтарын өзгерту. Бүгінгі таңда білім беру ұйымында оқушылардың оқытудың сұранысқа ие форматы – даму субъектісінің өзі мүмкін болатын даму бағытын (траекториясын) саналы түрде таңдаған кезде дараланған/дербестендірілген оқыту. Дербестендірілген траекторияның мәні әрбір адамға қол жеткізуге көмектесетін тәжірибелерді қажет етеді.

Зерттеудің мақсаты - орта білім беру жүйесінде дербестендірілген оқытудың қолданудың тиімділігін анықтау. Сонымен қатар, жасанды интеллект пен заманауи технологиялардың осы тәсілді жүзеге асырудағы рөлін талдау және білім беру жүйесіне интеграциялау бойынша ұсыныстар әзірлеу.

Проблемалық тұжырымдар:

- Дербестендірілген оқытудың бірыңғай теориялық және практикалық негіздерінің жоқтығы;

- Жаңа технологиялардың жылдам дамуына қарамастан, оларды білім беру жүйесінде тиімді пайдалану деңгейінің төмендігі;

- Мұғалімнің дербестендірілген оқытудағы рөлін нақты түсінбеу және педагогикалық тәсілдерді жеткілікті түрде жетілдірмеу.

Зерттеу нәтижелері:

- Құрылымдалған әдеби шолудың нәтижесі бойынша дербестендірілген оқыту әдістері оқушылардың оқу қажеттіліктері мен ерекшеліктерін ескеруді қамтамасыз ететіні және олардың оқу мотивациясы мен жетістіктерін арттыратыны анықталды;

- Жасанды интеллект пен бейімделген оқыту жүйелері арқылы ұйымдастырылған дербестендірілген оқыту әдісін пайдалану дәстүрлі әдістермен салыстырғанда жоғары тиімділік көрсеткен;

- Дегенмен, дербестендіру барлық жағдайда артықшылықтарды қамтамасыз ете бермейді, бұл бағдарламаларды әзірлеу барысында контекстуалдық факторларды ескеруді талап етеді;

- Дербестендірілген оқытуды енгізу үшін педагогтардың кәсіби дайындығы мен технологиялық инфрақұрылымның қолжетімділігін шешуші рөл атқарады.

Әлемдік зерттеулерге шолу жасайтын болсақ, «дербестендірілген оқыту» терминінің әлі де болсатүсінігі қалыптаспағанын айтуға болады. Себебі, Р. Шмид және Д. Петко еңбектерінде «дербестендірілген оқыту» жалпы қабылданған терминінің жоқ екенін, оқушылардың жеке ерекшеліктері мен білімге қатысты қажеттіліктерін есепке алатын стратегиялардың «қолшатыр» секілді барлығын ескеретіндігін айтады (Р. Шмид, Д. Петко, 2024) [3]. Барлық мемлекеттерде бірдей теория мен практика жоқ болғанымен, персоналды оқытуға қызығушылық күн санап артуда. Олай дейтін себебі, Л. Ли және т.б. еңбектерінде «дербестендірілген оқыту» тенденциялары Web of Science, Scopus ағылшын тілді басылымдарын талдап зерттелді. Зерттеу барысында 2009 және 2019 жылдар аралығында «дербестендіру», «дербестендірілген оқыту» сөздерін іздеу кезінде 406 зерттеу жұмысы табылып, бұл зерттеулерде тәжірибелік зерттеулердің теориялық зерттеулерге қарағанда көбірек екендігін көрсетеді (Л. Ли, 2019) [4].

Дербестендірілген білімнің даму деңгейі әлем бойынша әр түрлі деңгейде болғандықтан, осы тақырыпты зерттеген ғалымдардың және мемлекет деңгейінде берілген анықтамалары төменде кесте 1 көрсетілген.

1-кестеден берілген анықтамаларды оқи келе мынадай тұжырымға келуге болады: әртүрлі зерттеушілер мен оқу орындары ұсынатын дербестендірілген оқытудың әртүрлі анықтамалары «жеке білім алушылардың бірегей қажеттіліктерін, күшті жақтарын, мүдделерін ескере отырып, оқытуды басты назарға алу керек» екендігін айтады.

Кесте 1. Дербестендірілген оқыту анықтамалары

<i>Дербестендірілген оқыту (PL) анықтамасы</i>	<i>Дереккөздер</i>
«Дербестендірілген оқыту дегеніміз оқу қарқыны мен оқыту тәсілі әрбір білім алушының қажеттіліктері үшін оңтайландырылған оқытуды білдіреді. Оқу мақсаттары, нұсқаулық тәсілдер, сондай-ақ оқу мазмұны (және оның тізбектелгендігі) білім алушылардың қажеттіліктеріне қарай әртүрлі болуы мүмкін. Сонымен қатар, оқыту білім алушылар үшін мазмұнды және өзекті болып табылады, олардың мүдделеріне негізделген және көбінесе өз бастамаларын білдіреді».	АҚШ ұсынған дербестендірілген оқытудың ресми анықтамасы (Білім басқармасы 2017 жылғы Ұлттық білім беру технологиясы)[4]
«Патрик, Кеннеди және Пауэллдің (2013) пікірінше, дербестендірілген оқыту әрбір білім алушының қызығушылығын, күшті жақтарын және қажеттіліктерін бейімдеуді білдіреді. Бұл тәсіл шеберлікті қолдану кезінде бейімді болуды және білім алушыларға олардың қалай, не, қашан және қайдан үйренетініне ықпал етуге мүмкіндік береді».	Basham et al. Башам және т.б. (2016) [5]

<p>«Бұл зерттеуде біз дербестендірілген оқыту білім алушылардың қажеттіліктерін, күшті жақтарын, сондай-ақ дағдылар мен мазмұнды(контентті) меңгеруге ықпал ететін мүдделерді ескере отырып оқытуды бейімдеуге арналған технологияға негізделген нұсқаулық модель ретінде анықтаймыз (Гамильтон, Пана және Стейнер, 2014; Патрик, Кеннеди және Пауэлл, 2013; Таненбаум, Ля Флош және Бойль, 2013). Дербестендірілген оқыту сондай-ақ студенттер үшін де, мұғалімдер үшін де таңдау мен икемділіктің жоғары деңгейін қамтамасыз етуді білдіреді (Билл және Мелинда Гейтс қоры, 2014). Мысалы, оқушылар контенттің әр түрлі түрлері арқылы әр түрлі қарқынмен қозғалуы мүмкін немесе берілген мақсатқа қол жеткізгені туралы әр түрлі дәлелдер ұсынуы мүмкін».</p>	<p>Bingham et al. Бингем және т.б. (2016) [6]</p>
<p>«Дербестендірілген оқу бағдарламасының тізбектелуі веб-негіздегі оқыту жүйелері үшін маңызды зерттеу мәселесі болып табылады, себебі барлық білім алушылар үшін бірде-бір бекітілген оқу маршруты дәл орынды болмайды. Сондықтан көптеген зерттеушілер онлайн веб-негізде оқытуға көмек көрсету үшін дербестендірілген оқыту тетіктері бар электрондық оқыту жүйелерін әзірлеуге және жекелеген білім алушылардың оқу үлгерімін ілгерілету мақсатында оқыту жолдарын бейімдеп қамтамасыз етуге баса назар аударды».</p>	<p>Chang, Чанг (2019) [7]</p>
<p>«Дербестендірілген оқыту – бұл әрбір оқушының күшті жақтары, қажеттіліктері мен мүдделері үшін оқытуды бейімдеу, оның ішінде оқушылардың дауысы мен олардың не, қалай, қашан және қайда үйренетінін таңдауға мүмкіндік береді — мүмкін болатын ең жоғары стандарттарды игеруді қамтамасыз ету үшін икемділік пен қолдауды қамтамасыз ету».</p>	<p>Song et al., Сонг, басқалар, (2012) [8]</p>
<p>«Дербестендірілген оқыту – бұл әртүрлі білім алушылардың қажеттіліктерін қанағаттандыруға бағытталған бір педагогикалық тәсіл. «Дербестендірілген оқытуды» зерттеушілер әртүрлі анықтамасын анықтағанымен, интерпретациялардың көп бөлігі көбіне білім алушыларға олардың оқу жолдарын белгілеу үшін көбірек дербестік беру бойынша тоғасады. Білім алушылар дидактикалық оқыту мен сипатталатын дәстүрлі оқу сыныптарында үлгі ретінде білімнің пассивті алушылары болып табылмайды. Оның орнына олар нені және қалай үйренгісі келетінін егемендікке ие болған білімнің тең өндірушілері болып табылады».</p>	<p>Song et al., Сонг және т.б., (2009) [8]</p>
<p>«Дербестендірілген оқыту әрбір баланың оқу әлеуеті мен табысын оңтайландыру үшін оны оқу процесіне тарту ниетімен әрбір оқушыға арналған дараланған оқыту бағдарламаларын әзірлеуге бағытталған».</p>	<p>Song et al., Соң және т.б., (2012) [8]</p>
<p>«Қарқынмен дамып келе жатқан дербестендірілген оқыту модельдерін зерттеу кезінде, бірнеше озық мектептер, мұғалімдер мен басқа да негізін қалаушылар мынадай тұжырым жасайды: кез келген білім алушылардың өз қажеттіліктерін, дағдылары, қызығушылықтарын есепке алып, оқушыларды оқытуды жылдамдататын және тереңдететін жүйелер мен әдістер деп есептейміз. Білім алушылардың алуан түрлі оқу тәжірибесі бар, олар жиынтығында колледжде табысқа жетуге және өз таңдауы бойынша мансапқа дайындалады. Мұғалімдер оқыту ортасын жобалау және басқару, жетекшілеу, сондай-ақ білімгерлердің оқуына жауапкершілігін арттыруға көмектесу үшін сараптамалық нұсқаулармен қолдау көрсету арқылы ажырамас рөл атқарады».</p>	<p>Pane et al Пейн және т.б., (2014) [9]</p>
<p>Авторлар «Дербестендіруді тиімді іске асырудың негізгі сипаттамаларын сипаттайтын үш дизайн өлшемін» ұсынды.</p>	<p>Walkington & Bernacki Уокингтон және</p>

<p>Контекстті дербестендіріп оқытуды күшейтетін теориялық тетіктерге мыналар жатады: (1) нұсқаулыққа білім алушылардың оң реакциямен қарауы, (2) бағаланатын жеке мүдделік байланыстар арқылы нұсқаулық мазмұны үшін құндылық сезімін тәрбиелеу немесе (3) тақырыпты алдын ала білім қорларына сүйенуді қамтуы мүмкін." Бұл дизайндық өлшемдер контекстті дамытуды және бекіту қамтамасыз ету, оқушылардың білім қорына сүйену, танымдық жүктемеге байланысты кейбір ой-тұжырымдарды оңтайландыру үшін дербестендіруді қалай құрылымдауға болатынын сипаттайды.»</p>	<p>Бернаки (2014) [10]</p>
<p>«Мектептің тарапынан білім алушының жеке қажеттіліктерін, ерекшеліктерін ескеруде және оқу ортасын ұйымдастыруда икемді оқу практикаларға сүйенуде талпыныс жасау»</p>	<p>Дженкинс, Киф, Jenkins, Keefe, 2002 [11]</p>
<p>«Дербестендірілген оқыту – бұл оқытудың жүйелі дизайны, ол жекелеген оқушылардың күшті жақтарын, қалауларын, қажеттіліктерін, сондай-ақ пәндерге қолжетімділікті арттыруды және ХХІ ғасырдағы еңбек дағдыларын қоса алғанда, білім беру тәжірибесін арттыруға алып келетін мақсаттарды тізуге бағытталған. Дербестендірілген оқыту бейімділікті қамтамасыз етеді және оқушылардың оқуды меңгергенін, қалай, қашан және қайда үйренетінін қамтамасыз етеді. Нақтырақ айтсақ, бұл бейімділік пен қолдаулар нұсқаулық тәсілдерге, мазмұнға, кері байланысқа, іс-шараларға, оқу мақсаттары мен нәтижелеріне, оқу қарқынына, сондай-ақ колледж бен мансапқа қарай баламалы жолдарға арналған. Бұдан басқа, дербестендірілген оқыту оқушылардың қызығушылығын, алдын ала оқуын ескере отырып, дауысы мен таңдауын жасауға мүмкіндік береді, сондай-ақ оқушыларға олардың оқу жолына ықпал етуге мүмкіндік береді. Дербестендірілген оқыту жүйелері көбінесе барлық білім алушылар үшін сапалы оқыту тәжірибесіне қол жеткізуді кеңейту, тиімді енгізу тәжірибесінде педагогтарды қолдау, сондай-ақ мектеп деңгейіндегі технологиялық инфрақұрылымды (мысалы, цифрлық платформа, онлайн деректер жүйесі) нығайту үшін деректер мен технологияларды пайдаланады.»</p>	<p>Zhang et al. Чжан және т.б. (2022) [12]</p>
<p>«Дербестендірілген оқыту «ақыл-ойын өсуре» дамытуды қамтиды, онда білім алушылар өз қабілеттерін еселенуге және күш-жігер арқылы дағдыларды дамытуға ұмтылуға ынталандырылады.»</p>	<p>Dweck, C. (2016) Дуюк, С. [14]</p>
<p>«Оқу қажеттіліктеріне бейімделген, оқуға бейімделген нұсқауды білдіреді. Оқушылардың қалаулары және әртүрлі оқушылардың ерекше қызығушылықтарына бейімделген. Қоршаған ортада бұл толық дербестендірілген, оқу мақсаттары мен мазмұны, сонымен қатар әдіс және қарқыны әр түрлі болуы мүмкін.»</p>	<p>Barbara Bray & Kathleen Mc Calskey, 2014 Барбара Брей және Кэтрин Мисс Калки [15]</p>
<p>«Дербестендірілген оқыту білім алушылардың оқу мақсаттары мен мүдделеріне назар аудару арқылы білім беру тәжірибесін жекелендіру үшін технологиялар мен бастапқы деректерін пайдаланады.»</p>	<p>Dede C., et al. (2017) Деде және т.б. [16]</p>
<p>«Субъектінің өз тұлғасын әлеуметтік маңызды деп тану процесі, оның нәтижесінде даралығын басқаларға беруге бағытталған белсенді қызметін анықтауға болады.»</p>	<p>А. В. Петровский, В. А. Петровский, 2007 (психологияда) [17]</p>
<p>«Дербестендірілген оқыту – бұл бағдарламалар, оқыту әдістері және академиялық стратегиялар оқушының жеке қажеттіліктеріне, қызығушылықтарына және әлеуметтік-мәдени деңгейіне бейімделген білім беру моделі.»</p>	<p>«Назарбаев зияткерлік мектебі» ДББҰ эксперименталды режимде персоналды оқытуды ұйымдастырудың ережесі</p>

Башам және т.б. [5], Бингем және т.б. [6], Джан және т.б. [7], Сонг және т.б. [8], Уокингтон және Бернаки [9], Киф және т.б. [10], Пенг және т.б., [11], Абави және т.б. [12] және т.б. барлығы дербестендірілген оқыту оқу нәтижелерін оңтайландыру үшін қарқынын, нұсқаулық тәсілдерін, мазмұнды араластыра отырып оқыту қажет деген идеяға тоғысады. Барлық зерттеушілер оқушылар үшін икемділік пен таңдауды қамтамасыз етуді, оқу процесінде оқушылардың дауысы мен таңдауын қамтамасыз етуді, сондай-ақ мазмұнды және өзекті оқыту тәжірибесін тәрбиелеу дербестендірудің негізгі идеясы екенін атайды. Мұғалімдердің рөлі оқу ортасын жобалау мен басқарудың, жетекші оқытудың ажырамас бөлігі ретінде, сондай-ақ оқушыларға олардың оқыту кезінде иелік етуде қолдау көрсету бойынша нұсқаулар беру ретінде ерекшеленеді.

Бұдан басқа, анықтамалар сапалы оқыту тәжірибесіне қол жеткізуді кеңейту және тиімді енгізу практикасында педагог қызметкерлерді қолдау үшін деректер мен технологияларды пайдалануды ескере отырып, дербестендірілген оқытуды іске асыруда технологиялардың маңыздылығын атап өтеді. Дербестендірілген оқытудың басты мақсаты – білім алушыларды мектебінде де, сондай-ақ таңдаған мансабында да дағдылар мен мазмұнды меңгеруге жәрдемдесу, дербестікті ынталандыру, білім берудің жақсы тәжірибесін жасау арқылы табысқа дайындау.

Зерттеу әдіснамасы

Персоналдандырылған оқытудың тұжырымдамасы мен жасанды интеллекттің білім беру саласына ықпалын зерттеу үшін жүйелі әдеби шолу әдісі таңдалды. Бұл әдіс зерттеу мәселесін тереңірек түсінуге, тақырып бойынша жинақталған ғылыми деректерді құрылымдап, қолда бар нәтижелерді синтездеуге мүмкіндік береді.

Таңдау негіздемесі:

1. Жүйелі әдеби шолу: Білім беру саласындағы дербестендірілген оқыту және жасанды интеллект тақырыбындағы заманауи ғылыми еңбектерді жинақтау мақсатында беделді ғылыми дерекқорлар пайдаланылды (Scopus, Web of Science). Бұл әдіс арқылы зерттеудің негізгі бағыттары мен озық тәжірибелері анықталды.

2. PRISMA әдістемесі: PRISMA әдістемесі: Зерттеу жұмыстары Scopus, Web of Science дерекқорларынан «дербестендірілген оқыту», «жасанды интеллект», «адаптивті оқыту» сияқты түйінді сөздер арқылы таңдалды. Барлық мақалалар релеванттылық, әдіснамалық сенімділік және контекстуалды сәйкестік критерийлері бойынша бағаланды. Нәтижесінде, 146 жұмыс талданды, оның ішінде 14 зерттеу мақала толығымен зерттеуге негіз болды.

3. Сапалық және сандық талдау: Мәліметтерді терең талдау арқылы дербестендірілген оқытудың негізгі артықшылықтары мен шектеулері, сондай-ақ жасанды интеллекттің дербестендірілген оқытуды ұйымдастыруда ықпалы туралы нақты деректер алынған.

Ғылыми зерттеудің кезеңдері

1. Дайындық кезеңі:

Зерттеу мәселесін анықтау: Орта білім берудегі персоналдандырылған оқыту әдістері мен жасанды интеллекттің ықпалын зерттеу қажеттілігі айқындалды.

Зерттеу мақсаттарын белгілеу: Тақырып бойынша негізгі зерттеу сұрақтары анықталды:

Дербестендірілген оқыту бойынша зерттеулер нәтижелері қандай және оның білім беру үрдісіндегі орны қандай?

Жасанды интеллект бұл әдісті тиімді етуге қалай ықпал етеді?

Деректер көздерін анықтау: Scopus, Web of Science және басқа да беделді дерекқорлардан ғылыми мақалаларды іріктеу.

2. Мәліметтерді жинау және іріктеу:

Түйінді сөздерді пайдалану: «Дербестендірілген оқыту», «жасанды интеллект», «адаптивті оқыту» және т.б. арқылы іздеу жүргізу.

Релеванттылықты бағалау: Әдебиеттердің тақырыпқа сәйкестігін және әдіснамалық сенімділігін анықтау.

Мақалаларды фильтрлеу: PRISMA әдісі бойынша қайталанатын және сәйкес келмейтін зерттеулерді алып тастау.

3. Мәліметтерді талдау:

Контенттік талдау: Таңдалған зерттеулерден дербестендірілген оқытудың теориялық және практикалық негіздерін, жасанды интеллекттің білім беру сапасына ықпалын бағалау.

Сапалық және сандық талдау: Дербестендірілген оқыту әдістерінің тиімділігі мен қолдану аясына қатысты мәліметтерді жүйелеу.

Категориялар бойынша бөлу: Жасанды интеллекттің әсер ету механизмдері, оқыту нәтижелері және педагогикалық тәсілдердің ерекшеліктері бойынша талдау.

4. Қорытындылау және ұсыныстар:

Нәтижелерді жинақтау: Зерттеу сұрақтарына сәйкес негізгі қорытындыларды шығару.

Ұсыныстар әзірлеу: Дербестендірілген оқыту әдістерін жетілдіру және жасанды интеллектті тиімді пайдалану үшін білім беру жүйесіне арналған практикалық ұсыныстар дайындау.

Болашақ зерттеулер: Зерттеу нәтижелерінің негізінде қосымша зерттеулердің бағыттарын анықтау.

Мәселені толық зерттеу үшін Scopus деректор қорындағы 2014 және 2023 мақалалар зерттелді. 2 -кестеде зерттеу сұрағына жауап беру үшін арнайы түйінді сөздер арқылы іздеу жүргізілді. Жалпы алғанда 146 жұмыс іріктеліп алынды.

Кесте 2. Түйінді сөз критерийлері

<p>KEY (personalized AND education OR artificial AND intelligence AND education OR personalised AND education) AND PUBYEAR > 2012 AND PUBYEAR < 2024 AND PUBYEAR > 2012 AND PUBYEAR < 2024 AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Education") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Artificial Intelligence")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI"))</p>	<p>146 жұмыс</p>
---	----------------------

Зерттеу нәтижелер

Зерттеу сұрағына сәйкес мынадай нәтижелерге қол жеткізілді: <https://rayyan.ai/> жасанды интеллект бойынша талдау жүргізу кезінде, 146 зерттеу жұмысының ішінен 2 дубликат жұмыс табылды. Сонымен қатар, 100 жұмыс «дербестендірілген оқыту», «жасанды интеллект» секілді критерийлердің негізінде табылған жұмыстарда мынадай нәрсе анықталды:

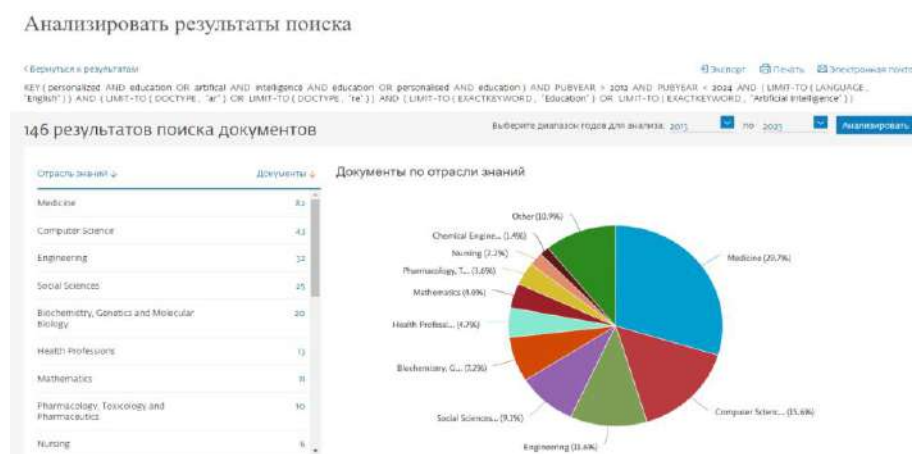
1. Медициналық тақырыптағы зерттеулердің табылуы
2. Зерттеулердің әдебиеттерге шолу ғана жасалғандығы
3. Зерттеу сұрағына сәйкес емес мақалалар
4. Мақаланы ашып, оқып қарауға мүмкіндік болмауы

Іздеу нәтижесі бойынша 1-суретте көрсетіліп тұрғандай, 2013 және 2023 жылдар аралығында осы тақырып айналасында зерттеулердің көбейіп жатқандығы анықталды. 1-суретте мақалалардың жария етілуі және саны бойынша диаграмма көрсетілген. Алайда, зерттеу аясы көбінесе әдеби шолулар жасалып, тәжірибенің нәтижесін сипаттау зерттеулері басым екендігі айқындалды.

2-суретте арнайы түйін сөзбен табылған зерттеулердің категориялары көрсетілген. Сонымен қатар, 2-суретке сәйкес жасанды интеллект, білім, оқыту түйінді сөздерді қоса алғанда, биология, денсаулық, фармацевциология, химиялық инженерия және т.б. салаларға қатысы бар зерттеу нәтижелері қоса шықты. Сол себептен, әрбір зерттеудің ішкі мазмұнын қарау қажеттілігі туындады.



Сурет 1. Түйінді сөз арқылы іздеу нәтижесі



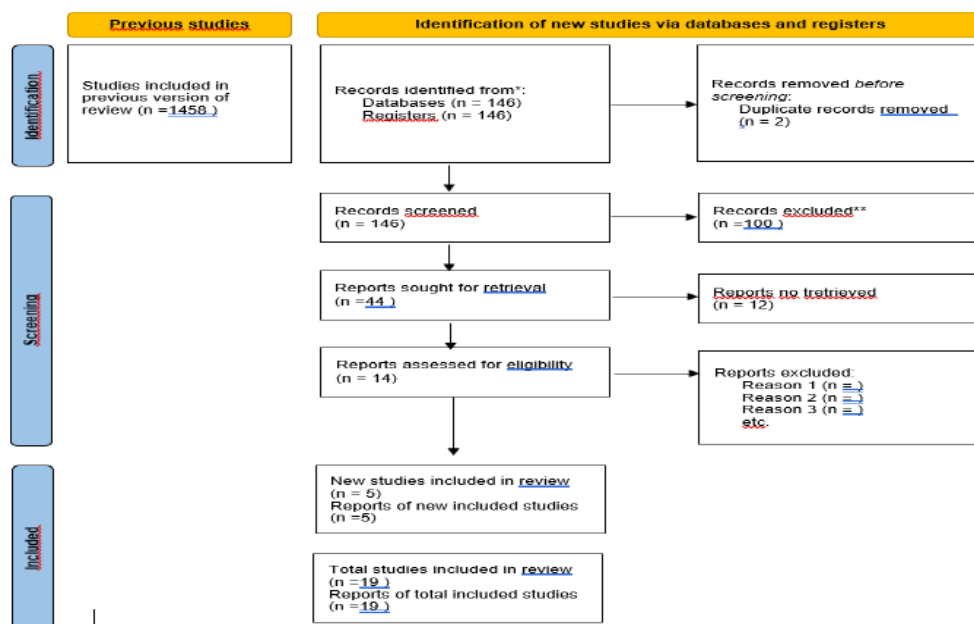
Сурет 2. Іздеу нәтижесінің әртүрлі салалар бойынша категориясы

Дискуссия

Жүйелі әдеби шолу жасау үшін PRISMA моделі таңдалып алынып, 100 жұмыс тақырыпқа сай еместігі, 44 жұмысқа шолу жасалып, 12 жұмысты ашып қарауға мүмкіндік болмады. 44 жұмыстың ішінен зерттеу сұрағына сай 14 зерттеу мақаласы таңдалды. 14 мақала ішінен, 4 жұмыс нәтижесі зерделенбеді. 3- суретте іздеу нәтижелерінің қорытындылары келтірілген. Себебі, арнайы платформа пайдаланып дербестендірілген оқыту жүргізілген зерттеу нәтижелері нақты тәжірибені көрсеткенімен, оның артықшылығы мен кемшілігін зерттей алмаған немесе ұсынылып отырған платформалар қолданыста бар, алайда тенденциялары мен қолданысын ашып көрсете алмаған.

Таңдалып алынған зерттеу жұмыстарының білім берудегі дербестендірілген оқыту үшін даму тенденциялары және жасанды интеллекттің ықпалы негізгі қорытынды пайымдаулары 3-кестеде көрсетілген. Төменде көрсетілген 3-кестеде зерттеудің негізгі нысаны, мәселелері, қорытындылары және оның нәтижелері берілген. Зерттеу барысында, жасанды интеллекттің дамуына байланысты ашық жалпы курстар, тәлімгерлік интеллектуалды жүйелер, онлайн және бейімдік жүйелер, аргументтелген шындық және виртуалды шындық жүйелері арқылы персоналды оқыту әдістемесі жоғары қарқынмен даму үстінде екенін байқауға болады.

3- кестедегі зерттеулерді талдайтын болсақ, біріншіден, оң нәтижелер дербестендірілген оқытуда танымдық, метакогниттік, әсер етуді біріктіретін зерттеулерде байқалады. Екіншіден, педагогтардың интеграциясы табысты іске асыру және дербестендірілген оқытуға қол жеткізу үшін шешуші мәнге ие.



Сурет 3. Іздеу нәтижесі

Үшіншіден, жасанды интеллект пайдалана отырып жасалған адаптивті оқыту жүйелері енгізілген кезде дәстүрлі білім беру тәсілдерді басып озуы мүмкін. Төртіншіден, дербестендіру бүкіл контекстерде бірте-бірте артықшылықтар көрсетпеуі мүмкін, бұл ретте дербестендірілген оқыту іс-шараларды жобалаудың әртүрлі факторларын қараудың маңыздылығы атап көрсетіледі.

Кесте 3. Дербестендірілген оқытуда жасанды интеллекті пен технологияларының қолдану аясы бойынша зерттеулердің талдауы

Автор	Зерттеу нысаны	Нәтижелері	Ерекшеліктері	Қорытынды пайымдау
Arroyo et al. (2014) [18]	Таным, метакогнитивті әсер ету мәселелерін шешетін математикалық тәлімгерлік жүйесі.	Математика көрсеткіштерінің және жиынтық тест балдарының айтарлықтай жақсаруы, күшейтілген өзара іс-әрекет, сондай-ақ оң әсерлі нәтижелер.	Мультимедиялық компоненттер, синхронды дыбыс, дер кезінде кері байланыс, виртуалды серіктер.	Тәлімгерлікте танымдық және аффективті элементтердің интеграциясы оқытудың дербестендірілген нәтижелерін жақсартуға әкеледі.
Bernacki & Walkington (2018) [10]	Алгебра проблемаларын интеллектуалды тәлімгерлік жүйесін пайдалана отырып дербестендіру.	Жағдаяттық қызығушылықты, тәлімгерлік көрсеткіштерін, сондай-ақ сынып емтихандарының балдарын жақсарту.	Алгебраның дербестендірілген проблемалары, ахуалдық қызығушылық тудырды.	Қызығушылыққа негізделген дербестендіру қысқа мерзімді өзара іс-қимылға да, математикаға ұзақ мерзімді жеке қызығушылыққа да оң әсерін тигізеді.

Phillips et al. (2020) [19]	Аралас оқу ортасында бейімделген интеллектуалды тәлімгерлік жүйесін (АЛЕКС) енгізу.	Сабақтар бойынша дербестендірілген оқытуға қол жеткізудегі табыс.	Гиперсітемелікке бай материалдар, дереу кері байланыс, прогресті кезеңдік бағалау.	Мұғалімдердің ұжымдастып жоспарлауы табысты дербестендіруге әкеледі
Ramachandran, Huang, & Scassella ti (2019) [20]	Интерактивті роботтың оқушылардың мінез-құлқына және оқу нәтижелеріне әсері.	Көмек іздеп жүрген мінез-құлықты ойдағыдай қалыптастыру, академиялық уәждемені оқу нәтижелері жақсарту.	Роботтың араласу стратегиялары, көмек іздеуші мінез-құлық стратегияларын қалыптастыру.	Роботтың интеллектуалды араласуы оқушылардың мінез-құлқына және оқу нәтижелеріне оң әсерін тигізеді.
Walkington & Bernacki (2018) [10]	Интеллектуалды тәлімгерлік жүйесін пайдалана отырып, жеке мүдделерге негізделген алгебралық оқытуды дербестендіру.	Дербестендіру бақылау жағдайын, әсіресе жоғары цифрлық өзара іс-қимыл кезінде басып озды.	Дербестендірілген тапсырмалар, терең/жалпы дербестену, өзара іс-қимылға оң әсерету.	Мүдделі топтармен цифрлық өзара іс-қимыл дәрежесі дербестену тиімділігін модераторлық етеді.
Wang et al. (2020) [8]	Бейімделген оқыту жүйесін дәстүрлі сыныптық оқытумен салыстыру.	Бейімделген оқыту жүйесі математикада дәстүрлі оқытумен салыстырғанда үлкен табыстар көрсетті.	Қалыптастырушы бағалары, сараланған тапсырмалар, интеллектуалды пікірлер.	Scirrel AI Learning сияқты адаптивті оқыту жүйелері дәстүрлі нұсқаулық тәсілдерге қарағанда тиімдірек болуы мүмкін.
Çakır & Şimşek (2014) [21]	Компьютер негізіндегі және қағазға негізделген ортадағы дербестендірілген математикалық мәселе есепке әсері.	Дербестендірілген және дербестендірілмеген топтар арасындағы, сондай-ақ компьютерлік және қағазға негізделген орталар арасындағы баллдардың елеулі айырмашылығы жоқ.	Мәселе есептерін білім алушылардың қызығушылығын ескере отырып реттеу.	Дербестендірудер дербестендірілмеген нұсқаудан едәуір артықшылық көрсете алмады.
Chandra et al. (2020) [22]	Әртүрлі оқу құзыреттері бар әлеуметтік роботтың балалардың қолжазба дағдысына әсері.	Дербестендірілген оқыту құзыреттілігі үздіксіз оқыту және оқудан тыс жағдайлармен салыстырғанда айқын артықшылықтарды көрсете алмады.	Робот оқу серіктері, дербестендірілген оқу құзыреттілігі ретінде.	Роботтың дербестендірілген құзыреттілігі басқа құзыреттіліктермен салыстырғанда оқудың жақсы өсіміне біртіндеп әкеле алмады.

<p><i>Isaiás (2018) [23]</i></p>	<p><i>Онлайн білім, оқуды басқару жүйелері</i></p>	<p><i>Оқытуды жандандыру үшін қалыптасып келе жатқан оқыту технологияларын іріктеу мен қабылдаудың үлгісін ұсынады.</i></p>	<p><i>Адаптивті оқыту, Жасанды интеллект, Мобильді технологиялар, MOOK, Виртуалды шындық, толықтырылған шындық, гамификация және заттар интернеті</i></p>	<p><i>дербестендірілген, жалпы арналған, бірлескен, өмір бойы және түпнұсқалық үлгіге қол жеткізу арналған білімнің нәтижелері туралы айтылады.</i></p>
<p><i>Kazimzade et al (2019) [24]</i></p>	<p><i>Көмекші ассистент арқылы оқу және бейімделген оқыту</i></p>	<p><i>Дербес оқыту профилі (PLP), жеке оқыту желісі (PLN), жеке оқыту ортасы (PLE) дербестендірілген білім берудің барлық маңызды компоненттері болып табылатынын анықтады. Сондай-ақ, зерттеу барысында пайдаланушылардың жасанды интеллект ің дербестендірілген оқытуды күшейтудегі рөлі туралы технологиялық түйсіктері түсірілді.</i></p>	<p><i>Инклюзивті білім және жасанды интеллект арасындағы байланыс</i></p>	<p><i>Тәжірибеде инклюзивті білім және жасанды интелект қолдану аясы туралы талқылау жасалады.</i></p>

Зерттеу нәтижелерінің талдауы. Дербестендірілген оқытудың тиімділігі туралы халықаралық зерттеулер мен зерттеу нәтижелерінің үйлесімділігі бұл тәсілдің перспективалы екенін көрсетеді. Зерттеудің маңызды аспектілері:

- Дербестендірілген оқыту оқу процесін жеке қажеттіліктерге сәйкес ұйымдастыруға мүмкіндік беріп, оқушылардың оқу жетістіктерін жақсартады;
- Жасанды интеллект технологиялары оқу мазмұнын бейімдеу, жылдам кері байланыс беру және оқу қарқынын оңтайландыру арқылы дәстүрлі әдістерден жоғары тиімділікті қамтамасыз етеді.

Шектеулер. Зерттеу барысында бірқатар мәселелер анықталды:

- Жаңа технологияларды білім беру жүйесіне енгізу деңгейі жеткіліксіз;
- Мұғалімдердің цифрлық дағдыларын дамыту қажеттілігі;
- Әлеуметтік және экономикалық контексттердің дербестендірілген оқыту сапасына әсері.

Болашақ зерттеулер үшін ұсыныстар:

- Дербестендірілген оқытудың әртүрлі әлеуметтік және мәдени ортадағы тиімділігін тереңірек зерттеу;
- Мұғалімдердің цифрлық сауаттылығын арттыруға арналған оқу бағдарламаларын енгізу;
- Жасанды интеллектке негізделген дербестендірілген оқыту платформаларын енгізудің әдістемелік құралдарын әзірлеу;

- Дербестендірілген оқытуға жасанды интеллектті интеграциялау жолдарын жетілдіру және оның ұзақ мерзімді тиімділігін бақылау.

Қорытынды

Зерттеу дербестендірілген оқытудың орта білім беру жүйесінде қолданылуы мен оның жасанды интеллект технологиялары арқылы тиімділігін талдауға бағытталды. Нәтижелер көрсеткендей, дербестендірілген оқыту оқушылардың жеке ерекшеліктерін ескеруге, олардың білім алу траекториясын дербестендіруге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, жасанды интеллектке негізделген дербестендірілген оқыту жүйелері дәстүрлі әдістермен салыстырғанда оқытудың тиімділігін арттыратынын дәлелдеді.

Жүйелі әдеби шолу мен талдау нәтижелері дербестендірілген оқытудың келесі келесі тұжырымдар негізделді:

1. Жеке қажеттіліктерді қанағаттандыру. Дербестендірілген оқыту әдістері оқушылардың мүдделері мен мүмкіндіктеріне бейімделу арқылы оқу мотивациясын күшейтеді және олардың жетістіктерін арттырады.

2. Жасанды интеллекттің рөлі. Интерактивті роботтар, бейімделген оқыту жүйелері, виртуалды және толықтырылған шындық платформалары сияқты технологиялар дербестендірілген оқыту процесін қолдайды.

3. Инфрақұрылым мен педагогтардың дайындығы. Технологиялық инфрақұрылымның жеткіліксіздігі мен педагогтардың цифрлық сауаттылығының төмендігі дербестендірілген оқытуды енгізудегі негізгі шектеулер ретінде анықталды.

Ғылыми маңыздылығы. Зерттеу дербестендірілген оқытуға қатысты теориялық және практикалық базаны кеңейтті. Алынған нәтижелер білім беру жүйесін жетілдіруде қолданылатын жаңа тәсілдер мен технологияларды дамытуға негіз болады. Сонымен қатар, зерттеу білім беру процесінде жасанды интеллекттің қолдану аясын айқындап, оның артықшылықтары мен шектеулерін көрсетті. Зерттеудің нәтижелері инновациялық оқыту тәсілдерін жетілдіруде, педагогикалық тәжірибелерді жаңартуда, сондай-ақ оқыту процесін дербестендіруге арналған жаңа стратегияларды жасауға негіз бола алады.

Зерттеу нәтижелері дербестендірілген оқыту әдістерінің оқушылардың жеке қажеттіліктеріне бейімделу мүмкіндігін арттыратынын және оқыту сапасын жақсартуда жасанды интеллекттің маңыздылығын айқындады. Сонымен қатар, бұл тәсілдердің толық іске асырылуы үшін технологиялық инфрақұрылым мен мұғалімдерді дайындаудың шешуші рөлі көрсетілді.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

[1] Экономикалық ынтымақтастық пен даму ұйымы «Білім беру мен дағдылардың болашағы: Білім беру 2030» жобасы. <https://www.oecd.org/en/data/tools/oecd-learning-compass-2030.html/> (10.09.2023)

[2] Қазақстан Республикасында білім беруді дамытудың 2022 – 2026 жылдарға арналған тұжырымдамасы. – 2022. - URL: <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2200000941> (10.01.2023)

[3] Schmid R. Does the use of educational technology in personalized learning environments correlate with self-reported digital skills and beliefs of secondary-school students? // *Computers Education*. -2019- № 136- pp. 75–86. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.03.006>

[4] Li K. C, Wong B.T. How Learning Has Been Personalised: A Review of Literature from 2009 to 2018// *In Lecture Notes in Computer Science*- 2019- pp. 72–81. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-21562-0_6

[5] Basham J. D. et al. An operationalized understanding of personalized learning // *Journal of Special Education Technology*. – 2016. – Т. 31. – №. 3. – С. 126-136.

[6] Bingham A. J. Personalized learning in high technology charter schools // *Journal of Educational Change*. – 2017. – Т. 18. – №. 4. – С. 521-549.




[7] Chang J., Lu. X. The Study on Students' Participation in Personalized Learning Under the Background of Artificial Intelligence// *10th International Conference on Information Technology in Medicine and Education (ITME)*. -2019- p. 555–558.

- [8]Song Y., Wong L. H., Looi C. K. *Fostering personalized learning in science inquiry supported by mobile technologies //Educational Technology Research and Development.* – 2012. – Т. 60. – С. 679-701.
- [9]Pane J. F., Steiner E. D., Baird M. D., & Hamilton L. S. *Continued Progress: Promising Evidence on Personalized Learning.* Rand Corporation. -2014- p. 80-81.
- [10]Bernacki M.L., Walkington C. *The role of situational interest in personalized learning// Journal of Educational Psychology,* - 2018- №110- pp. 864–881. URL:<https://doi.org/10.1037/edu0000250>
- [11]Keefe J. W., Jenkins J. M. *A special section on personalized instruction //Phi Delta Kappan.* – 2002. – Т. 83. – №. 6. – С. 440-448.
- [12]Abawi L.A. *Inclusion “from the gate in”: Wrapping students with personalised learning support // International Journal of Pedagog and Learning,* - 2015- №10- pp.47-61. URL:<https://doi.org/10.1080/22040552.2015.1084676>
- [13]Zhang L., Basham J. D., Yang S. *Understanding the implementation of personalized learning: A research synthesis //Educational research review.* – 2020. – Т. 31. – С. 100-339.
- [14]Dweck, C. S. *Mindset: The new psychology of success (2nd ed.)-* 2016- Random House- pp 64-65.
- [15]Bray B., McClaskey K. *Make learning personal: The what, who, wow, where, and why. //Corwin Press,* - 2014- pp-18-25.
- [16]Dede C, Huang R. Richards J. *Virtual, Augmented, and Mixed Realities in Education-2017-* URL: <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5490-7>
- [17]Петровский В.А., Петровский А.В. *Культурно-историческая психология* -2008- Том 4. № 2. -С. 112–118.
- [18]Arroyo I. et al. *A multimedia adaptive tutoring system for mathematics that addresses cognition, metacognition and affect //International Journal of Artificial Intelligence in Education.* – 2014. – Т. 24. – С. 387-426.
- [19]Phillips K. *The Effects of Personalized Learning on Student Achievement.* – 2023.- pp. 100-110.
- [20]Ramachandran A., Sebo S. S., Scassellati B. *Personalized robot tutoring using the assistive tutor pOMDP (AT-POMDP) //Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence.* – 2019. – Т. 33. – №. 01. – С. 8050-8057.
- [21]Çakir O., Şimşek N.A *comparative analysis of the effects of computer and paper-based personalisation on student achievement// Computers & Education,-* 2010- №55- pp. 1524–1531. URL:<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.06.018>
- [22]Chandra S., Dillenbourg P., Paiva A. *Children teach handwriting to a social robot with different learning competencies.// International Journal of Social Robotics* -2020 - №12(3)- pp. 721–748. URL:<https://doi.org/10.1007/s12369-019-00589-w>
- [23]Isaias P. *Model for the enhancement of learning in higher education through the deployment of emerging technologies. // Journal of Information, Communication & Ethics in Society (Online)-* 2018-№ 16(4)- pp. 401–412. URL: <https://doi.org/10.1108/JICES-04-2018-0036>
- [24]Kazimzade G., Patzer Y., Pinkwart N. *Artificial intelligence in education meets inclusive educational technology—The technical state-of-the-art and possible directions //Artificial intelligence and inclusive education: Speculative futures and emerging practices.* – 2019. – С. 61-73.

References

- [1]Ekonomikalıq intimaqtastıq pen damu uyimi «Bilim beru men daǵdıylardin bolashagi: Bilim beru 2030» [Organisation for Economic Co-operation and Development, “The Future of Education and Skills: Education 2030”] jobasi URL: <https://www.oecd.org/education/2030-project/teaching-and-learning/learning/learning-compass-2030/> (Kazakh).
- [2]Qazaqstan Respublikasynda bilim berudi damytudyn 2022 – 2026 jyldarǵa arnalǵan tujyrymdamasy» [On approval of the Concept of Education Development in the Republic of Kazakhstan for 2022-2026]. Qazaqstan Respublikasy Ukımetinin 2022 jylǵy 24 qarashadagy № 941 qaulysy (Kazakh).
- [3]Schmid R. (2019) *Does the use of educational technology in personalized learning environments correlate with self-reported digital skills and beliefs of secondary-school students? //Computers Education.* № 136. 75–86. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.03.006>
- [4]Li K. C, Wong B.T. (2019) *How Learning Has Been Personalised: A Review of Literature from 2009 to 2018// In Lecture Notes in Computer Science.* 2019. 72–81. URL:https://doi.org/10.1007/978-3-030-21562-0_6
- [5]Basham J. D. et al. (2019) *An operationalized understanding of personalized learning //Journal of Special Education Technology.* T. 31. №. 3. 126-136.

- [6] Bingham A. J. (2017) *Personalized learning in high technology charter schools* // *Journal of Educational Change*. 18. №. 4. 521-549.
- [7] Chang J., Lu. X. (2019) *The Study on Students' Participation in Personalized Learning Under the Background of Artificial Intelligence* // *10th International Conference on Information Technology in Medicine and Education (ITME)*. -2019. 555–558.
- [8] Song Y., Wong L. H., Looi C. K. (2012) *Fostering personalized learning in science inquiry supported by mobile technologies* // *Educational Technology Research and Development*. 60. 679-701.
- [9] Pane J. F., Steiner E. D., Baird M. D., Hamilton L. S. (2014) *Continued Progress: Promising Evidence on Personalized Learning*. Rand Corporation. p. 80-81.
- [10] Bernacki M.L., Walkington C. (2018) *The role of situational interest in personalized learning* // *Journal of Educational Psychology*, №110- pp. 864–881. URL: <https://doi.org/10.1037/edu0000250>
- [11] Keefe J. W., Jenkins J. M. (2002) *A special section on personalized instruction* // *Phi Delta Kappan*. 2002. T. 83. №. 6. 440-448.
- [12] Abawi L.A. (2015) *Inclusion "from the gate in": Wrapping students with personalised learning support* // *International Journal of Pedagog and Learning*, №10. 47-61. URL: <https://doi.org/10.1080/22040552.2015.1084676>
- [13] Zhang L., Basham J. D., Yang S. (2020) *Understanding the implementation of personalized learning: A research synthesis* // *Educational research review*. 2020. T. 31. 100-339.
- [14] Dweck, C. S. *Mindset: The new psychology of success* (2nd ed.)- 2016- Random House- pp 64-65.
- [15] Bray B., McClaskey K. (2014) *Make learning personal: The what, who, wow, where, and why*. // Corwin Press. Pp-18-25.
- [16] Dede C, Huang R. Richards J. (2017) *Virtual, Augmented, and Mixed Realities in Education* URL: <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5490-7>
- [17] Petrovskiy V.A., Petrovskiy A.V. (2008) *Kul'turno-istoricheskaya [Petrovsky V.A., Petrovsky A.V. Cultural-historical psychology]* №4. 2. P. 112–118.
- [18] Arroyo I. et al. (2014) *A multimedia adaptive tutoring system for mathematics that addresses cognition, metacognition and affect* // *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. T. 24. C. 387-426.
- [19] Phillips K. (2023) *The Effects of Personalized Learning on Student Achievement*. Pp 100-110
- [20] Ramachandran A., Sebo S. S., Scassellati B. (2019) *Personalized robot tutoring using the assistive tutor pOMDP (AT-POMDP)* // *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. T. 33. №. 01. 8050-8057.
- [21] Çakir O., Şimşek N. (2010) *A comparative analysis of the effects of computer and paper-based personalisation on student achievement* // *Computers & Education*, №55. 1524–1531. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.06.018>
- [22] Chandra S., Dillenbourg P., Paiva A. (2020) *Children teach handwriting to a social robot with different learning competencies*. // *International Journal of Social Robotics*. №12(3). 721–748. URL: <https://doi.org/10.1007/s12369-019-00589-w>
- [23] Isaías P. (2018) *Model for the enhancement of learning in higher education through the deployment of emerging technologies*. // *Journal of Information, Communication & Ethics in Society (Online)* № 16(4)-pp. 401–412. URL: <https://doi.org/10.1108/JICES-04-2018-0036>
- [24] Kazimzade G., Patzer Y., Pinkwart N. (2019) *Artificial intelligence in education meets inclusive educational technology—The technical state-of-the-art and possible directions* // *Artificial intelligence and inclusive education: Speculative futures and emerging practices*. C. 61-73.

А.А. Канатбекова^{1*} , М.Н. Кемелбек¹ , М.Б. Береке¹ ,
Р.А. Шералиева¹, С.К. Есіркеп¹

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан
^{*}e-mail: araika.12.99@mail.ru

АНАЛИЗ ПОПУЛЯРНЫХ ПРОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАНИИ: ПРЕДПОЧТЕНИЯ СТУДЕНТОВ

Аннотация

В последние годы технологии искусственного интеллекта (ИИ) стали неотъемлемой частью образовательного процесса, предоставляя студентам новые возможности для обучения и самореализации. Популярность ИИ-программ среди студентов объясняется их способностью упрощать доступ к учебным материалам, автоматизировать рутинные задачи и персонализировать процесс обучения. В данной статье представлен анализ наиболее востребованных ИИ-инструментов, таких как ChatGPT, Grammarly, Quizlet, Canva и Duolingo, которые активно используются студентами для написания эссе, подготовки к экзаменам, изучения иностранных языков и создания мультимедийного контента. Исследование выявляет, какие программы чаще всего выбираются студентами, их основные функции, преимущества и ограничения. Результаты работы позволяют понять, как ИИ-программы влияют на эффективность обучения, а также очертить перспективы их дальнейшего применения в образовательной среде.

Ключевые слова: искусственный интеллект, образование, студенты, ИИ-программы, цифровые технологии.

А.А. Канатбекова¹, М.Н. Кемелбек¹, М.Б. Береке¹, Р.А. Шералиева¹, С.К. Есіркеп¹

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

БІЛІМ БЕРУДЕГІ ТАНЫМАЛ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ БАҒДАРЛАМАЛАРДЫ ТАЛДАУ: СТУДЕНТТЕРДІҢ ТАҢДАУЫ

Аңдатпа

Соңғы жылдары жасанды интеллект (ЖИ) технологиялары білім беру үдерісінің ажырамас бөлігіне айналып, студенттерге оқу мен өзін-өзі дамыту үшін жаңа мүмкіндіктер ұсынуда. Студенттер арасында ЖИ бағдарламаларының танымал болуы оқу материалдарына қолжетімділікті жеңілдетуімен, рутиналық тапсырмаларды автоматтандыруымен және оқу үдерісін жекелендіруімен түсіндіріледі. Бұл мақалада ChatGPT, Grammarly, Quizlet, Canva және Duolingo сияқты студенттер арасында кеңінен қолданылатын ең танымал ЖИ құралдарына талдау жасалған. Бұл бағдарламалар эссе жазу, емтиханға дайындалу, шет тілдерін үйрену және мультимедиялық контент жасау үшін белсенді түрде пайдаланылады. Зерттеу барысында студенттер жиі таңдайтын бағдарламалар, олардың негізгі функциялары, артықшылықтары мен шектеулері қарастырылды. Зерттеу нәтижелері ЖИ бағдарламаларының оқу тиімділігіне қалай әсер ететінін және оларды білім беру саласында одан әрі қолдану перспективаларын анықтауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: жасанды интеллект, білім беру, студенттер, ЖИ бағдарламалары, цифрлық технологиялар.

A.A. Kanatbekova¹, M.N. Kemelbek¹, M.B. Bereke¹, R.A. Sheralieva¹, S.K. Yessirkep¹

¹ Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

ANALYSIS OF POPULAR ARTIFICIAL INTELLIGENCE PROGRAMS IN EDUCATION: STUDENTS PREFERENCES

Abstract

In recent years, technologies of artificial intelligence (AI) have become an integral part of the educational process, providing students with new opportunities for training and self-realization. The popularity of AI programs among students is explained by their ability to simplify access to educational materials, automate routine tasks and personalize the learning process. This article presents an analysis of the most popular and tools such as ChatGPT, Grammarly, Quizlet, Canva and Duolingo, which are actively used by students to write essays, prepare for exams, learn foreign languages and create multimedia content. The study reveals which programs are most often selected by students, their main functions, advantages and restrictions. The results of the work allow us to understand how AI programs affect the effectiveness of training, as well as outline the prospects of their further application in the educational environment.

Keywords: artificial intelligence, education, students, AI programs, digital technologies.

Основные положения

1. Развитие цифровой грамотности. Применение ИИ-программ позволяет студентам развивать самостоятельность, улучшать организацию учебного процесса и получать доступ к персонализированным учебным ресурсам. Однако существует риск снижения креативности и критического мышления при чрезмерной зависимости от технологий.

2. Опыт применения цифровых инструментов. Современные цифровые технологии играют ключевую роль в образовательном процессе, повышая его эффективность и удобство. Студенты активно используют широкий спектр цифровых инструментов для решения учебных задач, улучшения навыков и оптимизации времени.

3. Результаты исследования. Анализ данных показал, что более 90% студентов активно применяют ИИ-инструменты в учебной деятельности. Они используют программы для написания текстов (ChatGPT, Grammarly), создания визуального контента (Canva, Gamma, DALL·E), анализа данных (Python с библиотеками ИИ), изучения языков (Duolingo, Speak AI) и персонализированного обучения (Khan Academy, Coursera).

Введение

Современное образование переживает стремительные изменения благодаря интеграции технологий искусственного интеллекта (ИИ). Эти технологии не только упрощают доступ к знаниям, но и существенно меняют подходы к обучению. Студенты, как основная группа пользователей, активно используют ИИ-инструменты для решения широкого спектра задач: от написания академических работ до изучения новых навыков [1-2]. Популярность ИИ - программ объясняется их доступностью, функциональностью и способностью адаптироваться к индивидуальным потребностям обучающихся. Инструменты, такие как ChatGPT, Grammarly, Duolingo, Canva, Quizlet и многие другие, уже стали неотъемлемой частью образовательного процесса. Они помогают студентам экономить время, улучшать качество учебных материалов и развивать самостоятельность в обучении. Однако, наряду с преимуществами, использование ИИ - программ вызывает ряд вопросов. Это касается не только их этического применения, но и долгосрочного влияния на развитие когнитивных навыков студентов, их критического мышления и ответственности. Важно понимать, какие инструменты выбирают студенты, как они используются в образовательных целях, и каким образом эти технологии могут способствовать улучшению образовательного процесса [3]. Цель данной работы – проанализировать популярные ИИ - программы, которые студенты используют в образовательной среде, выявить их основные преимущества и недостатки, а также рассмотреть влияние этих инструментов на учебный процесс. Особое внимание уделяется тому, как ИИ - программы помогают учащимся справляться с учебными задачами,

развивать навыки самостоятельного обучения и повышать уровень знаний в разных дисциплинах.

Методология исследования

По словам министра С. Нурбека, в рамках развития инфраструктуры в Казахстане к 2030 году планируется размещение суперкомпьютера, строительство центров обработки данных, создание Национальной платформы ИИ и развитие волоконно-оптической связи. В реализации этих масштабных проектов активное участие принимают такие университеты, как Кызылординский университет имени Коркыт Ата, КазННТУ имени К. Сатпаева, ВКГТУ имени Д. Серикбаева, Astana IT University, ЕНУ имени Л. Н. Гумилева и КазНУ имени Аль-Фараби. Эти учебные заведения проводят научные исследования в области искусственного интеллекта и обработки данных, а также создают инновационные центры. Эти центры позволяют готовить отечественных специалистов и интегрировать зарубежный опыт, что способствует укреплению научного потенциала страны и развитию передовых технологий.

Университеты активно включаются в процесс цифровой трансформации, автоматизируя академические процессы и внедряя онлайн-платформы для повышения эффективности. Эти инициативы направлены не только на национальный уровень, но и на развитие регионов. Например, Кызылординский университет может играть ведущую роль в реализации региональных инноваций и цифровых решений. В связи с этим высшие учебные заведения активно разрабатывают образовательные программы, ориентированные на искусственный интеллект (ИИ). Это связано с целью подготовки высококвалифицированных специалистов, востребованных на современном рынке труда [4].

В ходе исследования было выявлено, что на сегодняшний день более 90% студентов активно используют ИИ-программы для выполнения учебных задач. Этот вывод подтверждается как статистическими данными, так и практическими наблюдениями в образовательной среде.

Практика показывает, что студенты применяют ИИ-программы в самых различных аспектах обучения:

- Подготовка материалов и рефератов. Программы, такие как ChatGPT и Grammarly, помогают студентам составлять тексты, проверять их на ошибки и стилистические несоответствия.

- Создание визуального контента. Инструменты, такие как Canva AI, Presentations.AI, Gamma и DALL·E используются для создания презентаций и иллюстраций.

- Анализ данных и статистика. Программы, такие как Python с библиотеками на основе ИИ, помогают обрабатывать данные для курсовых и исследовательских проектов.

- Изучение языков. Приложения, такие как Duolingo и Speak AI, активно используются студентами для улучшения языковых навыков.

- Персонализированное обучение. Студенты активно пользуются платформами, которые подстраивают учебный контент под их индивидуальные потребности, например, Khan Academy и Coursera с ИИ-инструментами [5-7].

Как было отмечено ранее, студенты активно используют различные ИИ-программы для решения учебных и исследовательских задач. Теперь давайте подробно разберем, зачем студенты обращаются к этим инструментам и какую пользу они приносят. Ниже представлена информация в табличной форме, разбитая по целям использования и результатам (Таблица 1):

Рассмотрим пример использования ИИ-программы для создания презентации на тему «Цифровые образовательные платформы в образовании». Описание задачи. Студенту поручено подготовить презентацию, которая:

- Отражает ключевые аспекты цифровых образовательных платформ.
- Включает визуализацию данных и иллюстрации.
- Соответствует академическим требованиям (структура, стиль, оформление).

Подбор программы: для выполнения задачи выбрана программа Gamma.app инструмент на основе искусственного интеллекта для создания презентаций (таблица 2).

Таблица 1. Анализ целей, примеров и результатов использования ИИ-программ

Цели использования ИИ-программ	Примеры ИИ-программ	Функции ИИ-программ	Результаты использования ИИ-программ
Экономия времени	ChatGPT, Canva AI	Быстрое выполнение рутинных задач, таких как создание текстов, проверка грамматики, подготовка презентаций	Улучшение навыков работы с цифровыми инструментами
Улучшение качества работ	Grammarly, Hemingway Editor	Повышение грамотности текстов, устранение ошибок, улучшение стилистики и читабельности.	Развитие критического и творческого мышления
Персонализированное обучение	Khan Academy, Coursera, Duolingo	Индивидуальный подход к обучению, настройка темпа, уровня сложности и интересов	Повышение мотивации к учебе
Доступ к сложным технологиям	Python (TensorFlow, PyTorch), MATLAB	Возможность проводить сложные аналитические исследования и проекты, работать с большими данными.	Подготовка к современным профессиональным требованиям
Упрощение визуализации и презентации данных	Tableau, DALL-E	Создание наглядных графиков, диаграмм, изображений для отчетов, исследовательских работ и презентаций	Улучшение междисциплинарного подхода
Подготовка к экзаменам и тестам	Quizlet, QuizWhiz	Создание тестов, систематизация материалов, помощь в запоминании через повторение.	Повышение эффективности учебного процесса

Таблица 2. Этапы работы студента с ИИ-программой для создания презентации

Этап	Действия студента	Результат
1. Формулирование темы	Студент вводит тему презентации: «Цифровые образовательные платформы в	Программа автоматически предлагает структуру презентации (введение, обзор, преимущества,

	<i>образовании»</i>	<i>примеры платформ, вывод)</i>
<i>2. Генерация содержания</i>	<i>Используя встроенные шаблоны и генерацию текста, студент может добавлять/не добавлять слайды, описывающие популярные платформы (Coursera, Moodle, Khan Academy и др.)</i>	<i>Автоматически создаются слайды с кратким текстовым содержанием и изображениями для каждой платформы</i>
<i>3. Визуализация данных</i>	<i>Студент может загружать/не загружать данные о популярности образовательных платформ (например, из статистики). Программа предлагает визуальные графики и диаграммы</i>	<i>Интерактивные графики и таблицы, демонстрирующие долю пользователей каждой платформы в различных странах</i>
<i>4. Дизайн и оформление</i>	<i>Программа предлагает несколько стилей оформления (академический, минимализм, яркий дизайн). Студент выбирает стиль, который лучше подходит к задаче</i>	<i>Создана презентация с единым оформлением, шрифтами и цветовыми акцентами, подчеркивающими важные моменты</i>
<i>5. Финальная редакция</i>	<i>Студент проверяет текст на академическую корректность, использует встроенные инструменты Gamma.app для улучшения структуры</i>	<i>Финальная версия презентации готова к представлению, она включает удобные переходы между слайдами, а также ключевые выводы</i>

Результат работы.

- Презентация: 10-15 слайдов с качественным содержанием и визуализацией.

- Время подготовки: всего 3-5 мин благодаря автоматизации процессов.

- Качество: оформление соответствует академическим стандартам, что повысило оценку проекта.

Давайте перейдем к анализу результатов работы. Рассмотрим, как выполнение той же задачи подготовка презентации на тему «Цифровые образовательные платформы в образовании» изменится, если студент будет использовать простую программу, такую как PowerPoint или Canva.

Работа в PowerPoint/Canva.

- Студент самостоятельно создает структуру презентации: введение, основные платформы, преимущества, выводы.

- Студент вручную пишет текст, ищет информацию и добавляет ее на слайды.

- Для создания графиков студент использует дополнительные инструменты (Excel, сторонние генераторы).

- Студент выбирает из предложенных шаблонов, вручную подбирает цвета, шрифты и стили, чтобы достичь целостности.

- Проверка структуры, корректировка текстов, добавление недостающих элементов требуют значительного времени.

Проводя итоги выполнения заданий в PowerPoint, Canva и Gamma.app, можно выделить ключевые преимущества использования ИИ-программ. Ниже приведена таблица 3, иллюстрирующая особенности и преимущества каждой из указанных программ:

Таблица 3. Сравнение преимуществ использования программ для создания презентаций

<i>Программа</i>	<i>Особенности</i>	<i>Преимущества</i>	<i>Результаты использования</i>
<i>PowerPoint</i>	<i>Классический инструмент для создания презентаций</i>	<i>Простота использования, широкий функционал</i>	<i>Занимает больше времени, требует навыков самостоятельной работы Время на подготовку: около 4–6 часов</i>
<i>Canva</i>	<i>Онлайн-платформа для графического дизайна</i>	<i>Интуитивный интерфейс, доступ к готовым шаблонам</i>	<i>Ускоряет процесс, но требует времени на поиск подходящего шаблона Время на подготовку: около 4–6 часов</i>
<i>Gamma.app</i>	<i>ИИ-программа для автоматического создания презентаций</i>	<i>Автоматизация, интеграция данных, быстрый результат</i>	<i>Позволяет создать презентацию за короткое время с минимальными усилиями Время на подготовку: около 5-10 минут</i>

Следующее задание использования ИИ-программы для создания аватара на тему «ИИ-преподаватель».

Описание задачи. Студентам была поставлена задача создать цифровой аватар на тему «ИИ-преподаватель», который может быть представлен как виртуальный ассистент для образовательных целей. Основной акцент был сделан на разработке визуального образа и функциональных возможностей такого персонажа с помощью популярных ИИ-инструментов (рис. 1). Для выполнения задачи использовались следующие программы: Munch, для обработки и оптимизации мультимедийного контента; Fliki, для создания озвучки и видео с использованием текстовых сценариев; Elai, для генерации аватаров и создания профессиональных видео с персонажами; Neugen, для анимации персонажа, синхронизации голоса и мимики.

Этапы работы.

Постановка задачи. Разработать аватар, который сможет представлять ИИ-преподавателя, объяснять учебные материалы и взаимодействовать со студентами в виртуальной среде.

Выбор платформы. Студенты выбрали подходящие программы, основываясь на их функциональности и простоте использования.

Создание визуального образа. В программе Elai был разработан аватар с уникальным внешним видом, отвечающим выбранной тематике.

Добавление озвучки. С помощью Fliki был записан голос, который максимально соответствует роли преподавателя.

Анимация и настройка взаимодействия. Используя Neugen, студенты синхронизировали голос и движения аватара, чтобы создать реалистичное взаимодействие с пользователями.

Результаты выполнения задачи. Создан цифровой аватар, способный привлекательно и доступно объяснять материалы.

Продемонстрирована возможность применения ИИ-инструментов для решения образовательных задач.

Получен опыт интеграции различных программ для достижения общей цели.

Видео длиной 1 минуты 30 секунд: с четкой озвучкой, плавной анимацией и интерактивными элементами.

Эффективность работы инструментов.

Скорость выполнения: Использование ИИ-инструментов значительно ускорило процесс.

Качество: Видео получилось профессиональным и привлекательным для аудитории.

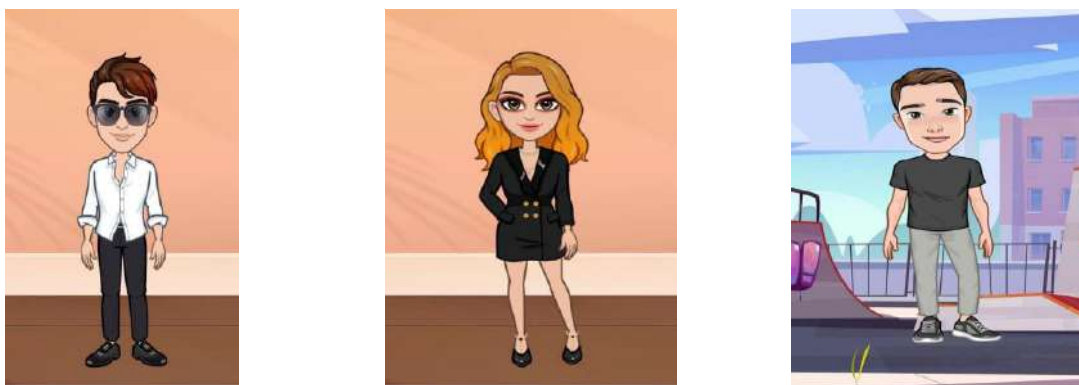


Рисунок 1. Созданный аватар с использованием ИИ-программ

Использование таких программ как Munch, Fliki, Elai и Heygen позволяет студентам не только освоить современные технологии, но и приобрести навыки, полезные для будущей профессиональной деятельности. Создание аватара заняло менее 10-15 минут, что подчеркивает эффективность ИИ-программ для образовательных задач. Такой подход позволяет экономить время и предоставлять инновационные решения для обучения.

Результаты исследования

Как мы видим если студент использует PowerPoint или Canva, ему потребуется больше времени и усилий, особенно для визуализации данных и оформления. В то же время, Gamma.app значительно упрощает процесс, делая его более быстрым и качественным, что особенно важно при ограниченном времени на выполнение задания. При исследовании можно заметить, что большинство преимуществ искусственного интеллекта в образовании очевидны для студентов. Это включает в себя автоматизацию рутинных задач, персонализацию учебного процесса, повышение доступности образовательных материалов и ускорение выполнения сложных заданий. Многие студенты отмечают, что ИИ-программы помогают им эффективнее организовывать свое время, углублять знания в конкретных областях и облегчать выполнение творческих или аналитических задач.

Однако, исследуя эту тему, можно столкнуться с противоположными комментариями. Среди них встречаются утверждения, что ИИ-программы уменьшают креативность студентов, делают их зависимыми от технологий или даже препятствуют самостоятельному мышлению. Некоторые ученые также отмечают, что использование ИИ может привести к поверхностному пониманию материала, поскольку программы часто упрощают информацию или предоставляют готовые решения. Например, Н. В. Соколов и А. И. Ракилов [8-9] в своих исследованиях отмечают, что чрезмерное использование технологий в образовательном процессе может ограничить развитие когнитивных способностей, таких как критическое мышление, анализ и синтез информации. Они подчеркивают, что автоматизация рутинных задач не должна заменять глубокое погружение в материал и самостоятельный поиск решений.

В то же время важно учитывать, что эти недостатки являются скорее вызовом, требующим разработки методов, позволяющих интегрировать ИИ в обучение с пользой. Баланс между использованием технологий и традиционными подходами может устранить возможные риски и обеспечить гармоничное развитие навыков у студентов.

Тем не менее, с такими утверждениями сложно полностью согласиться, поскольку мировая практика демонстрирует обратное. Уже сегодня ИИ активно используется в образовании ведущими университетами и школами. Программы, такие как виртуальные тьюторы, адаптивные платформы обучения и аналитические инструменты для оценки знаний, показывают высокую эффективность и востребованность. Кроме того, они открывают доступ к образованию для людей из удаленных регионов, помогая преодолевать географические и языковые барьеры [10-12]. Таким образом, несмотря на критику, искусственный интеллект

продолжает становиться неотъемлемой частью образовательной экосистемы, а его внедрение в процесс обучения неизбежно и полезно в долгосрочной перспективе. Диаграмма ниже демонстрирует средние оценки студентов по каждому критерию, показывая, что наивысшие баллы получили такие показатели, как удобство использования и полезность в обучении (рис. 2).

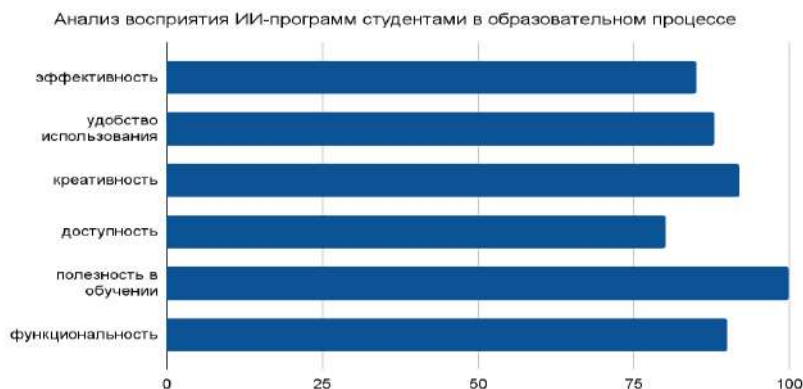


Рисунок 2. Анализ восприятия ИИ-программ студентами в образовательном процессе

В процессе практической работы с ИИ-программами студенты получили возможность освоить новые навыки и улучшить качество своих учебных и исследовательских проектов. Благодаря использованию инструментов, таких как Munch, Fliki, Elai, HeyGen, Nova.AI и других, студенты выполнили широкий спектр заданий, включая создание мультимедийного контента, разработку презентаций, подготовку текстов и визуализацию данных.

Студенты, участвовавшие в практике и исследовании ИИ-программ, отметили, что такие инструменты предоставляют множество возможностей для их образовательной и профессиональной деятельности. В ходе практики студенты активно использовали ИИ-программы, что позволило им создать разнообразные проекты и продемонстрировать значительный прогресс в своих навыках.

Ниже приведены примеры результатов, достигнутых студентами.

- Создание презентаций с использованием Gamma. Студенты разработали структурированные и визуально привлекательные презентации за короткий промежуток времени. Одна из работ – презентация на тему «Цифровые образовательные платформы в образовании». Она была выполнена за 5 минут, включая автоматическую генерацию графиков и визуализацию данных.

- Генерация аватаров с использованием HeyGen и Elai. Были созданы видеоролики, где виртуальные аватары объясняли сложные концепции. Это улучшило качество подачи информации и привлекло внимание аудитории. Пример, аватар на тему «ИИ-преподаватель».

Написание эссе и научных статей с ChatGPT и Grammarly:

- Были написаны структурированные эссе и проведены корректировки текста для повышения грамматической точности.

На рисунке 3 представлены результаты, полученные студентами в процессе выполнения практических заданий с использованием различных ИИ-программ, таких как Munch, Fliki, Elai, HeyGen, Nova.AI и других. Визуализированные данные показывают, как различные инструменты способствовали улучшению качества учебных проектов, включая создание мультимедийного контента, разработку презентаций, подготовку текстов и визуализацию данных.

В частности, результаты, показанные на графиках, демонстрируют высокую эффективность использования программ для выполнения заданий. Например, студенты смогли за короткий промежуток времени разработать презентации с использованием Gamma, создать видео с аватарами через HeyGen и Elai, а также написать эссе с помощью ChatGPT и Grammarly. Все

эти результаты подтверждают значительный прогресс в обучении, который стал возможен благодаря интеграции ИИ-инструментов в учебный процесс.

Таким образом, рисунок 3 служит наглядным подтверждением того, как использование ИИ-программ позволяет студентам быстро и эффективно справляться с учебными заданиями, повышая как качество выполнения задач, так и их учебные результаты.

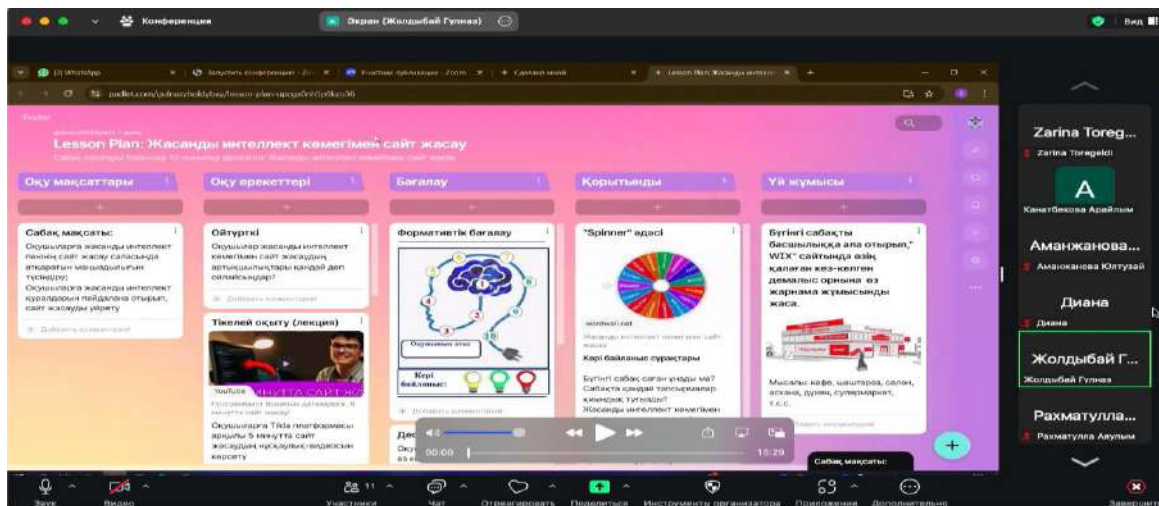


Рисунок 3. Результаты выполнения студентами практических заданий с использованием ИИ программ

Таким образом, студенты подчеркивают, что ИИ-программы не только облегчают учебный процесс, но и развивают их профессиональные навыки, помогая быть конкурентоспособными в современном мире.

Дискуссия

Искусственный интеллект (ИИ) становится неотъемлемой частью образовательного процесса, предоставляя студентам и преподавателям инновационные инструменты для обучения. Однако, несмотря на очевидные преимущества, такие как ускорение выполнения задач, доступ к персонализированным решениям и повышение креативности, использование ИИ-программ вызывает ряд дискуссионных вопросов. С одной стороны, наши результаты демонстрируют высокий уровень удовлетворенности студентов ИИ-инструментами. Студенты особенно ценят удобство, доступность и скорость работы с программами. Например, сервисы, такие как ChatGPT, Gamma.App и Presentation AI, помогают эффективно создавать тексты, презентации и другие образовательные материалы. Это дает возможность студентам сосредоточиться на содержании, а не на технических деталях выполнения задач.

С другой стороны, есть мнения, что чрезмерное использование ИИ может привести к снижению уровня самостоятельности и креативности учащихся. Некоторые преподаватели считают, что ИИ-инструменты делают процесс обучения слишком "упрощенным", снижая образовательную ценность традиционных подходов. Кроме того, возникают вопросы, связанные с этикой использования ИИ: где грань между использованием программы для помощи и нарушением принципов академической честности? Наконец, есть необходимость в разработке четких образовательных стандартов и рекомендаций по использованию ИИ в учебном процессе. Это позволит оптимизировать его применение, минимизировать риски и максимально использовать преимущества, которые технологии могут предоставить для повышения качества образования. Таким образом, несмотря на все преимущества ИИ, необходимо внимательно подходить к его внедрению в образование, сохраняя баланс между использованием технологий и традиционными методами обучения.

Заклучение

Искусственный интеллект продолжает трансформировать образовательный процесс, предоставляя студентам и преподавателям новые инструменты для улучшения обучения и преподавания. Проведенное исследование показало, что ИИ-программы, такие как ChatGPT, Canva, Fliki и другие, активно используются студентами для выполнения различных задач, начиная от подготовки презентаций и заканчивая созданием тестов и обучающих материалов.

Результаты подтверждают, что большинство студентов положительно оценивают использование ИИ-инструментов за их удобство, доступность и эффективность. Эти технологии помогают оптимизировать время, индивидуализировать процесс обучения и раскрывать творческий потенциал. Однако наряду с преимуществами были выявлены и некоторые опасения, связанные с избыточной зависимостью от технологий, этическими вопросами и риском снижения самостоятельности учащихся.

В будущем важно разработать стратегии, которые позволят максимально эффективно интегрировать ИИ в образование, сохраняя баланс между использованием технологий и развитием ключевых навыков у студентов. Необходимо также создавать равные условия для доступа к ИИ-технологиям, чтобы избежать образовательного разрыва.

Искусственный интеллект – это не только инструмент, но и вызов, который требует комплексного подхода. Внедрение ИИ должно быть направлено на улучшение качества образования, развитие цифровой грамотности и повышение конкурентоспособности студентов в условиях быстро меняющегося мира.

Список использованных источников

[1] Fengchun M., Wayne H., Huang R., Zhang H. Технологии искусственного интеллекта в образовании: перспективы и последствия, 2022. 56 с, ISBN:978-92-3-400061-1

[2] Методические рекомендации по применению искусственного интеллекта в системе среднего образования. Астана: НАО им. И.Алтынсарина, 2024. –297 с.

[3] Helen Crompton., Diane Burke.(2023).Artificial intelligence in higher education: the state of the field. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*,19(1), 1-17. DOI:<https://doi.org/10.1186/s41239-023-00392-8>

[4] Үкімет Жасанды интеллектіні дамытудың 2024-2029 жылдарға арналған тұжырымдамасы. ҚР Премьер министрінің ресми ақпараттық ресурсы <https://primeminister.kz/news/ukimet-zhasandy-intellektini-damytudyn-2024-2029-zhyldarga-arnalghan-tuzhyrymdamasyn-kabyldady-28786>

[5] Kazakstanda mamandardy robot auystyrama// *Turantimes.kz*, 2024 <https://turantimes.kz/qzq/51746-azastanda-mamandardy-robot-auystyra-ma.html>

[6] Baker, R. S., Inventado, P. S. (2020). Educational data mining and learning analytics: An overview of recent techniques. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1247, 51–66. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-51110-4_5.

[7] Roll, I., & Wylie, R. (2021). Evolution and revolution in artificial intelligence in education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 31(1), 71–87.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s40593-020-00206-5>.

[8] Ракитов А. И. Высшее образование и искусственный интеллект: эйфория и алармизм // *Высшее образование в России*. – 2018. – № 6. – С. 41–49.

[9] Соколов Н. В. Проблемы и риски применения современных технологий искусственного интеллекта в образовании РФ // *Актуальные проблемы педагогики и психологии*. – 2022. – № 3(5). – С. 10–14.

[10] Zhai, X., Li, M., & Chen, W. (2021). Examining the influence of AI-powered educational apps on students' learning outcomes. *Educational Technology Research and Development*, 69(4), 237–258. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11423-021-10007-8>.

[11] Rikakis, T., & Stewart, J. (2022). *AI in Education: The Age of Artificial Intelligence in Schools*. London: Routledge, p.280. ISBN: 978-0367624596.

[12] Скопина И. Использование ИИ в управлении образовательными организациями// *Современные технологии управления*. ISSN 2226-9339. — №3 (107).

References

- [1] Fengchun M., Shhayne H., Huang R., Zhang H. *Tehnologii iskusstvennogo intellekta v obrazovanii: perspektivy i posledstviya*, 2022. 56 c, ISBN:978-92-3-400061-1
- [2] *Metodicheskie rekomendacii po primeneniju iskusstvennogo intellekta v sisteme srednego obrazovanija* (2024) [Methodological recommendations for the use of artificial intelligence in the secondary education system]. Astana: NAO im. I.Altynsarina.297 (In Russian).
- [3] Helen Crompton., Diane Burke.(2023).Artificial intelligence in higher education: the state of the field.*International Journal of Educational Technology in Higher Education*,19(1), 1-17. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00392-8>
- [4] *Ykimet Zhasandy intellektini damytudyn 2024-2029 zhyldarza arnalzan tyzhyrymdamasy. QR Prem'er ministriniy resmi akparattyq resursy* [Government Concept for the Development of Artificial Intelligence for 2024-2029. Official information resource of the Prime Minister of the Republic of Kazakhstan] <https://primeminister.kz/news/ukimet-zhasandy-intellektini-damytudyn-2024-2029-zhyldarga-arnalzan-tuzhyrymdamasy-kabyldady-28786>
- [5] *Kazakstanda mamandardy robot auystyrama* [Will robots replace specialists in Kazakhstan?] *Turantimes.kz*, 2024 <https://turantimes.kz/qzq/51746-azastanda-mamandardy-robot-auystyra-ma.html>
- [6] Baker, R. S., Inventado, P. S. (2020). Educational data mining and learning analytics: An overview of recent techniques. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1247, 51–66. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51110-4_5.
- [7] Roll, I., & Shhylye, R. (2021). Evolution and revolution in artificial intelligence in education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 31(1), 71–87. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40593-020-00206-5>.
- [8] Rakitov A. I. (2018). *Vysshee obrazovanie i iskusstvennyj intellekt: jejforija i alarmism. Vysshee obrazovanie v Rossii*. [Higher education and artificial intelligence: euphoria and alarmism] .*Higher education in Russia*. № 6. 41–49. (In Russian).
- [9] Sokolov N. V. (2022) *Problemy i riski primenenija sovremennyh tehnologij iskusstvennogo intellekta v obrazovanii RF* [Problems and risks of using modern artificial intelligence technologies in education in the Russian Federation]. № 3(5). 10–14. (In Russian).
- [10] Zhai, H., Li, M., & Chen, Shh. (2021). Examining the influence of AI-powered educational apps on students' learning outcomes. *Educational Technology Research and Development*, 69(4), 237–258. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11423-021-10007-8>.
- [11] Rikakis, T., & Steshhart, J. (2022). *AI in Education: The Age of Artificial Intelligence in Schools*. London: Routledge,p.280.ISBN: 978-0367624596.
- [12] Skopina I.*Ispol'zovanie II v upravlenii obrazovatel'nymi organizacijami// Sovremennye tehnologii upravlenija*. [The use of AI in the management of educational organizations// Modern management technologies]. №3 (107). (In Russian)

Н.Н. Керімбаев^{1*}, Ж.Ғ. Меңлібай¹

¹ Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: n_nurassyl@mail.ru, janbo_077@mail.ru

ГЕНЕРАТИВТІ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІНІ ИНТЕГРАЦИЯЛАУ АРҚЫЛЫ БАҒДАРЛАМАЛАУ ТІЛІН ОҚИТУ

Аңдатпа

Білім беру саласында жасанды интеллекттің маңыздылығы артып келеді, ал GenAI студенттердің оқуға деген ынтасын арттыруға, оқу материалдарын жекелендіруге және олардың практикалық дағдыларын дамытуға мүмкіндік береді. Бұл мақалада генеративті жасанды интеллект технологияларын бағдарламалауды оқытудағы педагогикалық құрал ретінде қолданудың теориялық негіздері мен практикалық аспектілері қарастырылады. Сонымен қатар, жасанды интеллектті оқу процесіне интеграциялаудың негізгі әдістері, артықшылықтары және шектеулері талданады. Зерттеу барысында жасанды интеллект құралдары оқыту процесін автоматтандыру және жекелендіру үшін қолданылған. Әсіресе, студенттерге бағдарламалау негіздерін меңгеру барысында жасанды интеллект динамикалық кері байланыс беруге, алгоритмдерді түсіндіруге және қателерді түзетуге көмек көрсететін құрал ретінде пайдаланылды, этикалық мәселелер мен технологияның білім сапасына ықпал етуі талқыланды. Мақалада жасанды интеллектті бағдарламалау курстарында қолдану тиімділігін арттыруға арналған практикалық ұсыныстар берілді. Бұл зерттеу білім беру саласында инновацияларды енгізуге және жасанды интеллект құралдарын пайдаланудың жаңа мүмкіндіктерін ашуға ықпал етеді. Аталмыш тәсіл бағдарламалауды оқытудың сапасын жақсартып, студенттердің шығармашылық және техникалық дағдыларын дамытуға негізделген.

Түйін сөздер: генеративті жасанды интеллект, жекелендірілген оқыту, бағдарламалауды оқыту, педагогикалық құрал, этикалық мәселелер.

N.N. Kerimbayev¹, Zh.G. Menlibay¹

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

LEARNING A PROGRAMMING LANGUAGE BY INTEGRATING GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Abstract

The importance of artificial intelligence in education is growing, and GenAI allows students to increase their motivation to learn, personalize learning materials, and develop their practical skills. This article discusses the theoretical foundations and practical aspects of using generative artificial intelligence technologies as a pedagogical tool in teaching programming. In addition, the main methods, advantages and limitations of integrating artificial intelligence into the educational process are analyzed. During the research, artificial intelligence tools were used to automate and personalize the learning process. In particular, in the process of students learning the basics of programming, artificial intelligence was used as a tool to help give dynamic feedback, interpret algorithms and correct errors, ethical issues and the impact of technology on the quality of education were discussed. The article provides practical recommendations for improving the effectiveness of artificial intelligence in programming courses. This research will contribute to the introduction of innovations in the field of education and the discovery of new opportunities for using artificial intelligence tools. This approach is based on improving the quality of programming instruction and developing students' creative and technical skills.

Keywords: generative artificial intelligence, personalized learning, programming training, pedagogical tool, ethical problems.

Н.Н. Керимбаев¹, Ж.Г. Менлибай¹

¹Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

ОБУЧЕНИЕ ЯЗЫКУ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПУТЕМ ИНТЕГРАЦИИ ГЕНЕРАТИВНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Аннотация

Важность искусственного интеллекта в сфере образования растет, и GenAI позволяет студентам повысить мотивацию к обучению, персонализировать учебные материалы и развивать свои практические навыки. В данной статье рассматриваются теоретические основы и практические аспекты использования генеративных технологий искусственного интеллекта в качестве педагогического инструмента в обучении программированию. Кроме того, анализируются основные методы, преимущества и ограничения интеграции искусственного интеллекта в учебный процесс. В ходе исследования инструменты искусственного интеллекта использовались для автоматизации и персонализации процесса обучения. В частности, в процессе освоения студентами основ программирования искусственный интеллект использовался как инструмент, помогающий давать динамическую обратную связь, интерпретировать алгоритмы и исправлять ошибки, обсуждались этические проблемы и влияние технологий на качество образования. В статье даны практические рекомендации по повышению эффективности применения искусственного интеллекта в курсах программирования. Это исследование будет способствовать внедрению инноваций в сфере образования и открытию новых возможностей использования инструментов искусственного интеллекта. Данный подход основан на улучшении качества обучения программированию и развитии творческих и технических навыков студентов.

Ключевые слова: генеративный искусственный интеллект, персонализированное обучение, обучение программированию, педагогический инструмент, этические проблемы.

Негізгі ережелер

Генеративті жасанды интеллектті бағдарламалауды оқытуда тиімді пайдалану үшін оның педагогикалық әлеуетін арттырып, оқу мақсаттарына сәйкестігін қамтамасыз ету маңызды. Бұл құрал студенттердің танымдық дағдыларын дамытуға және пәнді терең меңгеруіне көмектесуі тиіс, бірақ олардың өзіндік ойлау және шешім қабылдау қабілеттерін алмастырмауы керек. Этикалық тұрғыдан GenAI академиялық адалдық қағидаларын сақтай отырып, студенттерге дайын шешімдер емес, тиімді тәсілдер ұсынуы қажет. Жасанды интеллект құралдары арқылы ұсынылған мазмұнның дұрыстығы мен сенімділігін тексеру, сондай-ақ студенттердің жеке қажеттіліктерін ескере отырып материалдарды жекелендіру маңызды. Бұл тәсіл бағдарламалау пәнін меңгеру сапасын арттырып, студенттердің білімге қызығушылығын жаңа деңгейге көтеруге мүмкіндік береді.

Кіріспе

Генеративті жасанды интеллект қазіргі заманғы технологиялық дамудың нағыз революциясы ретінде қарастырылады. Оның арқасында ақпараттық жүйелер мен шығармашылық процестер түбегейлі өзгеріп, өнер, бизнес, білім беру, медицина және басқа да салаларда инновациялардың жаңа кезеңі басталды. Бұл технология адам мүмкіндіктерін кеңейтіп, жұмыс процестерін жеңілдетіп, цифрлық трансформацияның жаңа парадигмасын қалыптастыруда үлкен рөл атқарады. Сонымен қатар, жасанды интеллекттің дамуы болашақтағы технологиялық өзгерістердің негізін қалатып, әлемдік деңгейде жаңа идеялар мен шешімдердің пайда болуына ықпал етеді. «Жасанды интеллект» термині алғаш рет 1956 жылы Дартмуттағы семинарда қолданылғанымен, ол уақыт өте келе машиналық оқытудағы жетістіктердің, үлкен деректерге кең қолжетімділіктің және қуатты есептеу инфрақұрылымдарының арқасында кең таралды [1]. 2017 жылы Google компаниясы Transformer нейрондық желі архитектурасын ұсынды [2], бірақ тек 2022 жылдың 30 қарашасында OpenAI компаниясы ChatGPT құралын іске қосқан кезде, бұл технологияның әлеуеті көпшіліктің назарын аударды. Сұраныстарға жауап ретінде мағыналы мәтіндер

құрастыра алатын жүйе өзінің тиімділігімен таңғалдырды. Әрине, кейде қателіктер жібергенімен, жалпы алғанда оның сапасы әсерлі болып, үлкен қызығушылық тудырды.

Дегенмен, осындай жетістіктерге қарамастан, мәтіндерді құрастыратын ChatGPT немесе бейнелерді жасайтын DALL-E сияқты генеративті жасанды интеллект құралдары күрделі мәселелерге жол ашты. Оны пайдалануды шектеу немесе бақылау қиын, себебі бұл технологиялар Microsoft Word және Google Docs сияқты студенттер арасында кеңінен қолданылатын платформаларға енді енгізілген. Мысалы, Microsoft корпорациясы "Copilot" бағдарламасын Word және Excel-де іске қосып, пайдаланушыларға мәтіндер жасауға және тапсырмаларды автоматтандыруға мүмкіндік беруде. Нәтижесінде, оқытушылар үшін студенттердің жұмысты өз бетінше орындағанын немесе жасанды интеллекттің көмегіне жүгінгенін анықтау қиындап барады. Бұл жағдай білім беру жүйесіне жаңа сын-тегеуріндер тудырып, әділдік пен академиялық адалдық мәселелерін қайта қарастыруды талап етеді.

Сонымен қатар, Springer Nature секілді академиялық баспалар ғылыми мақалалар жазуда авторларға жасанды зерде құралдарын пайдалануға рұқсат бере бастады, егер олар бұл құралдарды қолданғанын көрсетсе [3]. Бұл жасанды интеллект академиялық жазбада ерекшелік емес, қалыпты жағдайға айналып бара жатқанын көрсетеді. EDUCAUSE QuickPoll сауалнамасының нәтижесі бойынша, жоғары білім беру саласының өкілдерінің 83%-ы генеративті интеллекттер келесі 3-5 жыл ішінде академиялық салаға айтарлықтай әсер етеді деп санайды. Сондай-ақ, сауалнамаға қатысқандардың 65%-ы оны білім беру саласында пайдаланудың артықшылықтары, мысалы, академиялық адалдыққа нұқсан келтіру немесе өзіндік жұмысқа ынтаның төмендеуі секілді ықтимал кемшіліктерден асып түседі деп есептейді [4].

Заманауи білім беру оқу процесін жақсарту үшін жасанды интеллект модельдері сияқты инновациялық технологияларды біріктіру қиындықтарына тап болады. Ол модельдер оқу материалдарын жасауды автоматтандыруға, жекелендірілген оқытуды қамтамасыз етуге және студенттерге бағдарламалау сияқты күрделі пәндерді үйренуге қолдау көрсетуге мүмкіндік береді. Мысалы, зерттеулер көрсеткендей, студенттердің оқу стиліне бейімделген оқу материалдарын жасауға және нақты уақыттағы кері байланыс беруге көмектеседі, бұл студенттердің оқу тиімділігін арттырады және олардың білім алу процесіне деген қызығушылығын күшейтеді [5].

Сонымен қатар, жасанды интеллект жүйелері әрбір студенттің жеке оқу қажеттіліктеріне сәйкес жекелендірілген материалдар құруға қабілетті, бұл студенттердің білім алу үдерісін тиімді етеді. Мәселен, бір зерттеуде генеративті жасанды интеллект студенттердің жеке оқу қажеттіліктеріне сәйкес келетін оқу мазмұнын жасау жолдары қарастырылған, бұл білім алушылардың оқуға деген қызығушылығын күшейтеді және олардың білім деңгейін жақсартады [6].

Білім беруді дамытудың қазіргі тенденциялары цифрлық технологияларды белсенді енгізуге байланысты, олардың ішінде генеративті жасанды интеллект (GenAI) ерекше рөл атқарады. Технологиялардың бұл класы білім беру мазмұнын құру процесін автоматтандыруға, оқытуға жекелендірілген тәсілді қамтамасыз етуге және студенттерге бағдарламалау сияқты күрделі пәндерді игеруде интеллектуалды қолдау көрсетуге мүмкіндік береді. Алайда, ГЖИ-ді білім беру ортасында қолданудың тиімділігі мен салдары егжей-тегжейлі ғылыми талдауды қажет етеді.

Зерттеудің мақсаты- генеративті жасанды интеллекттің бағдарламалауды оқыту процесіне біріктірудің теориялық және эмпирикалық аспектілерін негіздеу және оның студенттердің когнитивті дамуына әсерін анықтау.

Зерттеу міндеттері:

–Генеративті жасанды интеллекттіні білім беру процесінде қолдануға арналған заманауи зерттеулерге талдау жасау.

–Эмпирикалық зерттеу арқылы бағдарламалауды оқытуда генеративті жасанды интеллекттіні қолданудың тиімділігін бағалау.

–Генеративті жасанды интеллекттіні білім беру тәжірибесінде қолданудың негізгі артықшылықтары мен шектеулерін анықтау.

–Генеративті жасанды интеллекттіні жоғары оқу орындарының оқу бағдарламаларына біріктіру бойынша ұсыныстар әзірлеу.

Зерттеу әдістеріне ғылыми әдебиеттерді теориялық талдау, студенттерге сауалнама жүргізу, олардың генеративті жасанды интеллектімен өзара әрекеттесу тәжірибесін зерттеу, сондай-ақ алынған деректерді қолданыстағы педагогикалық тәсілдермен салыстырмалы талдау кіреді.

Зерттеу әдіснамасы

Білім беруде жасанды интеллекттіні қолдану, әсіресе соңғы жылдары белсенді зерттеу объектісіне айналды. Н.Керімбаев және бірлескен авторлардың зерттеуінде көрсеткендей, ең танымал 10 генеративті жасанды интеллект модельдерінің мүмкіндіктері жан-жақты талданған. Зерттеу бұл модельдердің оқу тапсырмаларын автоматтандыру, жеке оқыту және интеллектуалды репетиторлық қызметтерді қамтамасыз ету үшін қолдануға болатындығын көрсетеді. Бұл құралдар оқу бағдарламасының талаптарына сәйкес мазмұнды, соның ішінде кодтарды, түсіндірмелерді және есептердің шешімдерін, тиімді түрде жасай алады, бұл оларды әсіресе бағдарламалауды оқытуда ерекше пайдалы етеді [7]. С.Ли мен бірлескен авторлардың мақаласы білім беруді тұрақты дамыту үшін жасанды зерде негізіндегі технологиялардың рөлін көрсетеді [8]. Авторлар генеративті жасанды интеллект әдістері оқушылардың жеке қажеттіліктеріне бейімделудің жоғары дәрежесін және білім беру бағдарламаларының тұрақтылығын қамтамасыз ету арқылы оқу процесін қалай қолдай алатынын зерттейді. Олар мұндай технологияларды қолдану оқуды жекелендіруге және студенттердің нәтижелерін жақсартуға мүмкіндік беретінін атап өтті, әсіресе жоғары деңгейлі бағдарламалық және когнитивті дағдыларды қажет ететін техникалық салаларда. Бұл тәсілдер сонымен қатар инклюзивті білім беру ортасын құруға ықпал етеді және студенттерге цифрлық дәуірде сұранысқа ие дағдыларды дамытуға көмектеседі. Сонымен қатар, келесі мақалада зерттеу жұмысы компьютерлік ғылым сабақтарында зерттеушілікке негізделген оқытуды жасанды интеллект құралдары арқылы қолдаудың артықшылықтарын көрсетеді [9]. Бұл зерттеу жасанды интеллект құралдары студенттердің мәселелерді шешу дағдыларын дамытуға және күрделі бағдарламалау ұғымдарын түсіндіруге көмектесетініне назар аударады. Генеративті жасанды интеллект құралдары студенттердің өз бетімен білім алу ынтасын арттыруға және бағдарламалау саласындағы нақты проблемаларды шешуге дайындауға мүмкіндік береді. Л.Хамадех өз мақаласында бұл құралдардың оқытуда қолдану тәжірибелері талданады. Зерттеулер көрсеткендей, жасанды интеллект құралдары оқытуда жаңа тәсілдерді енгізуге және білім беру процесін студенттердің қажеттіліктеріне сәйкес дербестендіруге үлкен мүмкіндік береді. Бұл әсіресе бағдарламалау сияқты нақты салаларда оқушылардың оқу материалдарын терең меңгеруіне және күрделі тапсырмаларды орындауына көмектеседі [10].

Келесі мақалада, генеративті жасанды интеллект жоғары білімге қалай әсер ететіні, әсіресе халықаралық студенттер үшін жаңа мүмкіндіктер мен қиындықтар туғызатыны талқыланады. ChatGPT сияқты модельдер білім алу әдістерін айтарлықтай өзгерте алады, бірақ бұл академиялық адалдықты сақтау және жасанды интеллекттің мазмұнын анықтайтын құралдарды қолдану қажеттілігіне қатысты алаңдаушылық тудырады. Мұндай мазмұнды сенімді түрде анықтау проблемалары және студенттер арасында жалған плагиат айыптауларының ықтимал қауіптері атап өтіледі. Сонымен қатар, мәтін жасанды интеллект модельдеріндегі біржақтылыққа және оның кемсітушілікке тап болған шетелдік студенттерге қалай кері әсерін тигізетініне назар аударады. Олар тілдік қолдау көрсету және қолжетімділікті жақсарту арқылы осы мәселелердің кейбірін шешуге көмектесетіні атап өтілді. Тәуекелдер мен мүмкіндіктерді ескере отырып, білімге біріктіруге теңдестірілген



Сурет 2. Генеративті ЖИ-ді бағдарламалауды оқытуға интеграциялау бойынша практикалық ұсыныстар

2-ші суретке көрсетілгендей генеративті жасанды интеллектіні бағдарламалауды оқытуға интеграциялау бойынша практикалық ұсыныстар:

– Оқу бағдарламасындағы генеративті жасанды интеллект ролін анықтау. Жасанды интеллект оқытушыны алмастыру ретінде емес, көмекші құрал ретінде пайдаланылуы керек. Студенттерден өзіндік ойлау мен талдауды қажет ететін тапсырмаларды қосу ұсынылады, содан кейін шешімдерді тексеру немесе жақсарту үшін жасанды интеллект қолданылады.

– Студенттерге генеративті жасанды интеллектіні этикалық қолдануға үйрету. Студенттерге академиялық адалдықты бұзбай жасанды интеллектті қалай пайдалану керектігін түсіндіру және материалдарды өз бетінше зерттеудің маңыздылығын атап өту маңызды.

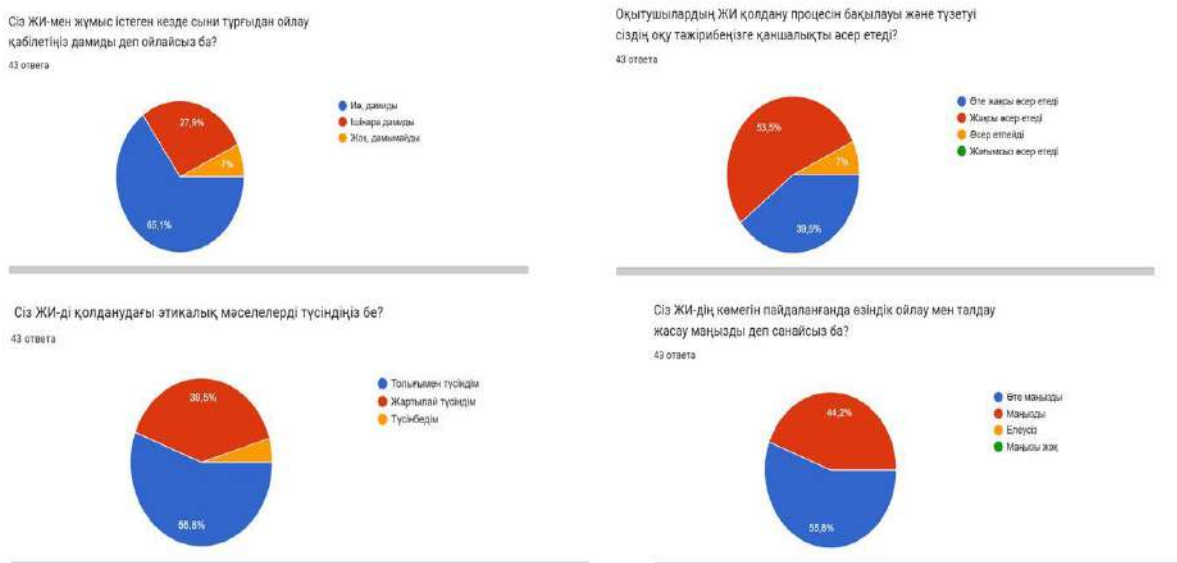
– Білім беру процесін бақылау және түзету. Оқытушылар генеративті жасанды интеллект құралдарын пайдалану процесін бақылап, қажет болған жағдайда түзетулер енгізуі керек. Бұл тапсырмаларды бейімдеуді, жасанды интеллект тудырған шешімдерді бақылауды және студенттерді сыни тұрғыдан ойлауға ынталандыруды қамтуы мүмкін.

– Генеративті жасанды интеллектіні практикалық жобаларға енгізу. Студенттерге бағдарламалау дағдыларын нақты практикалық жобалар арқылы дамыту ұсынылады. Оны пайдалану, студенттерге командалық жобаларда код генерациялау, идеялар ұсыну және бағдарламалық шешімдерді жасауға көмектеседі. Бұл тәсіл студенттердің ынтымақтастық дағдыларын жетілдіріп, жобалармен жұмыс істеу тәжірибесін алуға мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері

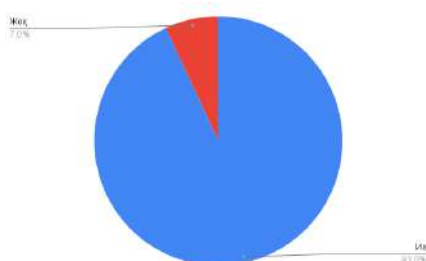
Жоғарыда келтірілген зерттеулерге байланысты жасалған практикалық ұсыныстар бойынша сауалнама жүргізілді. Жүргізілген сауалнама нәтижелерін талдау білім беру процесінде генеративті жасанды интеллектіні қолдануға байланысты бірнеше негізгі ойларды анықтады. Сауалнамаға бағдарламалау және ілеспе пәндерді де оқитын студенттер қатысты, бұл олардың жасанды интеллект құралдарының оқуға қабылдауы мен әсері туралы түсінік алуға мүмкіндік берді.

Зерттеу шеңберінде, жасанды интеллекттің (ЖИ) қолданылуына қатысты студенттердің көзқарастарын бағалау мақсатында сауалнама жүргізілді. Барлығы 43 қатысушы жауап берді, олардың пікірлері 3-суретте көрсетілген сұрақтар бойынша талданды. Нәтижелер бойынша, қатысушылардың 65,1%-ы ЖИ-мен жұмыс істеу сыни ойлау қабілетін дамытады деп санайды, 27,9%-ы бұл қабілеттер ішінара дамиды десе, 7%-ы мұндай әсер жоқ деп есептейді. Сонымен қатар, студенттердің 39,5%-ы оқытушылардың ЖИ қолдану процесін бақылауы оқу тәжірибесіне өте жақсы әсер етеді деп мәлімдеді, ал 53,5%-ы бұл процестің жақсы ықпал ететінін атап өтті.



Сурет 3. Сауалнама нәтижелері

Этикаға қатысты, қатысушылардың 55,8%-ы ЖИ-ді қолданудағы этикалық мәселелерді толық түсінетінін айтса, 39,5%-ы тек жартылай түсінеді, ал 4,7%-ы бұл мәселелерді түсінбейтінін көрсетті. ЖИ көмегімен өзіндік ойлау мен талдау жасаудың маңыздылығы туралы сұраққа 55,8%-ы өте маңызды деп жауап берсе, 44,2%-ы маңызды деп есептейді. Бұл деректер ЖИ құралдарының сыни және дербес ойлау қабілеттерін дамытуға ықпал ететінін, сондай-ақ этикалық мәселелерді түсіндіру және оқытушылар тарапынан бақылаудың маңыздылығын көрсетеді. Генеративті жасанды интеллектті көмекші құрал ретінде пайдалану тиімділігі респонденттердің көпшілігі (93%) оқу бағдарламаларында оны көмекші құрал ретінде пайдалану тиімді екендігімен келіседі. Бұл студенттер арасында жасанды интеллект технологиясын қабылдаудың жоғары дәрежесін көрсетеді. Алайда, студенттердің шамамен 7% - ы мұндай әдістердің пайдалылығына күмән келтірді, бұл оны енгізу әдістерін жақсарту және қосымша нұсқаулар мен қолдау көрсету қажеттілігін көрсетеді (4-сурет).



Сурет 4. Оқу бағдарламасында ГЖИ-ді көмекші құрал ретінде қолдану тиімді деп санайсыз ба?

Алынған деректерге сәйкес генеративті жасанды интеллектті білім беру процесінде қолданудың жоғары тиімділігі туралы гипотеза растады. Бағдарламалауды оқитын студенттер арасында жүргізілген сауалнама негізінде:

- Респонденттердің 93% - ы ГЖИ-ді оқытуда көмекші құрал ретінде пайдалануды оң бағалайды;
- 65,1% интеллектуалды жүйелермен өзара әрекеттесу кезінде сыни талдау және шешім іздеу дағдыларының жақсарғанын атап өтті;

– Студенттердің 55,8% - ы ГЖИ-ді білім беру мақсатында қолданған кезде этикалық ережелерді сақтаудың маңыздылығын түсінеді.

Алайда, белгілі бір қиындықтар да анықталды: респонденттердің 7% - ы ГЖИ-дің тиімділігіне күмән келтірді, ал 39,5% - ы оны қолданудың этикалық аспектілері туралы хабардарлықтың жеткіліксіздігін атап өтті. Бұл деректер студенттерге ЖИ-ді жауапкершілікпен пайдалану принциптерін мақсатты түрде оқыту қажеттілігін көрсетеді.

Зерттеу нәтижелері генеративті жасанды интеллектті білім беру бағдарламаларында көмекші құрал ретінде қабылдаудың және оң қабылдаудың жоғары дәрежесін көрсетеді. Дегенмен, этикалық аспектілерді түсіну және сыни ойлаудың маңыздылығын қабылдау деңгейлеріндегі анықталған айырмашылықтар осы тақырыптарды оқу жоспарларына тереңірек біріктіру қажеттілігін көрсетеді. Студенттердің өмірмен тиімді қарым-қатынасын қамтамасыз ету үшін оқытушылар этикалық мәселелер мен сыни ойлау дағдыларына ерекше назар аударуы керек. Жасанды интеллектті этикалық қолдану және ол ұсынатын шешімдерді талдау бойынша арнайы семинарлар мен тренингтерді енгізу негізгі танымдық дағдыларды жақсырақ түсінуге және дамытуға ықпал етуі мүмкін. Сонымен қатар, оқытушылардың жасанды интеллект модельдерін пайдалануды бақылау және түзету процесіне белсенді қатысуы оқыту тиімділігін арттырудың маңызды шарты ретінде расталады. Оқытушылар студенттерге этикалық ережелерді сақтай отырып, өзін-өзі талдау және сыни ойлау дағдыларын дамытуға көмектесу үшін фасилитатор ретінде әрекет етуі керек.

Алынған мәліметтер негізінде ГЖИ-ді оқу курстарына біріктіру бойынша практикалық ұсыныстар ұсынылды, олардың ішінде:

– Цифрлық этика және ГЖИ-ді жауапты пайдалануға арналған мамандандырылған модульдерді енгізу;

– Студенттердің дербестігі мен интеллектуалды жүйелерді қолдану арасындағы тепе-теңдікті сақтауға бағытталған педагогикалық стратегияларды дамыту;

– ГЖИ-дің оқу процесіне әсерін ескеретін білімді бағалаудың гибриді әдістерін әзірлеу.

Зерттеу нәтижелері генеративті жасанды интеллектіні (ГЖИ) білім беру процесіне енгізудің жоғары тиімділігін дәлелдеп қана қоймай, оқу мазмұны мен әдістемелерін жетілдірудің жаңа жолдарын ұсынады, бұл ғылыми жаңалық болашақ зерттеулер мен теориялық модельдерге әсер етіп, білім беру жүйесін заманауи талаптарға сай бейімдеуге үлкен ықпал етеді. Сонымен қатар, зерттеу ГЖИ-ді оқу процесіне енгізудің студенттердің когнитивтік және этикалық құзыреттерін арттырудағы тиімділігін эмпириялық тұрғыда растайды, бұл нәтижелер ГЖИ-ді педагогикалық практикаларға енгізу қажеттігін, цифрлық этикаға арналған арнайы модульдерді әзірлеуді және оқу бағдарламаларын цифрлық трансформация талаптарына бейімдеуді қамтамасыз етеді.

Дискуссия

Генеративті жасанды интеллектіні бағдарламалауды оқытуда педагогикалық құрал ретінде қолдану білім беру үдерісінің сапасын едәуір жақсартатынын көрсетті. Біздің зерттеу нәтижелері көрсеткендей, жасанды интеллект технологиялары білім алушыларға қиын ұғымдарды түсінуге, деректерді өңдеуге, және проблемаларды шешуге көбірек мүмкіндік береді. Бұл студенттердің оқыту нәтижелерінде және бағдарламалау пәндеріндегі үлгерімінде айтарлықтай оң өзгерістерге алып келді. Генеративті жасанды интеллекттің басты артықшылығы – нақты уақыттағы кері байланысты қамтамасыз ету, студенттерге жеке тапсырмаларды беру, және олардың оқу қарқынына сәйкес контентті бейімдеу мүмкіндігі. Бұл оқытушының жүктемесін азайтып, студенттерге бағдарлама құру мен жобалау барысында практикалық дағдыларды жылдам игеруге көмектеседі. Сонымен қатар, студенттер жаңа технологиялардың көмегімен бағдарламалау дағдыларын нақты өмірдегі жағдайларда қолдануға қажетті білім ала бастады. Зерттеу барысында анықталған тағы бір маңызды аспект – жасанды интеллект технологияларын қолданудың инклюзивтілігі. Ол әртүрлі деңгейдегі

студенттерге оқыту материалдарын оңтайландыруға мүмкіндік береді. Мысалы, бастауыш деңгейдегі студенттер үшін генеративті жасанды интеллект олардың базалық білімдерін нығайтуға арналған қарапайым тапсырмаларды ұсына алады, ал ілгері деңгейдегі студенттерге күрделі жобалар мен алгоритмдерді құруға бағытталған жеке ұсыныстар беріледі.

Дегенмен, бұл технологияны енгізу барысында бірқатар қиындықтар анықталды. Мысалы, кейбір студенттер жасанды интеллект ұсынған ұсыныстарды сын көзбен қарамай, олардың барлық әрекеттерін дұрыс деп қабылдауға бейім болды. Бұл оларды шешім қабылдауда тәуелсіз ойлау дағдыларынан айыруы мүмкін. Осыған байланысты, жасанды интеллектті қолдануды педагогикалық стратегиялармен ұштастыру маңызды, ол студенттерге аналитикалық ойлауды және шығармашылық қабілеттерді дамытуға мүмкіндік береді.

Болашақта зерттеулер генеративті жасанды интеллект мүмкіндіктерін одан әрі жетілдіруге бағытталуы тиіс. Мысалы, оқушылардың жеке оқу траекторияларын құру үшін жасанды интеллект алгоритмдерін жетілдіру, олардың оқу нәтижелерін тереңірек талдау және болжам жасау жүйелерін енгізу қажет. Сонымен қатар, оқытушыларға арналған құралдарды жетілдіру үшін жасанды интеллект технологияларын қолданудың жаңа тәсілдерін табу маңызды. Бұл оларға білім беру процесін оңтайландыруға және тиімді шешімдерді жылдам қабылдауға мүмкіндік береді. Генеративті жасанды интеллекттің тағы бір болашағы бар бағыт – студенттердің жобалық жұмысын автоматтандыру. Мысалы, жасанды интеллект құралдары студенттердің кодтарын тексеріп, қателерді автоматты түрде табуға және оларды түзету жолдарын ұсынуға қабілетті. Бұл олардың бағдарламалау дағдыларын жетілдіріп қана қоймай, сондай-ақ өзін-өзі оқыту дағдыларын дамытады.

Осы зерттеу көрсеткендей, генеративті жасанды интеллект технологияларын қолдану арқылы бағдарламалау пәндерін оқытуда интерактивті және жекелендірілген тәсілдерді жүзеге асыруға болады. Бұл студенттердің қызығушылығын арттырып, күрделі ұғымдарды оңай түсінуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл әдіс оқытушылардың оқу материалдарын дайындауға және бағалауға кететін уақытын үнемдеп, оларға студенттермен жеке жұмыс істеуге көбірек уақыт бөлуге мүмкіндік береді.

Жалпы алғанда, жасанды интеллекттің бағдарламалауды оқытудағы ықпалы болашақта да арта береді. Дегенмен, оның тиімділігін арттыру үшін келесі зерттеу бағыттарына назар аудару қажет:

1. Студенттердің жеке оқу ерекшеліктерін ескере отырып, жасанды интеллекттің бейімделу мүмкіндіктерін жетілдіру.

2. Студенттерді тәуелсіз ойлауға ынталандыратын педагогикалық құралдар мен әдістерді жасау.

3. Жасанды интеллект құралдарын қауіпсіз және этикалық тұрғыдан пайдалану стандарттарын әзірлеу.

Осылайша, біздің зерттеуіміз көрсеткендей, генеративті жасанды интеллектті білім беру процесінде тиімді педагогикалық құрал ретінде қалыптасып келеді. Бұл әдіс тек бағдарламалау пәндерінде ғана емес, сонымен қатар басқа да ғылыми-техникалық бағыттарда қолдануға болатын көпқырлы технология болып табылады.

Қорытынды

Генеративті жасанды интеллект бағдарламалауды оқытудағы педагогикалық құрал ретінде заманауи білім берудің болашағын анықтайтын маңызды технология болып табылады. Оның көмегімен білім алушылардың қажеттіліктеріне бейімделген жекелендірілген оқыту жүйесін құруға, сондай-ақ олардың шығармашылық және аналитикалық қабілеттерін дамытуға мүмкіндік туады. Жасанды интеллект білім беру үдерісін жаңа деңгейге шығарып қана қоймай, студенттер мен оқытушылар арасындағы өзара іс-қимыл моделін де қайта қарауға ықпал етеді. Бұл зерттеудің нәтижелері көрсеткендей, GenAI құралдарын енгізу білім беру мазмұнын жасауға, оқыту әдістемелерін бейімдеуге және оқу нәтижелерін бақылауға жаңа көзқарастар әкеледі. Дегенмен, технологияны тиімді пайдалану үшін оны қолдану этикасын,

деректердің құпиялылығы мен қауіпсіздігін қамтамасыз ету маңызды. Сонымен қатар, жасанды интеллектпен жұмыс істеуге арналған практикалық дағдыларды дамыту білім беру процесінің ажырамас бөлігіне айналуы тиіс. Қорыта айтқанда, генеративті жасанды интеллектіні бағдарламалауды оқытуда пайдалану – оқытудың тиімділігін арттыруға және студенттердің пәнге деген қызығушылығын күшейтуге бағытталған маңызды қадам. Бұл технологияны білім беру жүйесіне тереңірек енгізу арқылы жаңа буын мамандарын цифрлық әлемде табысты жұмыс істеуге дайындауға болады. Алдағы зерттеулерде оның ұзақ мерзімді әсерін, сонымен қатар бағдарламалық қамтамасыз етудің икемділігі мен қолдану ауқымын кеңейту жолдарын зерделеу ұсынылады.

Алғыс

Жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің гранттық қаржыландыруы есебінен No AP19676457 "Білім беру телематикасындағы модельдеу және кері байланысты басқару" жобасы аясында орындалды.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

- [1] Bernd & Schroeder, Doris & Rodrigues, Rowena. (2024). *Ethics of Artificial Intelligence: Case Studies and Options for Addressing Ethical Challenge (excerpt)*. *Journal of Economic Sociology*. 25. 85-95. [10.17323/1726-3247-2024-1-85-95](https://doi.org/10.17323/1726-3247-2024-1-85-95).
- [2] Gupta, R. (2024). *Bidirectional encoders to state-of-the-art: a review of BERT and its transformative impact on natural language processing*. *Informatics. Economics. Management*, 3(1),0311–0320. <https://doi.org/10.47813/2782-5280-2024-3-1-0311-0320>
- [3] "Tools Such As ChatGPT Threaten Transparent Science; Here Are Our Ground Rules for Their Use," *Nature*, January 24, 2023. *Jump back to footnote 5 in the text*.
- [4] Mark McCormack, "EDUCAUSE QuickPoll Results: Adopting and Adapting to Generative AI in Higher Ed Tech," *EDUCAUSE REVIEW*, April 17, 2023.
- [5] Moses Blessing. *Leveraging Generative AI for Personalized Learning in Tertiary Education*. September 17, 2024.
- [6] Mohammad Hassan Yousif Binhammad, Azzam Othman, Laila Abuljadayel, Mohammad Almarri, Huda Almheiri, Muna Alkaabi. *Investigating How Generative AI Can Create Personalized Learning Materials Tailored to Individual Student Needs*. *Article in Creative Education* · January 2024. DOI: [10.4236/ce.2024.157091](https://doi.org/10.4236/ce.2024.157091).
- [7] N. Kerimbayev, Z. Menlibay, M. Garvanova, S. Djaparova and V. Jotsov, "A Comparative Analysis of Generative AI Models for Improving Learning Process in Higher Education," *2024 International Conference Automatics and Informatics (ICAI)*, Varna, Bulgaria, 2024, pp. 271-276, doi: [10.1109/ICAI63388.2024.10851491](https://doi.org/10.1109/ICAI63388.2024.10851491).
- [8] Lee, S.S. & Moore, R.L. (2024) *Harnessing Generative AI (GenAI) for automated feedback in higher education: A systematic review*. *Online Learning*, Volume28(3), (82-104).DOI: [10.24059/olj.v28i3.459](https://doi.org/10.24059/olj.v28i3.459).
- [9] Ranjidha Rajan. *Generative AI-Enhanced Inquiry Based Learning In Computer Science Classes* Poster · October 2023 DOI: [10.13140/RG.2.2.17038.95049](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17038.95049).
- [10] Lama Hamadeh. *Exploring the Utilisation of Generative AI Tools by Undergraduate First-Year Mechanical Engineering Students in Programming Assessments*. *SEFI Journal of Engineering Education Advancement* Vol. 1, No. 1, 2024, pp. 39-52, ISSN 3006-6301 DOI : [10.62492/sefijeea.v1i1.20](https://doi.org/10.62492/sefijeea.v1i1.20).
- [11] Farrelly, T.; Baker, N. *Generative Artificial Intelligence: Implications and Considerations for Higher Education Practice*. *Educ. Sci.* 2023, 13, 1109. <https://doi.org/10.3390/educsci13111109>.
- [12] *Cornell University's Report on Generative AI Use in Education*. Cornell University Teaching Center.
- [13] Kamalov, F., Santandreu Calonge, D., & Gurrib, I. (2023). *New era of artificial intelligence in education: Towards a sustainable multifaceted revolution*. *Sustainability*, 15(16), 12451.
- [14] Bahroun, Z.; Anane, C.; Ahmed, V.; Zacca, A. *Transforming Education: A Comprehensive Review of Generative Artificial Intelligence in Educational Settings through Bibliometric and Content Analysis*. *Sustainability* 2023, 15, 12983. <https://doi.org/10.3390/su151712983>
- [15] Kätlin Pulk, Riina Koris. *Generative AI in Higher Education The Good, the Bad and the Ugly Book* · January 2025. Publisher: Edward Elgar Publishing ISBN:978 1 03532 601 3.

A.M.Mubarakov¹, A.D.Duisegaliyeva^{1*}, A.T.Baibaktina², A.D.Kaipova²

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

²Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

*e-mail: asemxan@mail.ru

MEASURING THE PROCESS OF INTEGRATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS INTO THE PROFESSIONAL ACTIVITIES OF COMPUTER SCIENCE TEACHERS

Abstract

This study was devoted to the study of the process of integrating artificial intelligence (AI) tools into the professional activities of teachers. Since the purpose of the study is to identify the relationship between the age of teachers and their approach to the use of AI in educational practice, the results of a pilot study conducted among computer science teachers in Aktobe region schools in the 2024-2025 academic year are analyzed. As determined by the results of the study, the dependence of the problem of using AI on its perception by teachers of different generations, the level of training, and the propensity to allocate time resources is shown. The reason why teachers of the younger generation positively perceive the possibilities of AI, while teachers of the older generation are reluctant to accept them, was based on doubts that technology could reduce the role of teachers or lead to the destruction of the human factor in learning. Therefore, the importance of training future teachers to use AI tools in higher education institutions and the need to organize advanced training courses for school teachers is substantiated, and the amount of choice of respondents that should be covered in the course of research in the future is calculated.

Keywords: artificial intelligence, pedagogical activity, chatbot, artificial intelligence tools, methodological recommendations, adaptive learning.

А.М.Мубараков¹, Ә.Д.Дүйсеғалиева¹, А.Т.Байбақтина², А.Д.Каипова²

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

²Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

ИНФОРМАТИКА ПЕДАГОГТЕРІНІҢ КӘСІБИ ҚЫЗМЕТІНЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ҚҰРАЛДАРЫН КІРІКТІРУ ПРОЦЕСІН ӨЛШЕУ

Аңдатпа

Бұл зерттеу жасанды интеллект(ЖИ) құралдарын педагогтердің кәсіби қызметіне кіріктіру процесін зерттеуге арналды. Зерттеудің мақсаты – педагогтердің жас ерекшелігі мен олардың білім беру тәжірибесінде ЖИ-ды қолдануға деген көзқарасы арасындағы байланысты анықтау болғандықтан, 2024-2025 оқу жылында Ақтөбе облысы мектептерінің информатика мұғалімдерінің арасында жүргізілген пилоттық зерттеу нәтижелері талданды. Зерттеу нәтижелері ретінде айқындалғандай, ЖИ қолдану мәселесі әртүрлі буын педагогтерінің оны қабылдауынан, дайындық деңгейінен, уақыт ресурсын үлестіре алуға бейімділіктерінен тәуелділіктері көрсетілді. Жас буын педагогтері ЖИ мүмкіндіктерін оң қабылдайтындығы, ал аға буын педагогтерінің қабылдауға құлықсыздығының себебі технология мұғалімнің рөлін төмендетуі немесе оқытудағы адами факторының жойылуына әкеледі деген күмәнімен негізделді. Сондықтан, болашақ педагогтерді ЖИ құралдарын қолдануға ЖОО-ында даярлаудың маңыздылығы және мектеп педагогтеріне арналған біліктілікті арттыру курстарын ұйымдастыру қажеттілігі негізделді және болашақта ғылыми-зерттеу жұмысын жүргізу барысында қамтылуы тиіс респонденттердің таңдау көлемі есептелді.

Түйін сөздер: жасанды интеллект, педагогикалық қызмет, чат-бот, жасанды интеллект құралдары, әдістемелік нұсқаулық, адаптивті оқыту.

А.М.Мубараков¹, А.Д.Дуйсегалиева¹, А.Т.Байбакина², А.Д.Каипова²

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

²Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, г. Актобе, Казахстан

ИЗМЕРЕНИЕ ПРОЦЕССА ИНТЕГРАЦИИ ИНСТРУМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОФЕССИОНАЛЬНУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПЕДАГОГОВ ИНФОРМАТИКИ

Аннотация

Данное исследование было посвящено изучению процесса интеграции средств искусственного интеллекта (ИИ) в профессиональную деятельность педагогов. Так как целью исследования является выявление взаимосвязи между возрастом педагогов и их подходом к применению ИИ в образовательной практике, проанализированы результаты пилотного исследования, проведенного среди учителей информатики школ Актюбинской области в 2024-2025 учебном году. Как определено результатами исследования, показана зависимость проблемы применения ИИ от ее восприятия педагогами разных поколений, уровня подготовки, склонности к распределению ресурсов времени. Причина, по которой педагоги молодого поколения положительно воспринимают возможности ИИ, а педагоги старшего поколения неохотно принимают их, была основана на сомнениях в том, что технологии могут снизить роль учителя или привести к разрушению человеческого фактора в обучении. Поэтому обоснована важность подготовки будущих педагогов к использованию средств ИИ в вузе и необходимость организации курсов повышения квалификации для педагогов школы и рассчитан объем выбора респондентов, который должен быть охвачен в ходе проведения научно-исследовательской работы в будущем.

Ключевые слова: искусственный интеллект, педагогическая деятельность, чат-бот, инструменты искусственного интеллекта, методические рекомендации, адаптивное обучение.

Main provisions

The pilot study used survey methods and analysis of existing research. The study involved 55 computer science teachers from different age groups and professional backgrounds.

It became known that AI tools were used mainly for the development of educational materials, and some teachers in the process of application face technical difficulties, lack of instructions and methodological materials for their application.

The analysis of the data revealed a statistically significant relationship between the age of the respondents and their attitude towards AI. The results obtained indicate the need to develop special training programs and support systems that promote the introduction of AI in the educational field.

Introduction

Artificial intelligence (AI) is gradually becoming an integral part of educational processes, transforming traditional approaches to training and administration. The introduction of AI includes using automated systems to assess students' knowledge, adapt educational materials to individual needs, and ensure more effective management of educational institutions [1]. Many educational technologies, such as robots and chatbots, are already finding their way into educational institutions, improving the quality of the educational process and improving interaction between students and teachers [2].

Despite the obvious advantages, the introduction of AI into educational activities is met with mixed attitudes on the part of educators. Some teachers are enthusiastic about the new technology, seeing it as an opportunity to improve the learning process and make routine tasks easier [3]. Others, however, are hesitant about the need for AI, fearing that the technology may diminish the role of the teacher or lead to a loss of the human element in learning [4].

Age and experience play a key role in teachers' perception of AI: younger teachers, accustomed to digital technologies, are more open to innovations, while older generations express skepticism and face difficulties in mastering new tools. This difference highlights the need to study teachers' attitudes toward AI and develop training and professional development programs to facilitate the effective use of technology in education. The research aims to identify the link between teachers' age and their

attitudes toward AI, which is important for integrating new technologies into the educational process and improving the quality of education.

In recent years, research has increasingly turned to the integration of artificial intelligence into the educational process, reflecting a growing interest in its potential as a tool to improve the quality of learning, the efficiency of administrative processes, and the adaptation of educational programs to the individual needs of students

The study by Chen L., Chen P., Lin Zh.[5] demonstrates that artificial intelligence is transforming administration and the educational process, improving assessment and personalization, which in turn contributes to enhancing the quality of education. In the study of Sagimbayev A.E., Zhaksylykov A.E., Shekerbekova Sh.T., Zhamkeeva A.B. considered the possibility of using intellectual tools in assessing students [6]. The COVID-19 pandemic has stimulated educators to adopt digital technologies and implement adaptive learning systems. The study by Arry A. A and colleagues [7] developed a model of an "intelligent" university educational system. Research by Wahyu D. Kurniawan and others [8], Sahat Siagian et al. [9], Raushan Zhilmagambetova et al. [10], confirms that the use of online platforms enhances learning effectiveness and student engagement. Ido Roll and Ruth Wylie [11] emphasize the revolutionary and evolutionary aspects of AI applications that are reshaping the educational sector. In the study of Jetzinger F., Baumer S., Michaeli T. [12] and Chikobava Margarita et al. [13] the importance of professional teacher training for the integration of artificial intelligence into school education is highlighted, focusing on addressing issues such as resource limitations, diversity in qualifications, and existing skepticism, while also offering approaches and tools for developing educators' understanding and effective use of AI.

Consequently, the current state of research shows that AI not only transforms the educational process but also requires the active participation of teachers and stakeholders in its implementation. Based on the above, our study aims to assess teachers' attitudes towards the application of AI in their professional activities, with a focus on identifying differences in the perception of technology between young and experienced teachers. This will provide a deeper understanding of what factors influence teachers' willingness to use AI, as well as formulate recommendations for their training and professional development.

Research methodology

This study presents the results of a survey conducted in the second half of 2024 as the basis for a pilot study. The pilot study was conducted to clarify the problem, to define the goal, to set objectives, and to put forward reasonable hypotheses, i.e. it is, in fact, a conceptual study. Since it belongs to the simplest types of sociological research and implies obtaining approximate, tentative information about the object of interest, therefore it was used for poorly studied or not studied problems at all. Pilot research was conducted according to a simplified program, using limited tools on a few respondents. Its purpose was to obtain approximate, indicative data on the number of respondents.

The study of the problem was carried out in several stages:

1. The existing research on the topic of AI implementation in educational activities has been analyzed.
2. A pilot study was conducted among working teachers to identify their attitudes to the use of AI.
3. The difference in the perception of AI between young teachers and representatives of the older generation is revealed.

The following methods of exploratory research were used: interviews with potential respondents; focus groups on the research problem; a survey of experts and teachers related to the problem; a study of documents, and statistical data [14].

An option for intelligence research was also an express survey, during which very necessary utilitarian tasks were solved. The survey was conducted using Google Forms and consisted of seven questions on the use artificial intelligence in education. Surveys have revealed, for example, teachers' attitudes towards the use of AI in their professional activities.

Results of the study

So, an online survey of Aktobe school teachers from Kazakhstan was conducted from September to October 2024. 265 teachers took part in the survey, of which 76% were women and 24% were men. By age, 62% of respondents are among 20-40-year-olds, and 38% are over 40 years old. Teaching experience among participants also varied: 12% had less than 5 years of experience, 21% had 5 to 10 years, 29% had 11 to 20 years, and 38% had more than 20 years. The socio-demographic information of the teachers who participated in this study is presented in Table 1.

Table 1. Demographic characteristics of teachers

Features	Number of teachers	%
<i>Gender</i>		
Female	42	76%
Male	13	24%
<i>Age</i>		
20-40	34	62%
>40	21	38%
<i>Years of teaching experience</i>		
<5	7	12%
5-10	11	21%
11-25	16	29%
>25	21	38%

In the online format of the survey, respondents answered 7 questions: 5 questions in the section "Experience of using artificial intelligence tools" and 2 questions in the section "Use of AI in the future". The responses indicated the levels of use and the option "did not use" if there was no experience.

Based on the experience of using artificial intelligence tools, 5 questions were asked.

To the question "What is your attitude to the use of AI in professional activities?" among respondents aged 20-45, 8(15%) answered "Can't be used", 12(22%) - "Can be used", 17(31%) - "Sometimes used". Among respondents over 45 years old, 13(24%) answered "Can't be used", 3(5%) - "Can be used", " Sometimes used "-2(4%). The number of respondents who gave answers is shown in Figure 1.

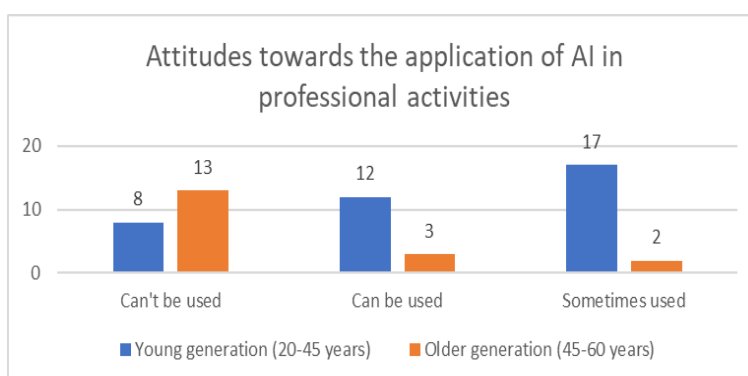


Figure 1. Use of AI tools

To the question "For what purpose did you use AI tools?" among the respondents who used AI tools, 10% answered, "Assignment grading", 29% answered, "Test creation", and 62% answered, "Lesson material preparation" (Figure 2).

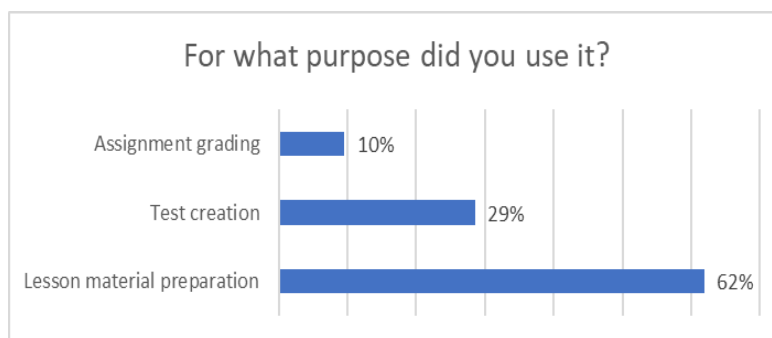


Figure 2. Purposes of Using Artificial Intelligence Tools

To the question "How do you think the use of AI tools has affected student engagement in the classroom?" the following answers were given among respondents who used AI tools To the question "Which AI tools do you frequently use in your work?" the following answers were given: 5% - "Other", 5% - "Grammarly", 5% - "Quillionz", 5% - "Copilot", 10% - "Midjourney", 71% - "ChatGPT" (Figure 3).

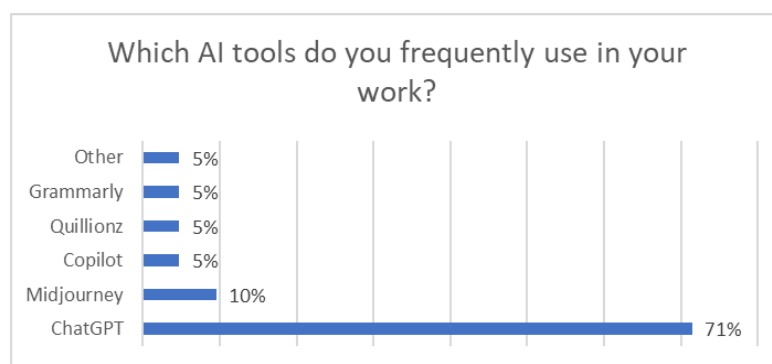


Figure 3. Use of Types of Artificial Intelligence Tools

The following responses were given to the question "What challenges have you encountered when using AI tools?": 24% - "Technical difficulties", 34% - "Lack of application instructions", 22% - "Difficulty to application", and 20% - "Did not use" (Figure 4).

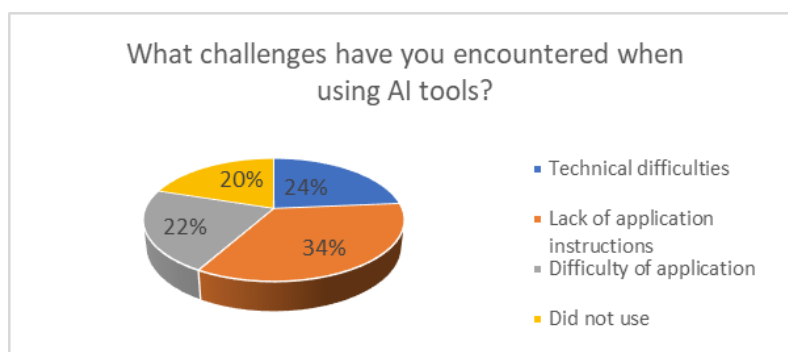


Figure 4. Problems with the use of artificial intelligence.

The following answers were given to the question "How do you think the use of AI tools affected students' activity in class?": 67% - "Students activity increased", 24% - "Activity remained unchanged", and 9% - "Student interest has decreased" (Figure 5).

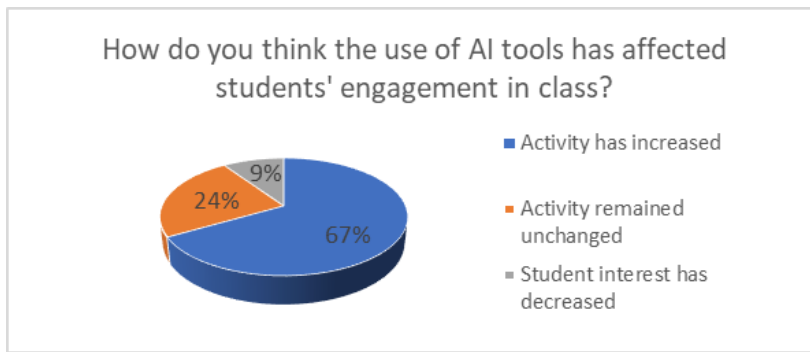


Figure 5. Impact of using artificial intelligence on students' activity

In the section "Using AI in the future", teachers answered 2 questions.

To the question "What new opportunities do you think AI tools provide to improve the quality of learning?" the answers were distributed as follows: 22% – "Individual approach", 58% – "Effective time management", 20% – "Deepening of students' knowledge".

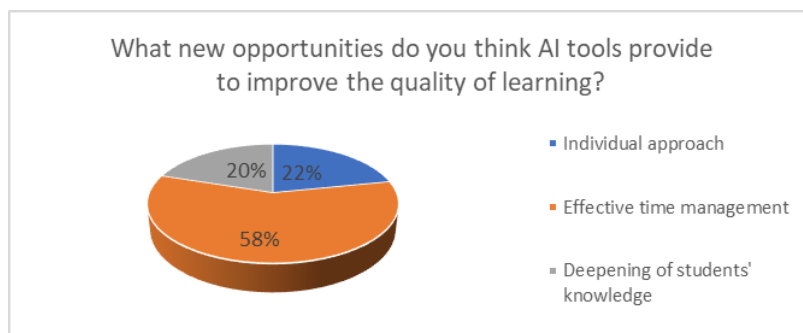


Figure 6. Impact on improving the quality of education

To the question "What future support will teachers need to use AI effectively?" the answers were distributed as follows: 46% – "Conducting professional development courses", 29% – "Preparation of methodological recommendations", 25% – "Accessibility of AI tools".

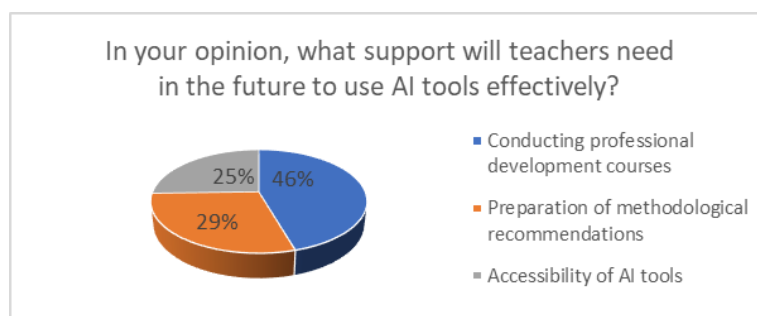


Figure 7. Support for the use of AI tools

Discussion

As our research, namely, observations, and conversations with school teachers, administrative staff of schools and education departments of Aktobe city shows, in most cases, respondents believe that the attitude of such a fact as "Application of AI in professional activity" is related to the age of a teacher.

Based on the results of the survey, let's make an analysis.

To analyze Figure 1, we took two attributes - the teacher's attitude "to the use of AI in professional activity" (we took this as the first attribute) and the age group to which the respondent belongs (we took this as the second attribute). Let us test the statistical hypothesis that there is no dependence between the above attributes. We will take the confidence level equal to 0.95. The joint distribution of these attributes forms a contingency table, which includes six different combinations (combinations) of the levels of these attributes.

As the conducted research, namely observations, conversations with school teachers, administrative staff of schools, and education departments of Aktobe city from Kazakhstan shows, in most cases, respondents believe that the attitude of such a fact as "application of AI in professional activity" is related to the age of the teacher.

For the analysis of Figure 1, two characteristics were taken: the teacher's attitude "to the use of AI in professional activities" (the first criterion) and the age group to which the respondent belongs (the second criterion). To test the statistical hypothesis that there is no dependence between these features, a confidence level of 0.95 was taken.

The joint distribution of these features forms a contingency table that includes six different combinations of the levels of these features (algorithm).

- 1) Build a contingency table, adding marginal frequencies for rows and columns (Table 2).

Table 2. Conjugation with marginal frequencies

Attitude	Young generation	Older generation	Total
Can't be used	8	13	21
Can be used	12	3	15
Sometimes used	17	2	19
Total	37	18	55

- 2) Formulate null and alternative statistical hypotheses:

-H₀: No dependence between traits;

-H₁: There is a dependence between traits

- 3) Number of degrees of freedom: df=2.

4) Critical value corresponding to the number of degrees of freedom 2: $\chi^2_{critical} = 5,99$ (Table Value).

5) Calculate for Compared Samples Let's calculate for the compared samples $\chi^2_{empirical}$ - the empirical value of the criterion χ^2 .

- 6) compare this value with the critical value $\chi^2_{0,05}$ taken from the large numbers table:

-if $\chi^2_{observed} \leq \chi^2_{0,05}$, then draw an appropriate conclusion;

-if $\chi^2_{observed} > \chi^2_{0,05}$, then to draw the opposite conclusion

Next, you need to apply the algorithm to the data from Table 2.

Having calculated the theoretical (expected, predicted) frequencies, the actual (observed) values of the criterion statistics were found $\chi^2_{actual} \approx 8,45$.

Compared: $8,45 > 5,99$, signify $\chi^2_{actual} > \chi^2_{critical}$. Therefore, at a given level of significance of 5%, H₀ is rejected in favor of H₁: "There is a connection between the features".

Thus, the comparison of the two values showed that the alternative hypothesis is true: there is a relationship between the features. Therefore, given the available data, we can say that the discrepancy between empirical and theoretical frequencies is not random, this discrepancy is noticeably large, statistically significant. Therefore, the hypothesis of the absence of a relationship does not seem plausible and convincing. Therefore, at the level of significance (at the level of error) $\alpha=0.05$, it can be rejected and accepted as an alternative one. The calculations show that it is possible to formulate a meaningful conclusion: the ratio of two characteristics, namely, the attitude to the "use of AI in professional activities" is associated with the age of the respondent.

According to the information from Figures 2, 3, and 4, it can be concluded that there are some skills for using AI tools in general education schools, but the number of teachers who have not yet tried to use them remains significant. The majority of teachers(62%) use AI to prepare teaching materials, and among AI tools, ChatGPT is the most popular(71%). Analyzing the data in Figure 5, it can be seen that the use of AI tools positively impacted the educational process(67%). In the section on the future use of AI (Figure 6), respondents believe that using AI tools helps to use time efficiently. However, young and older generations think about the need for training courses (46%) and teaching materials (29%) as shown in Figure 7. The pilot study (probing) was also designed to work out the technical methods and procedures: to establish the necessary sample size and quality, to specify the content and number of questions in the questionnaire, the interviewing time, as well as to test the questionnaire. In this case, the following rules were used:

-The sample size in the pilot study did not have a clear methodological justification (it was sufficient to interview about 55 respondents). The main thing was to cover all significant categories of the research object;

-The sample of respondents met the quality of diversity, i.e. included those groups of respondents who may respond to the toolkit in different ways (respondents were computer science teachers);

-The sample included those respondents who represented the most important demographic attributes (age, education, years of work experience) for the survey topic.

The next step was to estimate the proportion of teachers who do not use AI tools in their teaching relative to the general population. The question under consideration is what sample size would be required in this study? The reliability of the findings is at least 90% and the sampling accuracy is at least 5%. The sample was random, 55 teachers were interviewed, with 21 responding that they "do not use artificial intelligence tools in their teaching activities".

It was necessary to estimate the share of teachers who "do not use AI tools in their teaching activity" relative to the general population. The "success" was taken as "do not use AI in their professional activity" and the "failure" was taken as "use AI in their professional activity". To calculate the required sample size, the following formula is used:

$$n = \frac{z^2 * p * q}{\varepsilon^2} \quad (1)$$

To estimate the aerobatics, a confidence probability of 90% was taken, $z = 1.65$ (from the table of large numbers), and the marginal error was 5%. The data of the reconnaissance study showed that out of 55 respondents who took part in the piloting, 21 expressed their "do not use AI in professional activities", which is estimated as: $p=0.382$, $q=0.618$. The variance is approximately equal to: $p*q=0.236$, then: $n \approx 257$. Thus, in the course of further research, approximately 257 teachers will need to be interviewed to fulfill the quality requirements of the sample.

Conclusion

The conclusion of the piloting, reconnaissance experiment is as follows:

1. Generally, the questionnaire survey has achieved the set goal. The effectiveness of the developed methodology for the development of our understanding of the position of such pedagogical phenomenon as "the problem of application of artificial intelligence tools in pedagogical activity" has been experimentally revealed.

2. The use of the developed methodology allows one to receive information not only about the qualities of acquired knowledge but also to talk about the increase of motivation to learning, systematization of interdisciplinary links in various fields of science, formation of professional competencies, in the field of AI, acquires a significant role in the system of evaluation of professional competencies.

3. Since the use of AI in professional activities is related to the age of the respondent, we should focus our research more on young teachers, as teachers in this age group are more flexible and mobile

4. To eliminate the problems, it becomes obvious that it is important to train future teachers in the competencies of using AI tools already within the walls of universities. This is an urgent task to prepare teachers to work effectively with AI in the educational process.

5. Based on the pilot study, the number of respondents who will take part in the survey in the future was determined. This will determine the accuracy of the research results.

References

[1] Zhasandy intellekti damytudyn 2024 – 2029 zhyldarga arналған tuzhyrymdamasyn bekitu turaly [On approval of the concept of artificial intelligence development for 2024-2029]. *Kazakstan Respublikasy Ukimetinin 2024 zhylgy 24 shildedegi № 592 kaulysy*. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2400000592#z213> (In Kazakh)

[2] Mendoza S., Sánchez-Adame, L.M., Urquiza-Yllescas J.F., González-Beltrán B.A., Decouchant, D. Decouchant A. Model to Develop Chatbots for Assisting the Teaching and Learning Process. *Sensors*, 22, 15, 5532(2022), DOI: <https://doi.org/10.3390/s22155532>

[3] Simeunović M., Ružičić V. Overview and Implementation of Artificial Intelligence in the Improvement of Educational Process. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 83, 5, 544–556(2024), DOI: <https://doi.org/10.56042/jsir.v83i5.3192>

[4] Ouabou S., Idrissi A. Exploring the Impact of Artificial Intelligence in Education: A Comprehensive Review and Future Directions. *Modern Artificial Intelligence and Data Science 2024: Tools, Techniques and Systems*, 1166, 307-317(2024). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-65038-3_24

[5] Chen L., Chen P., Lin Zh. Artificial Intelligence in Education: A Review. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 8, 75264 – 75278 (2020). DOI: [10.1109/ACCESS.2020.2988510](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988510)

[6] Sagimbayeva A.E., Zhaxylykov A.E., Shekerbekova Sh.T., Zhamkeeva A.B. The necessity of implementing smart classrooms in the training of future informatics teachers. *Bulletin of Abai KazNPU. Series of Physical and mathematical sciences*, №3(87), 2024. DOI: [10.51889/2959-5894.2024.87.3.027](https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.87.3.027)

[7] Arry A.A, Radiant V.I., Suhono H.S., Armein Z.R.Langi. The concept of smartness based on the level of technology: a case of system smartness in higher education institutions in Indonesia. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 21, 2, 93-102(2023). [http://www.wiete.com.au/journals/WTE%26TE/Pages/Vol.%2021,%20No.2%20\(2023\)/04-Imbar-R.pdf](http://www.wiete.com.au/journals/WTE%26TE/Pages/Vol.%2021,%20No.2%20(2023)/04-Imbar-R.pdf)

[8] Wahyu D. K., Agung P. B., Akhmad H.A.Rasyid. Interactive e-books to enhance technical drawing abilities of mechanical engineering students in on-line classes in post-pandemic times. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 22, 3, 230-234(2024). [http://www.wiete.com.au/journals/WTE&TE/Pages/Vol.%2022,%20No.3%20\(2024\)/12-Kurniawan-W.pdf](http://www.wiete.com.au/journals/WTE&TE/Pages/Vol.%2022,%20No.3%20(2024)/12-Kurniawan-W.pdf)

[9] Sahat S., Pardomuan N.J.M. S., Yasaratodo W. Effectiveness and efficiency of e-learning in Instructional Design. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 18, 1, 230-234(2020). [http://www.wiete.com.au/journals/WTE&TE/Pages/Vol.18,%20No.1%20\(2020\)/13-Siagian-S.pdf](http://www.wiete.com.au/journals/WTE&TE/Pages/Vol.18,%20No.1%20(2020)/13-Siagian-S.pdf)

[10] Zhilmagambetova R., Kopeyev Z., Mubarakov A., Alimagambetova A. The Role of Adaptive Personalized Technologies in the Learning Process: Stepik as a Tool for Teaching Mathematics. *International Journal of Virtual and Personal Learning Environments (IJVPLE)*,13, 1, 1-15(2023). DOI: [10.4018/IJVPLE.324079](https://doi.org/10.4018/IJVPLE.324079)

[11] Roll I., Wylie R. Evolution and Revolution in Artificial Intelligence in Education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26, 2, 582–599 (2016). DOI [10.1007/s40593-016-0110-3](https://doi.org/10.1007/s40593-016-0110-3)

[12] Jetzinger F., Baumer S., Michaeli T. Artificial Intelligence in Compulsory K-12 Computer Science Classrooms: A Scalable Professional Development Offer for Computer Science Teachers. *SIGCSE 2024 - Proceedings of the 55th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, Portland, 1, 590 – 5967(2024). DOI: <https://doi.org/10.1145/3626252.363078>

[13] Chikobava M., Romeike R. Towards an Operationalization of AI acceptance among Pre-service Teachers. *ACM International Conference Proceeding Series, Virtual, Online(2021)*. DOI: <https://doi.org/10.1145/3481312.3481349>

[14] Dobrenkov V.I., Kravchenko A.I. *Methods of sociological research. Textbook.* — Moscow: INFRA-M, 2004. - 768 pages. <https://www.at.alleng.org/d/sociol/soc014.htm> (in Russian)

Ж.К. Нурбекова¹ , Р.А. Абдувалиев^{1*}

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

*e-mail: r.abduvaliev@gmail.com

КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Аннотация

В данной статье приведена классификация технологий эмоционального искусственного интеллекта, применяемых в образовательном процессе по различным критериям, в том числе по видам учебной деятельности. Рассматривается потенциал аффективных вычислений для персонализации обучения, повышения мотивации студентов и улучшения их благополучия. Автор анализирует классификационные подходы по видам данных, методам обучения, типам эмоций и способам взаимодействия. Представлены примеры технологий, таких как анализ эмоций и автоматическое оценивание, а также их роль в оптимизации образовательного процесса. Подчеркиваются перспективы использования эмоционального искусственного интеллекта, включая улучшение взаимодействия между студентами и преподавателями, также отмечены риски, связанные с конфиденциальностью данных и этическими аспектами. В статье указывается необходимость проведения дальнейших исследований и разработки политик для безопасного и эффективного внедрения технологий в образовательную среду.

Ключевые слова: эмоциональный искусственный интеллект, Edtech, анализ эмоций, автоматическое оценивание, влияние использования технологий эмоционального искусственного интеллекта.

Ж.К. Нурбекова¹, Р.А. Абдувалиев^{1*}

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

БІЛІМ БЕРУ ПРОЦЕСІНДЕ ҚОЛДАНЫЛАТЫН ЭМОЦИОНАЛДЫ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫНЫҢ ЖІКТЕЛУІ

Аңдатпа

Бұл мақалада білім беру процесінде әртүрлі критерийлер бойынша, соның ішінде оқу іс-әрекетінің түрлері бойынша қолданылатын эмоционалды жасанды интеллект технологияларының жіктелуі келтірілген. Оқуды жекелендіру, студенттердің ынтасын арттыру және олардың әл-ауқатын жақсарту үшін аффективті есептеулердің әлеуеті қарастырылады. Автор деректер түрлері, оқыту әдістері, эмоция түрлері және өзара әрекеттесу әдістері бойынша жіктеу тәсілдерін талдайды. Эмоцияны талдау және автоматты бағалау сияқты технологиялардың мысалдары, сондай-ақ олардың оқу процесін оңтайландырудағы рөлі келтірілген. Студенттер мен оқытушылар арасындағы өзара әрекеттесуді жақсартуды қоса алғанда, эмоционалды жасанды интеллектті пайдалану перспективалары, сонымен қатар деректердің құпиялылығы мен этикалық аспектілерге байланысты тәуекелдер атап өтілген. Мақалада технологияларды білім беру ортасына қауіпсіз және тиімді енгізу үшін одан әрі зерттеулер жүргізу және саясаттарды әзірлеу қажеттілігі көрсетілген.

Түйін сөздер: эмоциялық жасанды интеллект, Edtech, автоматты бағалау, эмоциялық жасанды интеллект технологияларын пайдаланудың әсері.

Z.K. Nurbekova¹, R.A. Abduvaliyev¹

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

CLASSIFICATION OF EMOTIONAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES USED IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Abstract

This article presents the classification of emotional artificial intelligence technologies used in the educational process according to various criteria, including types of educational activities. The potential of affective computing for personalizing learning, increasing student motivation and improving their well-being is considered. The author analyzes classification approaches by data types, learning methods, types of emotions and ways of interaction. Examples of technologies such as emotion analysis and automatic assessment are presented, as well as their role in optimizing the educational process. The prospects of using emotional artificial intelligence are highlighted, including improving interaction between students and teachers, and the risks associated with data confidentiality and ethical aspects are also noted. The article indicates the need for further research and policy development for the safe and effective implementation of technologies in the educational environment.

Keywords: emotional artificial intelligence, Edtech, analysis of emotions, automatic assessment, the impact of using emotional artificial intelligence technologies.

Основные положения

В статье представлена классификация технологий эмоционального искусственного интеллекта, применяемых в образовании, по видам учебной деятельности и критериям технологий. Выделены ключевые направления использования ЭИИ: анализ эмоций при проведении лекций, автоматическое оценивание и эмоциональные чат-боты для обратной связи. Представлено, что технологии ЭИИ способствуют персонализации обучения, повышению мотивации и благополучия учащихся, а также оптимизации работы преподавателя. Проанализированы риски, связанные с конфиденциальностью данных, зависимостью от технологий и этическими аспектами. Предложены практические шаги и направления для минимизации этих рисков и дальнейшего развития ЭИИ в образовании.

Введение

В повседневной жизни человека решающим фактором, определяющим процесс принятия решений и общения, являются эмоции [1]. В последние годы в связи с ростом уровня взаимодействия человека с компьютером возрастает потребность с помощью машин выявлять человеческие потребности, удовлетворенность и намерения, передаваемые эмоциями, чтобы они могли помогать людям в принятии решений и оптимизировать пользовательский опыт [2].

Аффективные вычисления, как область знаний, направленная на выявление эмоциональных состояний человека и адаптацию вычислительных систем к этим состояниям, стали распространенной темой исследований. Эмоциональный искусственный интеллект (ИИ), также известный как аффективные вычисления, это разновидность искусственного интеллекта, который измеряет, понимает, имитирует и реагирует на человеческие эмоции. Данная область исследований возникла в 1995 году, когда профессор MIT Розалинда Пикард из медиа-лаборатории опубликовала свою работу «Аффективные вычисления». Это относительно новая область исследований, которая фокусируется на использовании машинного обучения и искусственного интеллекта для помощи людям в распознавании эмоций [3].

В образовательном процессе эмоциональный ИИ представляет собой инструмент, который может улучшить образовательный процесс, делая его более персонализированным и эффективным, формируя позитивное отношение к учебе, а его использование может привести к инновациям в практике преподавания и обучения.

Эмоциональный ИИ может иметь ключевую роль в улучшении образовательных процессов по ряду следующих причин:

1. Персонализация обучения с помощью анализа эмоциональных реакций студентов на определенные учебные материалы, что позволяет учителям адаптировать и персонализировать обучение для каждого студента;

2. Повышение мотивации учащихся, где эмоциональный ИИ может помочь учителям идентифицировать эмоциональные препятствия для обучения, такие как стресс или скука, и предложить стратегии для их преодоления. Это может помочь увеличить мотивацию учащихся и улучшить их академические результаты;

3. Поддержка благополучия студентов может помочь учителям лучше понять эмоциональное состояние студентов, что может привести к улучшению их благополучия и общего успеха;

4. Поддержка преподавателей позволяет облегчить нагрузку на преподавателей, автоматизируя некоторые аспекты обучения и оценки [4].

Учитывая вышесказанное необходимо обратить внимание на то, что использование эмоционального ИИ в образовании требует также рассмотрения этических и практических вопросов, которые включают вопросы конфиденциальности и безопасности данных, поскольку они должны внедряться в такую социальную сферу, как образование после тщательного исследования и должны быть применены своевременно и к месту. В связи с этим нами исследованы технологии эмоционального ИИ и в данной статье представляются результаты исследования классификации по видам учебной деятельности, как проведение лекций и автоматическое оценивание в течение занятия, а также вопросов использования и представленности технологии на рынке Edtech.

Методология исследования

Классификация технологий эмоционального искусственного интеллекта

Информационные технологии неотъемлемая часть современного общества, облегчающая работу, делая нас более мобильными и производительными. Искусственный интеллект, включая в себя большие массивы данных, машинные вычисления и облачные технологии является следующей ступенью развития информационных технологий, а эмоциональный искусственный интеллект позволяет «очеловечить» взаимодействие машины и человека.

Как в случае с другими технологиями, необходимость классифицирования технологий эмоционального ИИ объясняется возможностью систематизировать знания о технологии, позволяя упорядочить существующие знания, понять какие возможности открываются для междисциплинарного сотрудничества и помогая определять направления для дальнейших исследований и разработок. В связи с этим рассмотрим технологии эмоционального искусственного интеллекта в части классифицирования по различным критериям (Рисунок 1).

Представленная схема классифицирует широкий спектр технологий эмоционального искусственного интеллекта, разделяя их на четыре основных категории: тип данных, методы обучения, тип эмоций и способы взаимодействия, что позволяет систематизировать различные подходы к анализу эмоциональных состояний.

Следует отметить, что приведенная общая классификация не является исчерпывающей, и существуют другие способы классификации технологий эмоционального ИИ в зависимости от того, в каком виде деятельности он используется [5]. Потенциал эмоционального искусственного интеллекта в современном образовании, может быть использован для повышения эффективности учебного процесса и улучшения взаимодействия между преподавателями и студентами. Специалисты Кембриджского университета выделяли использование ИИ как ключевого тренда в области образовательных технологий (EdTech) на 2023 год [6]. Технология предоставляет возможности для автоматизации рутинных задач, персонализации обучения и создания адаптивных образовательных программ, что позволяет освободить ресурсы для более творческих и экспериментальных методов преподавания.

Рассматриваемая классификация технологий эмоционального ИИ в образовательном процессе по видам учебной деятельности представлена в таблице 1.

Улучшение взаимодействия между преподавателями и студентами может быть достигнуто с помощью анализа эмоций, также известного как Sentiment Analysis, междисциплинарной области исследований, включающей искусственный интеллект, статистический анализ и обработку естественного языка. Его основная цель - идентифицировать и оценить эмоциональные выражения, содержащиеся в текстах. Этот подход использует различные методы анализа данных для идентификации и оценки различных нюансов эмоций и субъективных элементов, выраженных в тексте [7].

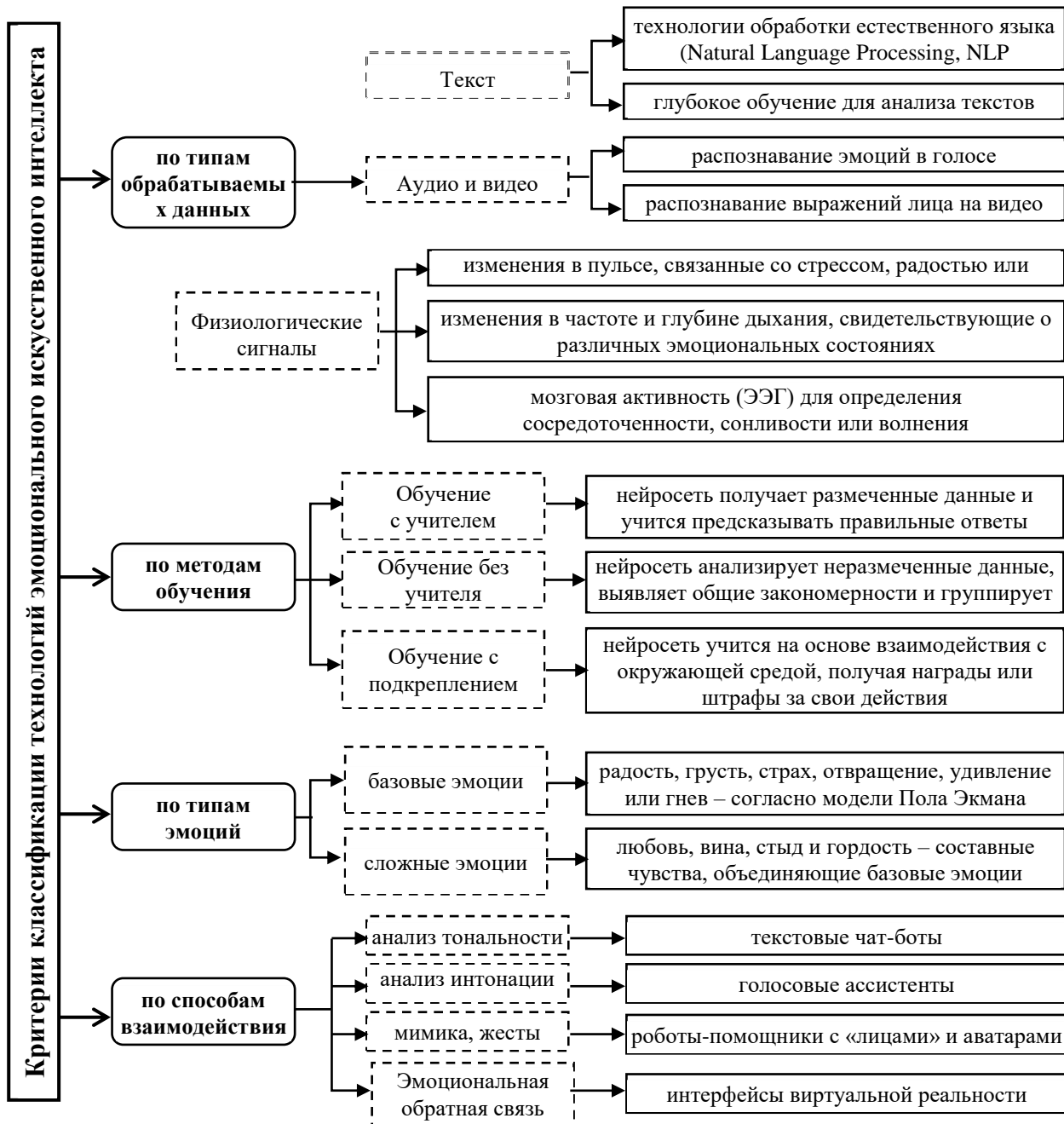


Рисунок 1. Классификация технологий эмоционального ИИ по различным

Техники анализа эмоций можно разделить на подходы, основанные на машинном обучении, лексико-ориентированные подходы и гибридные методы. Некоторые подкатегории исследований в анализе эмоций включают: мультимодальный анализ эмоций, аспектно-ориентированный анализ эмоций, детализированный анализ мнений, анализ эмоций на

конкретном языке. Важными работами в этой области являются обнаружение полярности эмоций (положительной, отрицательной, нейтральной), извлечение элементов мнения и общее эмоциональное восприятие текстов [8].

Для анализа эмоций используются различные методы машинного обучения:

1. Наивный Байес (Naive Bayes) - группа простых вероятностных алгоритмов, которые для классификации эмоций присваивают вероятность тому, что данное слово или фраза должны считаться положительными или отрицательными;
2. Линейная регрессия (Linear Regression) - статистический алгоритм, используемый для прогнозирования значения Y, учитывая X-функции;
3. Метод опорных векторов (Support Vector Machines, SVM) - набор методов обучения с учителем, используемых для классификации и регрессионного анализа;
4. Глубокое обучение (Deep Learning) - совокупность методов машинного обучения, использующая моделирование абстракций высокого уровня в данных с использованием архитектур, которые состоят из нескольких нелинейных преобразований и дающих результаты прогнозирования наивысшего уровня.

Таблица 1. Классификация технологий эмоционального ИИ

№	Виды учебной деятельности	Технология эмоционального ИИ	Критерии технологий эмоционального ИИ
1	Проведение лекций	Анализ эмоций (Sentiment Analysis)	По типам эмоций
2	Контроль знаний	Автоматическое оценивание заданий	По типам обрабатываемых данных
3	Предоставление обратной связи	Эмоциональные чат-боты	По способам взаимодействия

Широкое применение в образовательной сфере анализ эмоций находит, к примеру при обнаружении негативных эмоций, для их проактивного устранения преподаватели могут помочь студентам преодолеть трудности, определяя негативные эмоции и преждевременно решая их. Например, если студент выражает тревогу перед предстоящим экзаменом, преподаватели могут предоставить ресурсы или стратегии для управления этим стрессом, способствуя устойчивости и самоэффективности. Помимо вышеуказанного, анализ настроений в образовании может быть полезным для развития некогнитивных навыков студентов, таких как устойчивость, мотивация и социальная осведомленность [9].

Компании в сфере образовательных технологий (EdTech) также используют анализ эмоций для улучшения учебного процесса, где он помогает создавать более адаптивные и персонализированные образовательные решения, а также обеспечивать более эффективное взаимодействие между преподавателями и студентами. Список компаний использующих анализ эмоций в EdTech представлен в таблице 2.

Таблица 2. Список компаний использующих анализ эмоций в EdTech

№	Компания	Сайт	Что делает
1	Amplify	https://amplify.com	Разработка образовательных платформ, включая интерактивные уроки и игры, которые адаптируются к потребностям каждого студента на основе анализа их эмоциональных реакций
2	Duolingo	https://www.duolingo.com	Популярное приложение для изучения языков использует анализ эмоций, чтобы оценить уровень мотивации и интереса студентов

3	Everspring	everspringpartners.com	Решения для онлайн-образования, включая анализ эмоций, оптимизирующие обучение и поддержку студентов
4	Discovery education	https://www.discoveryeducation.com	Платформа Dreambox Learning использует анализ эмоций для адаптации материалов и заданий в соответствии с эмоциональным состоянием студентов

Автоматическое оценивание, использующее эмоциональный искусственный интеллект как элемент автоматизации однотипных задач может предоставить учителям возможность переложить рутину на виртуального ассистента, акцентируя свое внимание над улучшением и адаптацией образовательного контента (Рисунок 2).

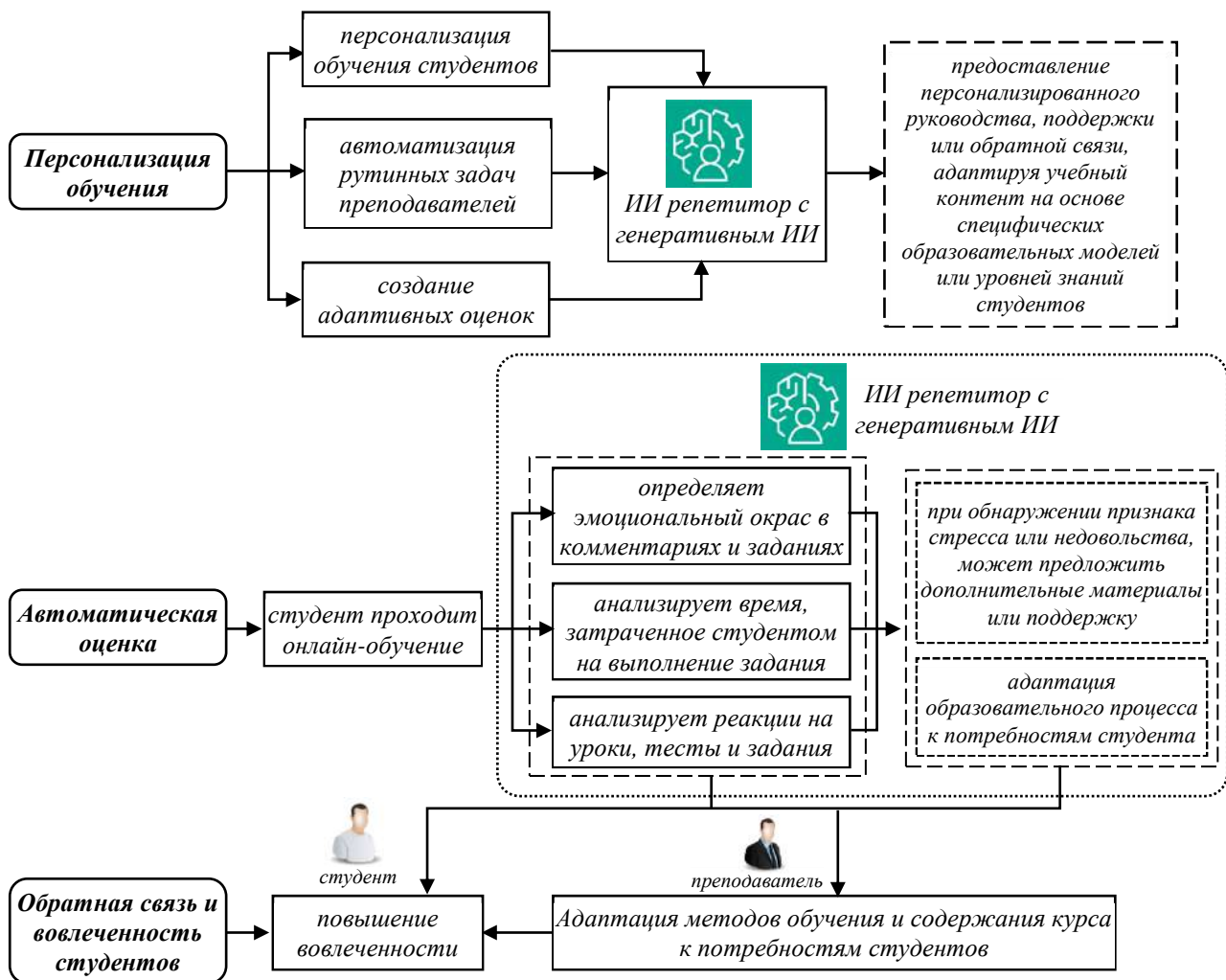


Рисунок 2. Система эмоционального ИИ для проверки заданий и оценки учебных достижений

Экономия времени преподавателя достигается с помощью эмоционального ИИ, который предоставляет возможность автоматически оценивать задания студентов при проверке домашних заданий и оценки учебных достижений. Например, инструменты платформы Gradescope, экономят значительное количество времени учителя, позволяя автоматически оценивать задания, выполненные студентами как в аудитории, так и в онлайн формате.

Список компаний, предоставляющих услуги по автоматическому оцениванию с использованием эмоционального ИИ представлен в таблице 3.

Таблица 3. Список компаний, предоставляющих услуги по автоматическому оцениванию с использованием эмоционального ИИ

№	Компания	Сайт	Что делает
1	Gradescope	https://www.gradescope.com	Предлагает инструменты для автоматического оценивания, основанные на ИИ
2	Amira Learning	https://www.amiralearning.com	Интеллектуальный помощник по чтению, который слушает, оценивает и обучает
3	Sana Labs	https://sanalabs.com	Создает персонализированный учебный опыт с помощью технологии эмоционального ИИ

Результаты исследования

Последствия и перспективы использования технологий эмоционального ИИ в образовании

Технологии искусственного интеллекта, в т.ч. эмоционального ИИ обладают высоким потенциалом для решения проблем современного образования, внедрения инновационных методов в педагогические и учебные практики. Тем не менее, стремительное развитие технологий неизбежно сопровождается многочисленными рисками и сложностями, по частоте возникновения превосходящими обсуждения вопросов политического регулирования и необходимой нормативно-правовой базы [10]. Рассмотрим потенциал, а также риски, возникающие при использовании эмоционального ИИ.

Использование эмоционального искусственного интеллекта в образовательном процессе открывает следующие перспективы и возможности:

1. Улучшение обратной связи, когда эмоциональный ИИ может предоставлять мгновенную и объективную обратную связь, что может помочь учащимся улучшить свои навыки и понимание материала;
2. Развитие навыков эмоционального интеллекта, когда обучение с использованием эмоционального ИИ может помочь учащимся развивать навыки эмоционального интеллекта, такие как самосознание, саморегуляция, мотивация, эмпатия и социальные навыки.

Дискуссия

В целом, использование эмоционального ИИ в образовании может привести к более эффективному и персонализированному обучению, улучшить мотивацию и вовлеченность учащихся, а также способствовать развитию навыков эмоционального интеллекта. Однако важно помнить, что эмоциональный ИИ должен использоваться в сочетании с традиционными методами обучения и под руководством квалифицированных учителей, чтобы обеспечить наилучшие результаты.

Обратимся к рискам, возникающим при использовании эмоционального ИИ в образовании:

1. Недостаточная конфиденциальность данных, так как эмоциональный ИИ требует сбора и анализа большого количества данных, включая личную и чувствительную информацию о студентах. Если эти данные не защищены должным образом, они могут быть подвержены утечке или злоупотреблению;
2. Существует риск, что учащиеся и учителя могут стать слишком зависимыми от эмоционального ИИ, что может привести к уменьшению критического мышления и навыков проблемного решения;
3. Использование эмоционального ИИ может вызвать этические вопросы, такие как вопросы о приватности, справедливости и согласия. Например, есть ли у студентов право отказаться от использования эмоционального ИИ? Как можно гарантировать, что эмоциональный ИИ будет использоваться справедливо и не будет дискриминировать определенные группы студентов?

4. Точность и надежность эмоционального ИИ может варьироваться вследствие того, что он все еще находится в стадии развития. Отсутствуют гарантии, что эмоциональный ИИ всегда будет правильно интерпретировать эмоции студентов;

5. Вопрос о том, кто несет ответственность в случае ошибок или неправильной интерпретации эмоций. Это может быть сложно определить, особенно если ИИ принимает решения автономно.

Важно, чтобы образовательные организации были осведомлены об этих рисках и принимали меры для их минимизации, включая разработку строгих политик конфиденциальности, обучение учителей и студентов безопасному использованию технологии, и проведение регулярного обзора и оценки использования эмоционального ИИ.

Заклучение

В заключении, следует отметить, что эмоциональный искусственный интеллект представляет собой перспективное направление в области образования. Он открывает новые возможности для индивидуализации обучения, повышения мотивации учащихся и улучшения образовательного процесса в целом.

Однако, несмотря на все преимущества, использование эмоционального ИИ также связано с рядом вызовов, включая вопросы конфиденциальности данных, этические вопросы и риск зависимости от технологий, поэтому важно продолжать исследования в этой области и разрабатывать стратегии для минимизации этих рисков.

В свете вышеизложенного, предлагаются направления для дальнейших исследований и практических шагов для минимизации рисков использования эмоционального искусственного интеллекта (Рисунок 3).



Рисунок 3. Направления для дальнейших действий и практических шагов для минимизации рисков использования эмоционального ИИ

В целом, эмоциональный ИИ представляет собой ресурс, позволяющий значительно улучшить образовательный процесс и обучение в целом. С учетом быстрого развития технологий ИИ, можно ожидать, что его применение в образовании будет только увеличиваться в будущем. Это делает его важной областью для дальнейших исследований и разработок.

Список использованных источников

- [1] Oatley K., Parrott W.G., Smith C., Watts F. *Cognition and emotion over twenty-five years* // *Cognition and Emotion*. – 2011. – Vol. 25. – P. 1341–1348.
- [2] Guo L., Wang L., Dang J., Chng E.S., Nakagawa S. *Learning affective representations based on magnitude and dynamic relative phase information for speech emotion recognition* // *Speech Communication*. – 2022. – Vol. 136. – P. 118–127.
- [3] Picard R.W. *Affective Computing*. – Cambridge, MA : The MIT Press, 2020. – 320 p.
- [4] Ezquerro A., Agen F., Rodríguez-Arteche I., Ezquerro-Romano I. *Integrating Artificial Intelligence into Research on Emotions and Behaviors in Science Education* // *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. – 2022. – Vol. 18, № 4.
- [5] Nag P.K., Bhagat A., Priya R.V., Khare D.K. *Emotional Intelligence Through Artificial Intelligence: NLP and Deep Learning in the Analysis of Healthcare Texts* [Электронный ресурс] // *arXiv preprint*, 2024. – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2403.09762v1>, свободный. – Дата обращения: 12.09.2024.
- [6] Martin K. *Top 5 EdTech trends for 2023* [Электронный ресурс]. – 02 февраля 2023. – Режим доступа: <https://www.cambridge.org/elt/blog/2023/02/02/top-5-edtech-trends-for-2023/>, свободный. – Дата обращения: 05.10.2024.
- [7] Wankhade M., Sekhara Rao A.C., Kulkarni C. *A survey on sentiment analysis methods, applications, and challenges* // *Artificial Intelligence Review*. – 2022. – Vol. 55. – P. 5731–5780.
- [8] Kampatzis A., Sidiropoulos A., Diamantaras K., Ougiaroglou S. *Sentiment Dimensions and Intentions in Scientific Analysis: Multilevel Classification in Text and Citations* // *Electronics*. – 2024. – Vol. 13, № 9. – Article № 1753.
- [9] Bouronikos V. *Sentiment Analysis: A Key to Resilience in Higher Education* [Электронный ресурс]. – Август 2023. – Режим доступа: <https://ied.eu/blog/education-blog/role-of-sentiment-analysis-in-education/>, свободный. – Дата обращения: 23.11.2024.
- [10] *AI and education: guidance for policy-makers*. – Paris: UNESCO, 2021. – 66 p.

Y. Smagulov¹, Zh. Zhiyembayev¹, M. Bokan^{1*}

¹ Zhetysu University named after Ilyas Zhansugurov, Taldykorgan, Kazakhstan

*e-mail: bokanmadina98@gmail.com

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION: IMPACT, APPLICATIONS AND FUTURE PROSPECTS

Abstract

The article explores the use of artificial intelligence (AI) technologies in education, providing examples from Kazakhstan and abroad, and discussing their potential and prospects in this field. It outlines a strategy model for implementing AI in higher education, including planning, implementation, and evaluation of effectiveness. The study highlights positive trends in the adoption of AI in Kazakhstani universities, supported by the Republic's interest and successful integration of advanced technologies in higher education. A survey conducted among teachers of "Informatics" and "Mathematics-Informatics" programs at Zhetysu University named after I. Zhansugurov assessed the use of AI in education and identified factors hindering its application. The research substantiated the stages of integrating AI elements into the training of computer science teachers, demonstrating improvements in education quality and student motivation for learning and scientific research.

Keywords: artificial intelligence; automation; educational process; digital technologies; algorithms.

Е.Ж. Смағұлов¹, Ж.Т. Жиёмбаев¹, М. Е. Боқан¹

¹ I. Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Талдықорған қ., Қазақстан

БІЛІМ БЕРУ ПРОЦЕСІНДЕГІ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ: ӘСЕРІ, ҚОЛДАНЫЛУЫ ЖӘНЕ БОЛАШАҚ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Аңдатпа

Мақалада білім беруде жасанды интеллект (АІ) технологияларын қолдану, Қазақстаннан және шетелден мысалдар келтіру, олардың осы саладағы әлеуеті мен перспективаларын талқылау қарастырылған. Онда жоғары оқу орындарында жасанды интеллектті енгізудің стратегиялық моделі, оның ішінде жоспарлау, енгізу және тиімділікті бағалау көрсетілген. Зерттеу барысында республиканың қызығушылығы мен жоғары білім берудегі озық технологиялардың сәтті интеграциялануының арқасында қазақстандық жоғары оқу орындарында жасанды интеллектті енгізудің оң тенденциялары атап өтілді. І. Жансүгіров атындағы Жетісу университетінің "Информатика" және "Математика-Информатика" бағдарламаларының оқытушылары арасында жүргізілген сауалнама АІ-дің білім беруде қолданылуын бағалап, оны қолдануға кедергі келтіретін факторларды анықтады. Зерттеу информатика мұғалімдерін даярлауға жасанды интеллект элементтерін енгізу кезеңдерін негіздеді, білім беру сапасының жақсарғанын және оқушылардың оқуға және ғылыми зерттеулерге деген ынтасын көрсетті.

Түйін сөздер: жасанды интеллект; автоматтандыру; оқу процесі; сандық технологиялар; алгоритмдер.

Е.Ж. Смағұлов¹, Ж.Т. Жиёмбаев¹, М.Е. Боқан¹

¹ Жетысуский Университет им. И. Жансугурова, г. Талдыкорган, Казахстан

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ОБРАЗОВАНИИ: ВЛИЯНИЕ, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НА БУДУЩЕЕ

Аннотация

В статье исследуется использование технологий искусственного интеллекта (ИИ) в образовании, приводятся примеры из Казахстана и из-за рубежа, а также обсуждается их потенциал и перспективы в этой области. В ней описывается стратегическая модель внедрения ИИ в высшее образование, включая планирование, внедрение и оценку эффективности. В исследовании подчеркиваются положительные тенденции во внедрении искусственного интеллекта в казахстанских университетах,

подкрепленные интересом Республики и успешной интеграцией передовых технологий в высшее образование. Опрос, проведенный среди преподавателей программ "Информатика" и "Математика-информатика" в Жетысуском университете имени И. Жансугурова, дал оценку использованию искусственного интеллекта в образовании и выявил факторы, препятствующие его применению. Исследование обосновало этапы интеграции элементов искусственного интеллекта в подготовку учителей информатики, продемонстрировав улучшение качества образования и мотивации учащихся к учебе и научным исследованиям.

Ключевые слова: искусственный интеллект; автоматизация; образовательный процесс; цифровые технологии; алгоритмы.

Main provisions

The article examines the use of artificial intelligence (AI) technologies in education, with some examples highlighting their potential and prospects. It proposes a strategic model for implementing AI in higher education, focusing on planning, execution, and evaluation. The study identifies positive trends in Kazakhstani universities, supported by national initiatives to integrate advanced technologies. A survey at Zhetysu University assessed AI usage in education and pinpointed challenges limiting its adoption. The research demonstrates that incorporating AI in teacher training enhances education quality and boosts student motivation for learning and research.

Introduction

The creation and development of artificial intelligence (AI) is a complex and multifaceted process motivated by various factors. Artificial intelligence has enormous potential to solve problems that human intelligence cannot always handle. This may include analyzing large volumes of data, optimizing manufacturing processes, weather forecasting, developing new drugs, and much more. V. Nabiev (2010) [1] defines artificial intelligence as the ability of a computer or a controlled device to perform tasks similar to human actions. The author emphasizes that we are talking about cognitive processes such as reasoning, meaning formation, generalization and learning based on accumulated experience. S. Russell and P. Norvig (2003) [2] interprets artificial intelligence as machine or computational intelligence that covers a variety of applications, including learning and performing tasks such as playing chess, proving theorems, writing poetry, and diagnosing diseases. According to N. Nilsson (2014) [3], artificial intelligence is an algorithmic system capable of simulating human intelligence. The relevance of the research is due to the growing need to modernize educational processes in response to digital transformation. Currently, it is extremely important to offer an education that meets the needs of both students and professionals. In order to improve its educational system, Kazakhstan is actively introducing digital technologies, such as artificial intelligence, into the educational processes of universities.

AI can significantly increase the efficiency and productivity of various fields of activity, such as industry, transport, healthcare, education and business. Students are very active and quickly adapt to new realities. In Hong Kong, an initiative was launched in which a course called "Fundamentals of Artificial Intelligence" was organized for university students. This pilot project aims to raise public awareness about the basics of AI. The program is focused not only on transferring knowledge about the key principles of technology, but also on preparing students for productive interaction with AI in the context of accelerated digital transformation [4]. Artificial Intelligence (AI) has revolutionized education by enabling personalized learning and creating intelligent learning environments using technologies like machine learning, deep learning, and natural language processing [5]. These advancements adapt education to individual needs, reshaping the role of educators. However, successful AI integration requires more than advanced technologies. Studies highlight a lack of connection between AI methods and educational theories, which limits effectiveness [6]. For AI to achieve meaningful results, it must align with pedagogical principles and address learner-specific needs [7]. In summary, while AI offers transformative potential, its success depends on bridging the gap between technology and education theory.

Having studied the works in the field of artificial intelligence, the advantages and disadvantages of AI were revealed (Table 1).

Table 1. The pros and cons of artificial intelligence in education

Aspect	Advantages	Disadvantages
Personalization	<ul style="list-style-type: none"> - Tailored learning approaches for each student. - Adaptation of educational materials to the student's knowledge level and learning pace. 	<ul style="list-style-type: none"> - May limit the development of collaborative skills. - Risk of students becoming overly reliant on automation.
Learning Environments	<ul style="list-style-type: none"> - Use of intelligent technologies like neural networks to create interactive platforms. - Accelerated access to knowledge. 	<ul style="list-style-type: none"> - High costs of development and implementation. - Need for technical support and regular updates.
Efficiency	<ul style="list-style-type: none"> - Automation of routine tasks such as grading. - Reduced workload for teachers, allowing focus on creative tasks. 	<ul style="list-style-type: none"> - Challenges in ensuring objectivity in automated assessments. - Insufficient accuracy in analyzing complex cognitive processes.
Teacher's Role	<ul style="list-style-type: none"> - Enables focus on analytical and creative aspects of teaching. - Supports decision-making through AI tools. 	<ul style="list-style-type: none"> - Risk of diminishing the teacher's role. - Difficulties in adapting teachers to new technologies.
Ethical Aspects	<ul style="list-style-type: none"> - Transparent use of technologies. - Potential for protecting student data when properly configured. 	<ul style="list-style-type: none"> - Issues with data privacy and usage. - Lack of clear standards for AI implementation.
Theoretical Basis	<ul style="list-style-type: none"> - Potential to integrate learning theories (e.g., situational learning) to enhance educational program quality. 	<ul style="list-style-type: none"> - Limited research connecting AI methods with educational theories. - Rare use of learning theories in designing educational systems.

As can be seen from the table, after analyzing all the identified advantages and disadvantages, it was found that the use of AI in education leads to significant achievements, optimal results in improving the efficiency of the educational process, although there are limitations in subject-social relations in the educational process.

Research methodology

During the research following stages were conducted.

1. Planning. Research objectives have been established, which include analyzing the impact of artificial intelligence on the educational process, as well as formulating key issues related to the integration, benefits, and challenges of using AI. The literature review served as the basis for a theoretical analysis.

2. Data collection. Surveys were conducted among 50 teachers and 30 students of Zhetysu University from various specializations, including informatics, mathematics-informatics. The survey focused on the criteria such as academic performance, learning satisfaction, administrative efficiency.

3. Implementation Analysis. The analysis of tools based on artificial intelligence, including adaptive learning platforms, virtual assistants and automated assessment systems, was executed in order to assess their effectiveness in the educational environment.

4. Evaluation. The data was handled using statistical methods to actuate changes in academic performance, process effectiveness, and satisfaction levels. The key metrics were improved grades, reduced time spent on administrative tasks, and student satisfaction.

5. Recommendations. Practical advice is formulated aimed at improving the effectiveness of the introduction of artificial intelligence, overcoming emerging obstacles and coordinating the use of technology with educational principles.

In addition, research works and analyzes of foreign scientists related to artificial intelligence were used as the main source of information. In February 2024, the Minister of Science and Higher

Education of the Republic of Kazakhstan declared by way of social media the introduce of training specialists in the field of artificial intelligence in cooperation with foreign universities. As part of this initiative, 14 Kazakhstani universities will begin to launch courses on AI from Google. These steps underline the desire of national higher education to meet global trends and develop modern technologies. As an example, at Nazarbayev University the Institute of Intellectual Systems and Artificial Intelligence (ISSAI) was stabled September 2019 with the goal of being a driving force for research and innovation in the digital sphere in Kazakhstan in the field of artificial intelligence research. Projects using AI was developed in ISSAI in 2024 such as One model to Rule them All: A Universal Transformer for Biometric Matching, Kazakh Language Emotional Text-to-Speech, Kazakh Sentiment Analysis Dataset of Reviews and Attitudes. Moreover, adaptive educational platforms such as Coursera and EdX were used that analyzed the progress of students and offered individual educational trajectories. Then, software systems like IBM Watson and Microsoft Azure AI was used to automate administration tasks grading system, scheduling and student record management. AI-Farabi Kazakh National University develops and implements educational programs focused on AI, including training in intelligent tutoring system. Eurasian National University named after L.N. Gumilyova has programs related to AI and aimed at training specialists in this field. Korkyt Ata Kyzylorda State University initiated the creation of the Faculty of Artificial Intelligence in cooperation with SeoulTech [8].

Various artificial intelligence (AI) systems are actively used in foreign educational institutions to enhance the quality of education and optimize the learning process. For example, submitted in 2023, artificial intelligence controls auditors in 84 regions of Russia during the Unified State Exam; AI allows you to stop attempts to pass exams by cheating. Neural networks analyze students' gestures, facial expressions, and eye contact to identify suspicious behavior. Schools and universities in the United States use AI-based chatbots to evaluate students, automating the process of checking and providing feedback to students. Newtown High School in Australia uses the artificial intelligence-based Maths Pathway platform to teach mathematics. The system is based on the needs of an individual student. The system adapts the material to the needs of individual students, increasing the effectiveness of learning. So, we can consider that artificial intelligence in higher education is becoming increasingly important, both globally and in the context of Kazakhstan.

Results of the study

The scientific novelty of this study lies in the comprehensive analysis of the use of artificial intelligence (AI) in the educational process. The research systematically examined motivational aspects and levels of engagement among educators and students, providing insights into AI's role in education and offering practical recommendations for improving teaching and learning processes. The study was conducted at Zhetysu University named after I. Zhansugurov and aimed to determine the extent to which AI technologies are applied in education.

To gather data, a survey was carried out among 50 educators and 30 students from various specializations, including informatics, mathematics-informatics. The survey, created using Google Forms, incorporated both closed and open-ended questions, yielding quantitative and qualitative data for analysis. Among the educators, 35 were female and 15 were male, with an average age of 40 years and teaching experience ranging from 1 to over 20 years. The students, aged between 18 and 25, included 18 females and 12 males, representing different specializations: 12 from informatics, 10 from mathematics-informatics, and 8 from other related fields. The diversity among respondents ensures a broad perspective on the integration and impact of AI technologies in educational practices.

The survey aimed to evaluate the impact of artificial intelligence (AI) in education by addressing three key questions: whether AI improves academic performance, enhances administrative efficiency, and increases learning satisfaction. The teachers' pie chart illustrates educators' responses to three key questions about AI's role in education. The first question asked, "Have you observed improvements in students' academic performance due to AI technologies?" with 40 out of 50 teachers (80%) agreeing that AI significantly enhances learning outcomes. The second question, "Has the use of AI

technologies reduced the time spent on administrative tasks such as grading, scheduling, and resource management?" received 45 affirmative responses (90%), showcasing the operational efficiency of AI. Finally, "In your opinion, has AI enhanced student engagement and overall satisfaction in the learning experience?" resulted in 35 out of 50 teachers (70%) agreeing, reflecting AI's role in creating interactive and personalized learning environments (Fig 1).

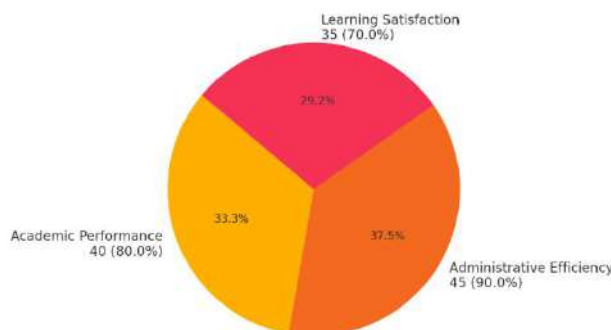


Fig 1. Teacher's detailed Perception of AI impact

The students' pie chart (Fig. 2) visualizes their perceptions based on similar questions. For the first question, "Do you feel that AI tools have helped you achieve better academic outcomes through personalized learning or adaptive technologies?" 25 out of 30 students (83%) agreed. The second question, "Have AI systems in your institution streamlined processes such as class scheduling, resource access, or communication?" was supported by 20 students (67%). Lastly, for the question, "Do you find learning with AI tools more engaging and satisfying compared to traditional methods?" 18 students (60%) agreed, indicating moderate satisfaction with AI's impact on their educational experience.

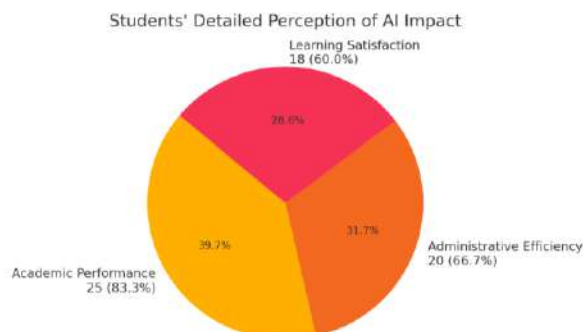


Fig 2. Student's Detailed Perception of AI impact

These pie charts provide a detailed breakdown of how AI is perceived by both educators and students, showcasing its strengths in academics and efficiency, while also identifying areas for improvement in student satisfaction.

Based on the survey results, several recommendations can be made to enhance the impact of artificial intelligence (AI) in education. First, comprehensive training programs for educators and workshops for students should be implemented to ensure both groups can effectively utilize AI tools. Improving the user experience of AI systems by integrating gamification and interactive features can address the relatively lower satisfaction levels reported by students. AI's potential for adaptive learning should be further leveraged to personalize educational pathways, addressing individual needs and boosting academic outcomes. Efforts should also focus on providing affordable and scalable AI solutions to reduce disparities in access, especially in rural or underfunded areas, while ensuring robust data privacy and ethical use policies to build trust. AI tools that support collaborative learning, such as group project platforms and real-time feedback systems, should be prioritized to foster

teamwork and interpersonal skills. Aligning AI applications with established pedagogical theories, such as constructivism, will enhance teaching strategies and student engagement. Finally, implementing a continuous feedback loop will allow educators and students to share their experiences, enabling ongoing improvement and adaptation of AI technologies to meet evolving educational needs. By addressing these aspects, AI can become a transformative tool that supports effective teaching and meaningful learning experiences. So, a strategy model that is aimed on introducing artificial intelligence in universities has been presented. As a result, this strategy will contribute to the development of an understanding of the features of AI and its tools.

At the first stage of interpreting AI to Universities, it is good to make a quantitative and qualitative approaches. So, quantitative describes how we will reach a goal whereas qualitative shows which goal we will reach.

Of course, to enter an AI to an educational structure it is necessary to teach one person to distribute knowledge of using an AI to other teachers for having a good experience. Moreover, for achieving the goal an infrastructure should be ready to use, such as hardware and software.

The top companies using an AI system are presented in Table 2.

Table 2. Top development companies using AI in education

Name	Use
University of Texas (Austin, Texas, USA)	System which has online lessons related to STEM (Science Technology Engineering Mathematics) assures students with efficient lessons in a science area. In addition, generates recommendations for every student in the class by their work.
Century (London, UK)	The system makes teachers life easier because it gives a personalized plan of work with some recommendations after passing related exams. Then tutors can control all their work, what they have done.
Third Space Learning (London, Great Britain)	The goal of the system is to unite teachers from all over the world to have an abroad practice and interpret it on their lessons.
Netex Learning (La Coruna, Spain)	The programs that are used for these purposes can be used to create personalized curricula, send multimedia messages, conduct video conferences and visualize student opportunities.
Carnegie Learning (Pittsburgh, Pennsylvania, USA)	The system that is used an AI technology make an individual plan for each student and exam can be assessed in a real time.
ALEX - Assessment and Learning in Knowledge Spaces (Irvine, California, USA)	The platform for training in specific area with adaptive technologies allows you to determine the level of readiness of a student in a given period of time. As a result, a personal learning path is formed, and the transition to a new stage is carried out after successful assimilation of the material passed.
Brainly (Krakow, Poland)	This social network employs artificial intelligence to handle information security and content management in order to guarantee interaction among university students.

In general, the main usage of AI will lie in automating learning processes, requiring a thorough reconsideration of existing training techniques. For the development of a deeper understanding of the effects of AI on learning processes, the creation of a model that will set the implementation of technologies became vital.



Figure 1. Introduction of an artificial intelligence to universities

In order to introduce an AI it is necessary to make a plan which consists of five stages.

1. Making a plan – firstly, it is necessary to make a plan, have stages of work. It saves time and helps to achieve a goal.

2. Design and Explanation – Aims to organize the structure and identifying functional requirements.

3. Development and debugging – checking for errors and debugging them if needed.

4. Testing – comparing the software with the requirements from the design stage. It aims to check similarity and functionality.

5. Observation and technical service – helping for users at manufacturing the system.

There are some criteria that help to assess a performance of using an AI in Kazakhstan:

- Making better an educational trial: Related to a complex topics, AI is available to make an understanding of those topics easier so that it is clear to anyone at different levels.

- Increasing the accessibility of education: During the COVID-19 for some regions it was hard to get an access to knowledge. However, by AI algorithms it is going to be easy to reach for students from various regions of Kazakhstan.

- Streamline administrative processes: AI can help automate a number of administrative tasks, such as managing class schedules, selecting curricula, assessing students, and even managing university budgets.

- Research and Development: Institutions can use AI for research purposes in various fields, including medicine, engineering, social sciences and others. This can promote scientific progress and innovation.

- Training: The use of AI in education allows students to acquire the skills needed to work in areas related to the development and application of artificial intelligence technologies.

Evaluating effectiveness depends on how properly institutes incorporate AI into their educational and administrative works. But it is vital to conduct some advantages and disadvantages of using AI in universities.

According to experts [9], there are nine areas where it is considered to use an artificial intelligence:

1. Automated method for grading.

2. Reviewing lectures from time to time.

3. Feedback mechanism for educators.

4. Utilization of virtual assistants by educators.

5. Directing mental processing in light of supercomputers.

6. Individual instructions based on the interests of students.

7. Adaptive learning.

8. Collection and personalization of information taken from an AI system.

9. Monitoring violations during tests and exams online.

Here are several ways AI can be applied in universities:

1. Individual Learning: Implement AI-driven learning management systems (LMS) that provide personalized recommendations, adaptive learning paths, and customized content based on individual student needs, learning styles, and performance metrics.

2. Virtual Teaching Assistants: Develop AI-powered virtual assistants or chatbots to assist students and faculty with inquiries, course enrollment, scheduling, and academic support services. These assistants can provide instant responses and guidance, improving accessibility and efficiency.

3. Predictive Analytics: identifying at-risk students, forecasting student outcomes.

4. Smart Classrooms: Equip classrooms with AI-enabled technologies such as smart whiteboards, facial recognition systems, and voice recognition software to enhance engagement, interactivity, and collaboration among students and instructors. [10]

5. Automated Grading and Feedback: Use AI-powered grading systems to automate the grading process for assignments, quizzes, and exams. Additionally, AI algorithms can provide instant feedback to students, identify common misconceptions, and offer suggestions for improvement.

6. Research and Data Analysis: Leverage AI tools and techniques for data mining, pattern recognition, and predictive modeling to support research initiatives across various disciplines. AI can help researchers analyze large datasets, discover insights, and accelerate the pace of discovery.

7. **Administrative Efficiency:** Implement AI-driven administrative systems for tasks such as admissions management, student enrollment, course scheduling, resource allocation, and financial planning. AI can streamline processes, reduce administrative burdens, and optimize resource utilization.

8. **Virtual Laboratories:** Develop virtual laboratories and simulations powered by AI to provide students with hands-on learning experiences in STEM fields and other disciplines. Virtual labs can enhance accessibility, safety, and scalability while allowing students to explore and experiment in a controlled environment. [11]

9. **Natural Language Processing (NLP):** Utilize NLP technologies to analyze and extract insights from academic literature, research papers, and scholarly publications. NLP gives an opportunity to search for needed information, summarize content, and generate citations.

10. **Student Support Services:** virtual assistances for students in different spheres.

When integrating AI into universities, it's essential to prioritize ethical considerations, data privacy, transparency, and equity to ensure responsible AI adoption and promote positive outcomes for students, faculty, and the university community as a whole. Collaboration among stakeholders, ongoing training, and evaluation of AI initiatives are critical for successful implementation and continuous improvement.

Experts suggest that in the future, artificial intelligence will likely be able to reproduce the information visually in the forms of illustrations and infographics in the background, while the teacher is explaining the educational material, thereby acting as a virtual teaching assistant. Instead of standardized materials for classes an AI generated modern data to present the class. These materials will be available to each student with an ability of editing and managing them. All data got by artificial intelligence will be automatically saved in the lesson archive and can be available for students whenever.

Discussion

The results of this study demonstrate that artificial intelligence is playing an increasingly important role in enhancing educational processes. AI tools facilitate more personalized, efficient, and adaptive learning, addressing diverse student needs while supporting educators through automation and real-time feedback.

These findings are consistent with existing academic research, which highlights both the educational benefits of AI and the necessity of careful consideration of ethical and practical issues, including data protection and the evolving role of teachers.

Future studies should investigate the long-term impact of AI on student motivation, learner autonomy, and the quality of teacher-student interaction. Moreover, the development of ethical frameworks and the professional preparation of educators will be crucial for the responsible integration of AI into educational settings.

In conclusion, while artificial intelligence offers considerable opportunities, its effective implementation depends on well-designed, research-informed strategies that uphold educational quality and human-centered values.

Conclusion

Today, an Artificial Intelligence technology has a positive effect on an educational sphere. It makes possible for teachers to free their time by having an automated grading system, personalization of the program related to various topics, giving feedbacks and comments, analyzing dynamics of the progress of students' knowledge so that teachers have an opportunity of better collaborating with students. In the Republic of Kazakhstan, there is a positive tendency in the use of AI in universities, which is confirmed by the interest of the republic and numerous successful examples of the use of progressive technologies in various of higher education. It leads to a development in the quality of education and an increase in students' motivation to gain knowledge and making a research.

References

- [1] *Nabiyev V.V. Yapay zeka: İnsan bilgisayar etkileşimi. – Seçkin Yayıncılık, 2010. – 816 c.*
- [2] *Russell S., Norvig P. Artificial intelligence: A modern approach. 2nd ed. – Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2003. – 946 c.*
- [3] *Nilsson N.J. Principles of artificial intelligence. – Burlington, MA: Morgan Kaufmann, 2014. – 476 c.*
- [4] *Bye R.T. A flipped classroom approach for teaching a master's course on artificial intelligence // Computers Supported Education: 9th International Conference, CSEDU 2017, Porto, Portugal, April 21–23, 2017: revised selected papers. – Springer International Publishing, 2018. – C. 246–276. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-94640-5_13.*
- [5] *Smarakova A. Budushchee uzhe zdes': Kak iskusstvennyy intellekt menyaet obrazovanie [Elektron. resurs]. – URL: <https://theoryandpractice.ru/posts/20442-budushchee-uzhe-zdes-kak-iskusstvennyy-intellekt-menyaet-obrazovanie?ysclid=lj6sgvx2wk834757252> (data obrashcheniya: 20.06.2023).*
- [6] *Abbas N., Whitfield J., Atwell E., Bowman H., Pickard T., Walker A. Online chat and chatbots to enhance mature student engagement in higher education // International Journal of Lifelong Education. – 2022. – Vol. 41, № 3. – P. 308–324.*
- [7] *Diwanji P., Hinkelmann K., Witschel H. Enhance classroom preparation for flipped classroom using A.I. and analytics // Proceedings of the 20th International Conference on Enterprise Information Systems. – 2018. – DOI: <https://doi.org/10.5220/0006807604770483>.*
- [8] *Ouyang F., Jiao P. Artificial intelligence in education: The three paradigms // Computers and Education: Artificial Intelligence. – 2021. – Vol. 2. – 100020.*
- [9] *Harnessing AI for inclusive education: Transforming learning experiences in Kazakhstan // Times Central Asia [Elektron. resurs]. – URL: <https://timesca.com/harnessing-ai-for-inclusive-education-transforming-learning-experiences-in-kazakhstan/> (data obrashcheniya: 28.12.2024).*
- [10] *Javaid M., Haleem A., Singh R.P., Khan S., Khan I.H. Unlocking the opportunities through ChatGPT tool towards ameliorating the education system // BenchCouncil Transactions on Benchmarks, Standards and Evaluations. – 2023. – Vol. 3, № 2. – 100115.*
- [11] *Sabzalieva E., Valentini A. ChatGPT and artificial intelligence in higher education: Quick start guide. – UNESCO International Institute for Higher Education in Latin America and the Caribbean, 2023.*