

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
№2(86)

Алматы, 2024

ХАБАРШЫ

«Физика-математика ғылымдары»
сериясы №2 (86), 2024 ж.

Бас редактор:

ф.-м.ғ.д., профессор М.А. Бектемесов

Редакция алқасы:

Бас ред.орынбасары:

п.ғ.д., профессор Е.Б. 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

Редакциялық алқа мүшелері:

Dr.Sci. К.Алихан (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. Түлешов

© Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, 2024

Қазақстан Республикасының Ақпарат

министрлігінде тіркелген

№ 4824 – Ж - 15.03.2004

(Журнал бір жылда 4 рет шығады)

2000 жылдан бастап шығады

Басуға 27.06.2024 қол қойылды

Пішімі 60x84 1/8. Көлемі 42,75 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

Akhmetova O.S., Morozova Ye.V., Issayev S.A.

Representation of a non-stationary model of baroclinic ocean motion using the fictitious domain method 7

Бектемесов Ж.М., Бектемесов М.А.

Решение обратной задачи фармакокинетики с динамическим параметром 25

Бердышев А.С., Боранбек К.

Обзор модели Стокса-Дарси 34

Дальбекова К.С., Беркимбаева С.Б., Гусманова Ф.Р.,
Аккозиева Р.С., Искакова А.К.

Стабилизация движения квадратических дифференциальных систем на конечном отрезке времени 46

Zhadraeva L.U., Shuakayev M.K., Yessenova M.I.

About solution of singular bilinear stochastic systems on the base Smagulov`S condition 55

Көшербаева Ұ.Р., Алтынбек С.А.

Шектелмеген облыста полярлық ерекшелігі бар Бельтрами теңдеуі үшін қойылған бастапқы- шекаралық есеп туралы 65

Кошкарлова Б.С., Бургумбаева С.К., Жолымбаев О.М.

Свойства интегральных операторов T1 И TII в весовом пространстве Лебега 74

ФИЗИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР МЕН МЕХАНИКАЛЫҚ
ЖҮЙЕЛЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И
МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

MODELING OF PHYSICAL PROCESSES AND
MECHANICAL SYSTEMS

Қоштыбаев Т.Б., Алиева М. Е., Татенов А.М.

Кванттық-механикалық жүйелердің математикалық негіздемесі 83

Садыков Т.Х., Мукашев К.М.,

Аргынова А.Х., Новолодская О.А., Махмет Х.

Исследования стволон широких атмосферных ливней с помощью высокогорного ионизационного калориметра 96

Ualiyev Z.G., Bissembayev K.,

Temirbekov Y., Kerimkulov D., Kanapiya M.

Modelling of transfer mechanisms taking into consideration kinematic and dynamic characteristics 107

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

Члены редколлегии:

Dr.Sci. **К.Алимхан** (Japan),
Phd.d. **А.Сабата** (Spain),
Phd.d **Е. Kovatcheva** (Bulgaria),
Phd.d. **М. Ruzhansky** (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, 2024

Зарегистрирован в Министерстве
информации
Республики Казахстан,
№ 4824 - Ж - 15.03.2004
(периодичность – 4 номера в год)
Выходит с 2000 года

Подписано в печать 27.06.2024.
Формат 60x84 1/8. Об. 42,75 уч.-изд.л.
Тираж 300 экз. Заказ 621.

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

МАТЕМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ
МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ
METHODS OF TEACHING MATHEMATICS

**Әбілқасымова А.Е., Қосанов Б.М.,
Нурбаева Д.М., Нурмухамедова Ж.М.**
Алгебра курсының алғашқы оқу құралы 119

Батырбаева Г.А., Асанова А.Т., Бауаш Г.Е.
Математикадағы мәнмәтіндік есептер оқушылардың
функционалдық сауаттылығын дамыту құралы ретінде 128

Бидайбеков Е.Ы., Пак Н.И., Ошанова Н.Т.
Математикалық білім беруді цифрландыру: математиканы
оқытудың электрондық құралдарын құру 138

Мынжасарова М.Ж.
Мектеп пен жоғары оқу орнында геометрия пәнін оқытудың
сабақтастығы 147

Сейтбекова Г.О.
Математика сабағында оқушылардың функционалдық
сауаттылығын дамыту және бағалау 160

Усайнова Г.М., Сейтмұратов А.Ж., Ахатай А.А.
Болашақ математика мұғалімдерін кәсіби даярлауда
педагогикалық дизайн негіздерін қолдану әдістері 168

ИНФОРМАТИКА
COMPUTER SCIENCE

Daukenov N.B., Tereikovskiy I.A.
Integration and automation in active protection of network
resources: prospects for development 178

Каламан Е.Т., Алимсеитова Ж.К., Сабраев Қ.Ж.
Университеттің есептеу желісінің осалдық көрсеткіштерін
модельдеуге негізделген ақпараттық қауіпсіздік жүйесі 188

**Кожаягулов Е.Т., Жексебай Д.М.,
Намазбаев А.Т., Сарманбетов С.А.**
Эффективная классификация цифровой модуляции с
использованием сверточных нейронных сетей 201

**Құттыбай Н.Б., Аманжол Ә.А., Қошқарбай Н.Ж.,
Жоламанов Б.Н., Сейтжанова А.К.**
Разработка системы слежения за солнцем на основе
технологии интернета вещей (IIOT) 211

Мекебаев Н.О., Даркенбаев Д.К., Алтыбай А.
Нейронные архитектуры для определения пола и
идентификации говорящего 222

**Рахимова Д.Р., Турарбек Ә.Т.,
Галимова Р.Р., Акимбаева А.М.**
Word2vec әдісі негізінде сөйлеу қабілеті нашар балаларға
арналған оқыту жүйесін әзірлеу 235

Abai Kazakh National
Pedagogical University

BULLETIN
Ser. Physics & Mathematical Sciences

№2 (86), 2024.

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

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. Mukhambetzhanoz,
Phd.d. Zh.M. Nurmukhamedova,
Dr. Sci. (Ped.) B.D. Sydykov,
Dr.Sci.(Engineering) A.K. Tuleshov

© Abai Kazakh National Pedagogical
University, 2024

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 27/06/2024
Format 60x84 1/8. Vol. 42,75 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

- Бақытбекова Ж.Б., Камалова Г.Б.**
Визуализация технологияларын оқыту болашақ информатика
мұғалімдерінің цифрлық құзыреттілігін дамыту факторы
ретінде..... 253
- Bekbolat M.S., Berkimbayev K.M., Bülbül H.İ.**
Soft skills development in information technology education: a
systematic literature review 264
- Berkinbayeva K.D., Zhiyembayev Zh.T., Issayeva G.B.**
Integrating mobile technology in computer science education at
tertiary level 274
- Карелхан Н., Удербасева Н.К., Онгарбаева М.Б.**
Виртуалды және толықтырылған шындық технологияларын
«Цифрлық сауаттылық» пәнінде қолданудың практикалық
негіздері 288
- Кенесбаев С.М., Мажибаева Г.П.**
Болашақ информатика мұғалімдеріне бақылау-өлшеу
материалдарын жасауда цифрлық технологияларды
пайдаланудың тиімділігі 298
- Мадьярова Г.А., Оразжанов Д.Б.**
«Білім берудегі аддитивті технологиялар» пәнінің мазмұндық
моделін құру 312
- Нурбекова Ж.К., Досымбек Д.М.,
Бешеев Д.М., Досымбек С.М.**
Обработка и управление данными по непрерывному
профессиональному развитию педагогов 323
- Sydykova Zh.K., Naushabekov Zh.A.**
Application of STEM education to analyze and solve physics
problems in schools 333

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

IRSTI 27.31.44

10.51889/2959-5894.2024.86.2.001

O.S. Akhmetova^{1*}, Ye.V. Morozova², S.A. Issayev³

¹Almaty brunch of Saint-Peterburg University of the Humanities and Social Sciences,
Almaty, Kazakhstan

²Saint-Peterburg University of the Humanities and Social Sciences, St. Petersburg,
Russian Federation

³Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: ah_oksa@mail.ru

**REPRESENTATION OF A NON-STATIONARY MODEL OF BAROCLINIC OCEAN
MOTION USING THE FICTITIOUS DOMAIN METHOD**

Abstract

This paper presents a groundbreaking non-stationary model, intricately crafted using the fictitious domain technique, to delve into the complex dynamics of baroclinic ocean motion. This study marks a significant leap in our understanding of water mass interaction, shedding light on the profound impact of temperature and salt gradients on sea currents. The methodology uses modified Navier-Stokes equations for viscous, incompressible flow, considering advection, diffusion, and Coriolis force. The results of this study underscore the immediate and tangible implications of our research. The solutions unveiled the pivotal role of pressure and temperature differentiation in the genesis of ocean currents. The analysis demonstrated that by integrating nonlinear terms and detailed modeling of initial and boundary conditions, we can markedly improve the precision of water mass movement forecasts. This work underscores the urgent necessity for further research into dynamic ocean modeling to enhance our ability to predict climate change. This article introduces truly innovative approaches to numerical modeling, which hold immense potential for the future of the field. These approaches have the power to transform existing models of sea currents and pave the way for the development of more efficient methods for monitoring and predicting the state of the marine environment.

Keywords: baroclinic motion, ocean modeling, ocean dynamics, Navier-Stokes equation, Coriolis force, advection and diffusion, climate change, non-stationary processes in the ocean.

О.С. Ахметова¹, Е.В. Морозова², С.А. Исаев²

¹Алматинский филиал Санкт-Петербургского Гуманитарного университета профсоюзов,
г. Алматы, Казахстан

²Санкт-Петербургский Гуманитарный университет профсоюзов,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

³Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан
**ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ БАРОКЛИННОГО
ОКЕАНА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ФИКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ**

Аннотация

В данной статье представлена разработка и анализ комплексной нестационарной модели для изучения движения бароклинного океана, основанной на методике фиктивных областей. Целью исследования является улучшение понимания механизмов взаимодействия водных масс, а также влияния температурных и солевых градиентов на динамику морских течений. Методология включает

в себя использование модифицированных уравнений Навье-Стокса для вязкого, несжимаемого потока с учетом адвекции, диффузии и кориолисовой силы. В результате были получены решения, которые демонстрируют значительное влияние вертикальных и горизонтальных дифференциаций давления и температуры на формирование океанических течений. Анализ показал, что включение нелинейных членов и детальное моделирование начальных и граничных условий позволяют значительно повысить точность прогнозов движения водных масс. Работа подчеркивает важность дальнейших исследований в области динамического моделирования океана для более прогнозирования климатических изменений. Статья предлагает новые подходы к численному моделированию, которые могут быть использованы для улучшения существующих моделей морских течений, а также для разработки более эффективных методов мониторинга и прогнозирования состояния морской среды.

Ключевые слова: бароклинное движение, моделирование океана, динамика океана, уравнение Навье-Стокса, Кориолисова сила, адвекция и диффузия, климатические изменения, нестационарные процессы в океане.

О.С. Ахметова¹, Е.В. Морозова², С.А. Исаев²

¹Санкт-Петербург Гуманитарлық кәсіподақтар университеті Алматы филиалы, Алматы қ., Қазақстан

²Санкт-Петербург Гуманитарлық кәсіподақтар университеті, Санкт-Петербург қ., Ресей Федерациясы

³Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

ЖАЛҒАН АЙМАҚТЫҚ ӘДІСІ АРҚЫЛЫ БАРОКЛИНДІ МҰХИТ ҚОЗҒАЛЫСЫНЫҢ СТАЦИОНАРЛЫҚ ЕМЕС МОДЕЛІН КӨРСЕТУ

Аңдатпа

Бұл жұмыс жалған аймақтық техникасына негізделген бароклиникалық мұхиттың қозғалысын зерттеудің күрделі стационарлы емес моделін жасау және талдауды ұсынады. Зерттеудің мақсаты су массаларының өзара әрекеттесу механизмдерін, сондай-ақ температура мен тұз градиенттерінің теңіз ағындарының динамикасына әсерін түсінуді жетілдіру болып табылады. Әдістеме адвекция, диффузия және Кориолис күшін ескере отырып, тұтқыр, сығылмайтын ағын үшін модификацияланған Навье-Стокс теңдеулерін қолдануды қамтиды. Нәтижесінде мұхит ағыстарының пайда болуына қысым мен температураның тік және көлденең дифференциациясының елеулі әсерін көрсететін шешімдер алынды. Талдау көрсеткендей, сызықты емес терминдерді қосу және бастапқы және шекаралық шарттарды егжей-тегжейлі модельдеу су массасының қозғалысы туралы болжамдардың дәлдігін айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік береді. Жұмыс климаттың өзгеруін жақсы болжау үшін динамикалық мұхитты модельдеуді одан әрі зерттеудің маңыздылығын көрсетеді. Мақалада теңіз ағындарының қолданыстағы үлгілерін жақсарту, сондай-ақ теңіз ортасының жағдайын бақылау және болжау үшін тиімдірек әдістерді әзірлеу үшін пайдалануға болатын сандық модельдеудің жаңа тәсілдері ұсынылған.

Түйін сөздер: бароклиникалық қозғалыс, мұхитты модельдеу, мұхит динамикасы, Навье-Стокс теңдеуі, Кориолис күші, адвекция және диффузия, климаттың өзгеруі, мұхиттағы стационарлық емес процестер.

Main provisions

The developed model is an innovative application of the fictitious domain method to simulate the unsteady motion of a baroclinic ocean. This approach significantly improves modeling accuracy by effectively managing complex boundary conditions and integrating various physical processes, including advection, diffusion, and Coriolis force. The model's reliability is proven through rigorous validation using real-world data such as temperature and salinity measurements from the World Ocean Database and the Argo Project. This validation demonstrates the model's ability to accurately reproduce observed ocean dynamics, including the formation and evolution of baroclinic currents.

The model covers both large- and small-scale ocean processes, offering a comprehensive tool for studying interactions between different ocean layers. It allows detailed analysis of the effects of vertical and horizontal density gradients on currents, providing new insights into the dynamics of internal waves and turbulence. The results of this study have significant implications for climate research, especially in the context of improving forecasts of oceanic circulation patterns and their impacts on global climate. The model's ability to incorporate complex initial and boundary conditions

makes it a valuable resource for understanding the long-term effects of climate change on the marine environment.

Although the current model provides robust simulations, future research should focus on integrating more complex turbulence schemes and improving the parameterization of small-scale processes. In addition, the model's applicability to other marine environments and its potential for real-world ocean monitoring need to be further explored.

Introduction

The study of ocean dynamics plays a critical role in understanding global climate processes, the distribution of biological resources, and managing the marine environment. Particularly significant is the modeling of baroclinic ocean motion, which includes the distribution of temperature and salinity, affecting the density and dynamics of water flows. This research focuses on developing and analyzing mathematical models that describe non-stationary processes in the baroclinic ocean, considering various internal and external factors. A baroclinic ocean is a concept in oceanography that describes a state of the ocean in which the density of water depends not only on pressure but also on vertical and horizontal changes in temperature and salinity. In baroclinic conditions, density surfaces (isopycnal surfaces) are tilted relative to constant pressure surfaces, resulting in internal pressure gradients that give rise to complex flows.

There are several ways to model the movement of a baroclinic ocean, including various mathematical and numerical approaches to simulate and analyze the dynamics of ocean waters based on their baroclinic structure. These methods include:

- Primitive equations are a complete set of hydrodynamic equations, including the Navier-Stokes equations for incompressible fluid and the continuity equation for mass, heat transfer, and salinity. Models based on primitive equations are often used to model ocean currents in three dimensions and can include the effects of turbulence and vertical stratification.

- Baroclinic models, focusing on vertically uneven density distribution and its influence on ocean currents. Such models use approximate fluid dynamics equations to describe internal waves and flows caused by density gradients.

- In rigid lid models, ocean surface tension is assumed to be infinitely large, eliminating the free surface and focusing on currents below the surface. This simplifies the mathematical description by removing fast gravitational waves from the solutions and concentrating on slower baroclinic and barotropic processes.

- Climate models incorporate baroclinic processes within broader climate models to study their influence on global climate change and the circulation of heat and salt in the oceans.

- Hybrid and multiscale model approaches combine different types of modeling to create more accurate and comprehensive models that can simultaneously account for multiple physical processes and scales of interaction.

In general, modeling a baroclinic ocean requires a comprehensive approach, including accurately determining initial and boundary conditions and considering external factors such as atmospheric forcing and bottom topography. This allows the scientific community to understand better and predict ocean dynamics, which has important implications for meteorology, marine biology, and climatology.

Our paper uses the fictitious domain method, which can be viewed as part of a broader numerical modeling approach that includes elements of three-dimensional primitive equations. This method allows for solving complex problems of ocean dynamics and provides an adequate description of baroclinic processes such as internal waves and currents caused by density gradients.

The fictitious region method helps to handle geometrically complex boundaries and various initial and boundary conditions, making it especially useful for problems where standard numerical schemes may not be effective. This involves modeling in real, irregularly bounded ocean basins, where the interaction of ocean currents with continental shelves, seamounts, and other landforms must be considered.

In summary, our paper applies a method that allows the integration of detailed 3D modeling that considers baroclinic processes, using primitive equations to describe the underlying physical processes in the ocean.

Research methodology

Formulation of the problem

Let us consider in the region $Q_0 = \Omega_0 \times (0, T)$, $\Omega_0 = (0, H) \times D_0$ the following equations of motion of the Baroclinic Ocean.

1. Equation describing the change in the speed of water in the ocean:

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{u} = \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial z^2} + \mu \Delta \vec{u} - \vec{\nabla} p - [\vec{\ell} \times \vec{u}],$$

where

- $\frac{\partial \vec{u}}{\partial t}$ – time derivative of speed, showing the change in speed with time;
- $(\vec{v} \cdot \nabla) \vec{u}$ – advective term describing the transfer of velocity by flow;
- $\mu_0 \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial z^2} + \mu \Delta \vec{u}$ – diffusion terms modeling viscous effects;
- $\vec{\nabla} p$ – pressure gradient;
- $[\vec{\ell} \times \vec{u}]$ – Coriolis term describing the effect of the Earth's rotation on the movement of water.

2. The continuity equation, which shows that the mass of water is conserved, i.e., neither its creation nor its destruction occurs:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad \vec{v} = (u, v, w), \quad \vec{u} = (u, v), \quad \vec{\ell} = (\ell, \ell)$$

3. Hydrostatic pressure equation relating pressure changes to the depth, water density ρ , and gravitational acceleration g :

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho_0 g, \quad \rho = a_0 \theta + b_0, \tag{1}$$

4. Equation for temperature θ

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \theta = \lambda_0 \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + \lambda \Delta \theta,$$

this equation describes the change in temperature in water, taking into account advective transport and diffusion.

The initial conditions for the model were established based on a combination of data, including satellite measurements of sea surface temperature, salinity, and sea current data obtained from various international oceanographic databases such as the World Ocean Database [1] and Argo [2]. These data provide information on worldwide vertical temperature and salinity profiles, allowing our model to start with a realistic ocean state.

At the water surface, boundary conditions were set for velocity and temperature, which vary over time according to seasonal changes measured from satellite data. This data helps the model account for significant annual variations for long-term modeling.

Boundary conditions for the above equations:

– initial conditions for speed and temperature:

$$\vec{u}|_{t=0} = \vec{u}^0(x, y, z), \quad \theta|_{t=0} = \theta^0(x, y, z),$$

Also, on the ocean floor and at the lateral boundaries of the modeled area, impervious conditions for water flows and zero gradients for temperature and salinity were applied to provide a realistic simulation without artificial influence on the system.

– at the upper and lower boundaries of the water column, the velocity z and the derivative concerning z are equal to zero:

$$\left. \frac{\partial \vec{u}}{\partial z} \right|_{z=H} = \vec{u}|_{z=0} = 0, \quad \vec{u}|_{\partial D_0} = 0, \quad z \in [0, H], \quad (2)$$

– temperature and horizontal velocity components are also zero at the lateral boundaries of the domain

$$w|_{z=0} = w|_{z=H} = 0, \quad \theta|_{\partial D_0} = 0, \quad z \in [0, H].$$

Applying these initial and boundary conditions is critical to the accuracy and realism of the simulation results. Using accurate data for initial conditions allows the model to reflect the current state of the ocean adequately. Adaptive surface boundary conditions that reflect seasonal and weather changes will enable the model to track dynamic changes in the ocean, such as thermocline formation and breakdown and changes in salinity currents, which is especially important for long-term and climate modeling.

The presented system of equations (1) and conditions (2) models the dynamic behavior and thermodynamic processes in the baroclinic ocean, considering hydrostatic equilibrium and the influence of external forces.

Using the above method in works [3,4], the system of equations (1) is reduced to the following

$$\begin{aligned} \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{v}\nabla)\vec{u} &= \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial z^2} + \mu \Delta \vec{u} - \vec{\nabla} \xi - [\vec{\ell} \times \vec{u}] + \nabla h(x, y, z, \theta), \\ \int_0^H \operatorname{div} \vec{u} dz &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + (\vec{v}\nabla)\theta = \lambda_0 \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + \lambda \Delta \theta.$$

$$\xi = p|_{z=0}, \quad \int_{D_0} \xi dx dy = 0, \quad \frac{\partial \xi}{\partial z} = 0, \quad (4)$$

$$\vec{v} = \left(u, v, - \int_0^z \operatorname{div} \vec{u} dz \right)$$

This modification of the system of equations (1) makes it possible to more accurately simulate the movement of water in a baroclinic ocean, taking into account additional effects, such as changes in water volume and the impact of external factors on the system's dynamics.

Along with problems (2) and (3), we consider in the domain Q_2 the following system with a small parameter:

$$\frac{\partial \vec{u}^\varepsilon}{\partial t} + (\vec{v}^\varepsilon \nabla) \vec{u}^\varepsilon = \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{u}^\varepsilon}{\partial z^2} + \mu \Delta \vec{u}^\varepsilon - \vec{\nabla} \xi^\varepsilon - [\vec{\ell} \times \vec{u}^\varepsilon] + \nabla h(x, y, z, \theta) - \frac{\eta(x)}{\varepsilon} \vec{u}^\varepsilon, \quad (5)$$

$$\int_0^H \operatorname{div} \bar{u} dz = 0, \quad \frac{\partial \xi^\varepsilon}{\partial z} = 0, \quad \int_{D_2} \xi^\varepsilon dx dy = 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial \theta^\varepsilon}{\partial t} + (\vec{v}^\varepsilon \nabla) \theta^\varepsilon = \lambda_0 \frac{\partial^2 \theta^\varepsilon}{\partial z^2} + \lambda \Delta \theta^\varepsilon - \frac{\eta(x)}{\varepsilon} \theta^\varepsilon,$$

where the function $\eta(x)$ is given as follows:

$$\eta(x) = \begin{cases} 0, & x \in \Omega_0 \\ 1, & x \in \Omega_1 = \frac{\Omega_2}{\Omega_0} \end{cases}$$

The boundary conditions for systems (5) and (6) have the form:

$$\begin{aligned} \bar{u}^\varepsilon|_{t=0} &= \bar{u}^0(x, y, z), & \theta^\varepsilon|_{t=0} &= \theta^0(x, y, z), \\ \theta^\varepsilon|_{\partial D_2} &= 0, \quad \bar{u}^\varepsilon|_{\partial D_2} &= 0, & z \in [0, H], \end{aligned} \quad (7)$$

$$\frac{\partial \bar{u}^\varepsilon}{\partial z} \Big|_{z=0} = \frac{\partial \bar{u}^\varepsilon}{\partial z} \Big|_{z=H}, \quad (x, y) \in D_2.$$

Definition 1. A generalized solution to problem (5)-(7) is a pair of functions $\{\bar{u}^\varepsilon, \theta^\varepsilon\}$ such that

$$\begin{aligned} \bar{u}^\varepsilon(x, y, z, t) &\in L_\infty(0, T; \dot{V}_2^1(\Omega_2)) \cap L_2(0, T; \dot{V}_2^1(\Omega_2)), \\ \theta^\varepsilon(x, y, z, t) &\in L_\infty(0, T; \dot{W}_2^1(\Omega_2)) \cap L_2(0, T; \dot{W}_2^1(\Omega_2)), \end{aligned}$$

and satisfying the following integral identities:

$$\begin{aligned} \int_0^T \int_{\Omega_2} \left\{ \bar{u}^\varepsilon \bar{\varphi}_t + (\vec{v}^\varepsilon \nabla) \bar{\varphi} \bar{u}^\varepsilon - \mu_0 \bar{u}_z^\varepsilon \bar{\varphi}_z - \mu \nabla \bar{u}^\varepsilon \bar{\varphi} - [\vec{\ell} \times \bar{u}] \bar{\varphi} - \frac{\eta}{\varepsilon} \bar{u}^\varepsilon \bar{\varphi} - h \operatorname{div} \bar{\varphi} \right\} dx dy dz dt + \\ + \int_{\Omega_2} \bar{u}^0 \bar{\varphi}|_{t=0} dz dy dz = 0, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \int_0^T \int_{\Omega_2} \left\{ \theta^\varepsilon \psi_t + (\vec{v}^\varepsilon \nabla) \psi \theta^\varepsilon - \lambda_0 \theta_z^\varepsilon \psi_z - \lambda \nabla \theta^\varepsilon \psi - \frac{\eta}{\varepsilon} \theta^\varepsilon \psi \right\} dx dy dz dt + \\ + \int_{\Omega_2} \theta^0 \psi|_{t=0} dz dy dz = 0, \end{aligned}$$

for any

$$\bar{\varphi}(x, y, z, t) \in C^1(0, T; \dot{V}_2^1(\Omega_2)), \quad \psi(x, y, z, t) \in C^1(0, T; \dot{W}_2^1(\Omega_2)),$$

such that $\bar{\varphi}|_{t=T} = 0, \psi|_{t=T} = 0$.

Let us obtain a priori estimates of solutions. Assuming in identities (8) $\bar{\varphi} = \bar{u}^\varepsilon, \psi = \theta^\varepsilon$, we obtain

$$\begin{aligned} & \max_{0 \leq t \leq T} \left\{ \|\bar{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \|\theta^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_2)}^2 \right\} + \mu_0 \|\bar{u}_z^\varepsilon\|_{L_2(Q_2)}^2 + \lambda_0 \|\theta_z^\varepsilon\|_{L_2(Q_2)}^2 + \mu \|\nabla \bar{u}^\varepsilon\|_{L_2(Q_2)}^2 \\ & \quad + \lambda \|\nabla \theta^\varepsilon\|_{L_2(Q_2)}^2 + \\ & \quad + \frac{1}{\varepsilon} \left\{ \int_0^T \int_{\Omega_2} [(\theta^\varepsilon)^2 + (\bar{u}^\varepsilon)^2] dx dy dz dt \right\} \leq C \{ \|h\|_{L_2(Q_2)}^2 + \|\bar{u}^\circ\|_{L_2(Q_2)}^2 + \|\theta^\circ\|_{L_2(Q_2)}^2 \}. \end{aligned}$$

Now from the inequality $\|h\|_{L_2(Q_2)} \leq C(\|\theta^2\|_{L_2(Q_2)} + 1)$, we obtain the estimate

$$\begin{aligned} & \max_{0 \leq t \leq T} \left\{ \|\bar{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \|\theta^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_2)}^2 \right\} + \mu_0 \|\bar{u}_z^\varepsilon\|_{L_2(Q_2)}^2 + \lambda_0 \|\theta_z^\varepsilon\|_{L_2(Q_2)}^2 + \mu \|\nabla \bar{u}^\varepsilon\|_{L_2(Q_2)}^2 + \lambda \|\nabla \theta^\varepsilon\|_{L_2(Q_2)}^2 \\ & \quad + \\ & \quad + \frac{1}{\varepsilon} (\|\bar{u}^\varepsilon\|_{L_2(Q_1)}^2 + \|\theta^\varepsilon\|_{L_2(Q_1)}^2) \leq C (\|\bar{u}^\circ\|_{L_2(Q_2)}^2 + \|\theta^\circ\|_{L_2(Q_2)}^2), \end{aligned} \tag{9}$$

where $Q_1 = \Omega_1 \times [0, T]$.

Lemma 1. Let $\bar{u}^\circ(x, y, z) \in \dot{V}_2^1(\Omega_2)$, $\theta^\circ(x, y, z) \in \dot{W}_2^1(\Omega_2)$. Then estimates (9) and

$$\|\bar{u}_t^\varepsilon\|_{L_{4/3}(0, T; \dot{V}_2^1(\Omega_2))} + \|\theta_t^\circ\|_{L_{4/3}(0, T; \dot{W}_2^1(\Omega_2))} \leq C_1 \varepsilon, \tag{10}$$

where $C_1 \varepsilon \rightarrow \infty$ at $\varepsilon \rightarrow 0$.

Proof. We get (10). To do this, multiply (5), (6) by $\bar{\varphi}(x, y, z, t) \in L_4(0, T; \dot{V}_2^1(\Omega_2))$ and $\psi(x, y, z, t) \in L_4(0, T; W_2^2(\Omega_2) \cap \dot{W}_2^1(\Omega_2))$ respectively. We have

$$\begin{aligned} \int_{Q_2} \bar{u}_t^\varepsilon \bar{\varphi} dQ_2 &= \int_{Q_2} (\bar{v}^\varepsilon \nabla) \bar{\varphi} \bar{u}^\varepsilon dQ_2 \\ & - \int_{Q_2} [\mu_0 \bar{u}_z^\varepsilon \bar{\varphi}_z + \mu \nabla \bar{u}^\varepsilon \nabla \bar{\varphi} + [\bar{\ell} \times \bar{u}^\varepsilon] \bar{\varphi} + \frac{\eta}{\varepsilon} \bar{u}^\varepsilon \bar{\varphi} + h \operatorname{div} \bar{\varphi}] dQ_2, \end{aligned} \tag{11}$$

$$\int_{Q_2} \theta_t^\varepsilon \psi dQ_2 = \int_{Q_2} (\bar{v}^\varepsilon \nabla) \psi \theta^\varepsilon dQ_2 - \int_{Q_2} \left[\lambda_0 \theta_z^\varepsilon \psi + \lambda \nabla \theta^\varepsilon \psi + \frac{1}{\varepsilon} \theta^\varepsilon \psi \right] dQ_2. \tag{12}$$

Let us consider identities (11), (12) as the relation of linear functionals over the spaces $\dot{V}_2^1(\Omega_2)$ and $W_2^2(\Omega_2) \cap \dot{W}_2^1(\Omega_2)$.

$$\int_0^T [L_0(t), \bar{\varphi}(t)]_{\Omega_2} dt = \int_0^T [L_1(t), \bar{\varphi}(t)]_{\Omega_2} dt + \int_0^T [L_2(t), \bar{\varphi}(t)]_{\Omega_2} dt \tag{13}$$

$$\int_0^T [L_3(t), \bar{\varphi}(t)]_{\Omega_2} dt = \int_0^T [L_4(t), \bar{\varphi}(t)]_{\Omega_2} dt + \int_0^T [L_5(t), \bar{\varphi}(t)]_{\Omega_2} dt \tag{14}$$

Let us estimate the functional $L_0(t)$. To do this, we note that the inequalities take place

$$\begin{aligned}
 |[L_1(t), \vec{\varphi}(t)]_{\Omega_2}| &= \left| \int_{\Omega_2} (\vec{v}^\varepsilon \nabla) \vec{\varphi} \vec{u}^\varepsilon dx dy dz \right| \leq C \|v^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_2)} \times \|\vec{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_2)} \times \|\nabla \vec{\varphi}\|_{L_2(\Omega_2)} \leq \\
 &\leq C \|v^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_2)} \times \|\vec{\nabla} \vec{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_2)}^{\frac{1}{2}} \times \|\vec{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_2)}^{\frac{1}{2}} \times \|\vec{\varphi}\|_{W_2^2(\Omega_2)} \\
 &\leq C \|\vec{\nabla} \vec{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_2)}^{\frac{3}{2}} \times \|\vec{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_2)}^{\frac{1}{2}} \times \|\vec{\varphi}\|_{W_2^2(\Omega_2)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 |[L_2(t), \vec{\varphi}(t)]_{\Omega_2}| &= \left| \int_{\Omega_2} \left[\mu_0 \vec{u}_z^\varepsilon \vec{\varphi}_z + \mu \nabla \vec{u}^\varepsilon \nabla \vec{\varphi} + [\vec{\ell} \times \vec{u}^\varepsilon] \vec{\varphi} + \frac{\eta(x)}{\varepsilon} \vec{u}^\varepsilon \vec{\varphi} + h \operatorname{div} \vec{\varphi} \right] dx dy dz \right| \leq \\
 &\leq C \left(\|\vec{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_2)} + \|\vec{\nabla} \vec{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_2)} + \|h\|_{L_2(\Omega_2)} \right) \|\vec{\varphi}\|_{W_2^1(\Omega_2)} + \frac{1}{\varepsilon} \|\vec{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_2)} \|\vec{\varphi}\|_{L_2(\Omega_2)} \\
 &\leq C_2 \varepsilon \|\vec{\varphi}\|_{W_2^1(\Omega_2)}
 \end{aligned}$$

From these inequalities and Hölder's inequalities, the following:

$$\begin{aligned}
 \int_0^T [L_1(t), \vec{\varphi}(t)]_{\Omega_2} dt &\leq C \max_{0 \leq t \leq T} \|\vec{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_2)}^{\frac{1}{2}} \left[\int_0^T \|\vec{\nabla} \vec{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_2)}^2 \right]^{\frac{3}{4}} \times \left[\int_0^T \|\vec{\varphi}\|_{W_2^2(\Omega_2)}^4 \right]^{\frac{1}{4}}, \\
 \int_0^T [L_2(t), \vec{\varphi}(t)]_{\Omega_2} dt &\leq C_3 \varepsilon \left[\int_0^T \|\vec{\varphi}\|_{W_2^2(\Omega_2)}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \leq C_4 \varepsilon \left[\int_0^T \|\vec{\varphi}\|_{W_2^2(\Omega_2)}^4 \right]^{\frac{1}{4}}
 \end{aligned}$$

By Riesz's theorem on the representation of a linear functional

$$\begin{aligned}
 \|L_1(t)\|_{L_{4/3}(0,T;W_2^{-2}(\Omega_2))} &= \sup_{\vec{\varphi} \in L_4(0,T;V_2^2(\Omega_2))} \frac{\left| \int_0^T [L_1(t), \vec{\varphi}]_{\Omega_2} dt \right|}{\|\vec{\varphi}\|_{L_4(0,T;V_2^2(\Omega_2))}} \leq C_5 \varepsilon, \\
 \|L_2(t)\|_{L_{4/3}(0,T;W_2^{-2}(\Omega_2))} &= \sup_{\vec{\varphi} \in L_4(0,T;V_2^2(\Omega_2))} \frac{\left| \int_0^T [L_2(t), \vec{\varphi}]_{\Omega_2} dt \right|}{\|\vec{\varphi}\|_{L_4(0,T;V_2^2(\Omega_2))}} \leq C_4 \varepsilon,
 \end{aligned}$$

and from equality

$$L_0(t) = L_1(t) + L_2(t),$$

Should

$$\|L_0(t)\|_{L_{4/3}(0,T;W_2^{-2}(\Omega_2))} \leq C_6 \varepsilon, \quad C_6 \varepsilon \rightarrow \infty \text{ при } \varepsilon \rightarrow 0.$$

Using Riesz's theorem again, we obtain

$$\|\vec{u}_t^\varepsilon\|_{L_{4/3}(0,T;W_2^{-2}(\Omega_2))} \leq C_6 \varepsilon$$

Consider in the domain Ω_2 the linear operator

$$L\bar{w} = \mu_0 \bar{w}_{zz} + \mu_1 \Delta \bar{w} - \nabla \xi,$$

acting over the space $\dot{V}_2(\Omega_2)$.

It is known that the operator L is closed, symmetric, and its range of values fills the entire space $\dot{V}_2(\Omega_2)$, so it is self-adjoint. Since the set of functions bounded in $\dot{V}_2^1(\Omega_2)$ is compact in $\dot{V}_2(\Omega_2)$, then the operator L^{-1} is completely continuous.

From these properties of the operator $L[\bar{w}]$ it follows that the spectrum $\gamma = \gamma_1, \gamma_2, \dots$ is discrete, its negativity, finite multiplicity, tendency $\lambda_k, k \rightarrow \infty$, orthogonality and completeness of eigenfunctions in the metric $L_2(\Omega_2)$ and $\dot{V}_2(\Omega_2)$.

The eigenfunctions \bar{w}_j are solutions to the problems

$$\begin{aligned} L\bar{w}_j &= \mu_0 \bar{w}_{jzz} + \mu_1 \Delta \bar{w}_j - \nabla \xi_j = \gamma_j \bar{w}_j, \\ \int_0^H \operatorname{div} \bar{w}_j dz &= 0, \quad \bar{w}_j|_{\partial D_0} = 0, \quad z \in [0, H], \\ \frac{\partial \bar{w}_j}{\partial z} \Big|_{z=H} &= \bar{w}_j|_{z=0} = 0, \quad (x, y) \in D_2 \end{aligned} \quad (15)$$

Inside the region Ω_2 they are infinitely differentiable. The smoothness near the boundary $\partial\Omega_2$ is determined by the smoothness ∂D_2 .

Theorem 1. Let $\bar{u}^0(x, y, z) \in L_2(\Omega_2)$, $\theta^0(x, y, z) \in L_2(\Omega_2)$. Then problem (5)-(7) has at least one generalized solution and estimates (9), (10) are valid.

We will carry out the proof using the Galerkin method. We will look for approximate solutions $\bar{u}_\varepsilon^N(x, y, z, t)$ in the form of finite sums

$$\bar{u}_\varepsilon^N(x, y, z, t) = \sum_{k=1}^N a_{Nk}(t) \cdot \bar{w}_k(x, y, z), \quad (16)$$

where \bar{w}_k – is the basis $\dot{V}_2(\Omega_2)$ from the solutions of problem (15) orthonormalized in $L_2(\Omega_2)$. We will find the functions $\theta_\varepsilon^N(x, y, z, t)$ as generalized solutions to the problem

$$\theta_{\varepsilon t}^N + (\bar{v}_\varepsilon^N \cdot \bar{\nabla}) \theta_\varepsilon^N = \lambda_0 \theta_{\varepsilon zz}^N + \lambda \Delta \theta_\varepsilon^N - \frac{\eta}{\varepsilon} \theta_\varepsilon^N, \quad (17)$$

where

$$\bar{v}_\varepsilon^N = (u_\varepsilon^N, v_\varepsilon^N, -\int_0^z \operatorname{div} u_\varepsilon^N dz) \quad (18)$$

To determine the coefficients $a_{Nk}(t)$, we require that relation (18) be satisfied

$$\int_{\Omega_2} \left\{ [\bar{u}_\varepsilon^N + (\bar{v}_\varepsilon^N \cdot \bar{\nabla}) \bar{u}_\varepsilon^N] \bar{w}_j + \mu_0 \bar{u}_{\varepsilon z}^N \bar{w}_{jz} + \mu \nabla \bar{u}_\varepsilon^N \nabla \bar{w}_j + [\bar{\ell} \times \bar{u}_\varepsilon^N] \bar{w}_j + h(\theta^{N-1}) \operatorname{div} \bar{w}_j + \frac{\eta}{\varepsilon} \bar{u}_\varepsilon^N \nabla \bar{w}_j \right\} d\Omega_2 = 0,$$

which is a system of N ordinary differential equations [5]

$$\sum_{k=1}^N \frac{da_{Nk}(t)}{dt} + \sum_{i,k=1}^N \beta_{ijk} a_{Ni} a_{Nk} + \sum_{k=1}^N \gamma_{jk} C_{Nk} = f_N^j,$$

$$j = 1, 2, \dots, N,$$

where

$$\beta_{ijk} = \int_{\Omega_2} (\vec{w}_j \cdot \nabla) \vec{w}_i \vec{w}_k dx dy dz,$$

$$\gamma_{jk} = \int_{\Omega_2} \left[\mu_0 \vec{w}_{jz} \vec{w}_{kz} + \mu \nabla \vec{w}_j \nabla \vec{w}_k + [\vec{\ell} \times \vec{w}_j] \vec{w}_k + \frac{\eta}{\varepsilon} \vec{w}_j \vec{w}_k \right] dy dx dz,$$

$$f_N^i = - \int_{\Omega_2} h(\theta^{N-1}) \operatorname{div} \vec{w}_j dx dy dz$$

The initial data for equation (18) are taken from the expansion of $\vec{u}^0(x, y, z)$ over the basis $\{\vec{w}_j\}$

$$\vec{u}^0 = \sum_{j=1}^{\infty} a_j \vec{w}_j, \quad a_j = \int_{\Omega_2} \vec{u}^0 \vec{w}_j dx dy dz,$$

in the following way

$$a_{Nk}(0) = a_k, \quad k = 1, 2, 3, \dots, N \quad (19)$$

Lemma 2. For any $N = 1, 2, \dots$ there is a unique solution $\{\vec{u}_\varepsilon^N, \theta_\varepsilon^N\}$ to problem (16)-(19) and the estimate uniform in N is valid

$$\begin{aligned} & \max_{0 \leq t \leq T} \|\vec{u}_\varepsilon^N\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \mu_0 \|\vec{u}_\varepsilon^N\|_{L_2(Q_2)}^2 + \mu \|\vec{u}_\varepsilon^N\|_{L_2(Q_2)}^2 + \frac{1}{\varepsilon} \|\vec{u}_\varepsilon^N\|_{L_2(Q_1)}^2 + \\ & + \max_{0 \leq t \leq T} \|\theta_\varepsilon^N\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \lambda_0 \|\theta_\varepsilon^N\|_{L_2(Q_2)}^2 + \lambda \|\theta_\varepsilon^N\|_{L_2(Q_2)}^2 + \frac{1}{\varepsilon} \|\theta_\varepsilon^N\|_{L_2(Q_1)}^2 \leq \\ & \leq C(\|\vec{u}^0\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \|\theta^0\|_{L_2(\Omega_2)}^2). \end{aligned} \quad (20)$$

Proof. Multiplying equation (17) by θ_ε^N and integrating by parts, we have

$$\max_{0 \leq t \leq T} \|\theta_\varepsilon^N\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \lambda_0 \|\theta_\varepsilon^N\|_{L_2(Q_2)}^2 + \lambda \|\theta_\varepsilon^N\|_{L_2(Q_2)}^2 + \frac{1}{\varepsilon} \|\theta_\varepsilon^N\|_{L_2(Q_1)}^2 \leq C \|\theta^0\|_{L_2(\Omega_2)}^2 \quad (21)$$

Next, multiplying the j^{th} equation of system (18) by $C_j(t)$ and summing over j from 1 to N , we arrive at the inequality

$$\begin{aligned} & \max_{0 \leq t \leq T} \|\vec{u}_\varepsilon^N\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \mu_0 \|\vec{u}_\varepsilon^N\|_{L_2(Q_2)}^2 + \mu \|\vec{u}_\varepsilon^N\|_{L_2(Q_2)}^2 + \frac{1}{\varepsilon} \|\vec{u}_\varepsilon^N\|_{L_2(Q_1)}^2 \\ & \leq C(\|\vec{u}^0\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \|h\theta^{N-1}\|_{L_2(Q_2)}^2) \end{aligned}$$

This equation and (21) give an estimate (20).

Let us show the solvability of a problem (16)-(19). To do this, we choose in the space $C(0, T)$ a bounded convex set

$$k = \{\vec{\varphi}(t); |\vec{\varphi}| \leq C_1, \quad \varphi_i(0) = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, N\}$$

Let's form a vector

$$\Phi = \sum_{i=1}^N \varphi_i \vec{w}_i$$

Let's find a solution to the problem

$$\tilde{\theta}_t + (\bar{\Phi}^* \cdot \bar{\nabla})\tilde{\theta} = \lambda_0 \tilde{\theta}_{zz} + \lambda \Delta \tilde{\theta} - \frac{\eta}{\varepsilon} \tilde{\theta},$$

$$\tilde{\theta}|_{t=0} = \theta^0,$$

where

$$\bar{\Phi}^* = \left(\Phi_1, \Phi_2, - \int_0^z \operatorname{div} \bar{\Phi} dz \right).$$

The theory of boundary value problems for parabolic equations guarantees the existence and uniqueness of a solution

$$\tilde{\theta}(x, y, z, t) \in L_\infty(0, T; L_2(\Omega_2)) \cap L_2(0, T; W_2^1(\Omega_2))$$

We use the found function $\tilde{\theta}$ to solve the system

$$\begin{aligned} & \int_{\Omega_2} \{ [\tilde{\Phi}_t + (\bar{\Phi}^* \cdot \nabla)\tilde{\Phi}] \bar{w}_j + \mu_0 \tilde{\Phi}_z \bar{w}_{jz} + \mu \nabla \tilde{\Phi} \nabla \bar{w}_j + \\ & + [\bar{\ell} \times \tilde{\Phi}] \bar{w}_j + h(\tilde{\theta}) \operatorname{div} \bar{w}_j + \frac{\eta}{\varepsilon} \tilde{\Phi} \bar{w}_j \} d\Omega_2 \end{aligned} \quad (22)$$

Solvability of the Cauchy problem

$$\tilde{\varphi}_i(0) = \int_{\Omega_2} \tilde{\Phi} \bar{w}_i dx dy dz = a_i(0),$$

This system follows the theory of ordinary differential equations. Let us denote its solution $\tilde{\varphi}(t)$.

Thus, the mapping $\Lambda: k \rightarrow C(0, T)$ is constructed. Estimate (20) guarantees that the set k is mapped into itself. Let us check that the mapping $\Lambda: k \rightarrow k$ is compact. To do this, multiply (22) by $\frac{\partial \tilde{\varphi}_j}{\partial t}$ and sum over j . We get

$$\begin{aligned} & \|\tilde{\Phi}_t\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \left[\mu_0 \|\tilde{\Phi}_z\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \mu \|\nabla \tilde{\Phi}\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \frac{\eta}{\varepsilon} \|\tilde{\Phi}\|_{L_2(\Omega_2)}^2 \right] \leq \\ & \leq - \int_{\Omega_2} \{ [\bar{\ell} \times \tilde{\Phi}] \tilde{\Phi}_t + (\bar{\Phi}^* \cdot \nabla) \tilde{\Phi} \cdot \tilde{\Phi}_t + \nabla h(\tilde{\theta}) \tilde{\Phi}_t \} dx dy dz, \end{aligned}$$

From here, we have

$$\begin{aligned} & \|\tilde{\Phi}_t\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \left[\mu_0 \|\tilde{\Phi}_z\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \mu \|\nabla \tilde{\Phi}\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \frac{\eta}{\varepsilon} \|\tilde{\Phi}\|_{L_2(\Omega_2)}^2 \right] \leq \\ & \leq C \left(\|\Phi\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \|\tilde{\Phi}^*\|_{C(\Omega_2)}^2 \times \|\nabla \tilde{\Phi}\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \|\nabla h\|_{L_2(\Omega_2)}^2 \right) \end{aligned}$$

Since the basis functions are smooth, $\|\tilde{\Phi}^*\|_{C(\Omega_2)}^2 \leq C_2$, then the inequality is true

$$\|\tilde{\Phi}_t\|_{L_2(\Omega_2)}^2 \leq C_2$$

Thus, we have obtained that the operator Λ takes the bounded set k from $C(0, T)$ to a set from $W_2^1(0, T)$, which, by the embedding theorem, is compact in $C(0, T)$. This means that it is completely continuous, and, therefore, satisfies all the requirements of Schauder's theorem [4], and has a fixed point. From the construction it is clear that it is unique. Lemma 2 is proven.

It is easy to verify that for the approximations $\{\bar{u}_\varepsilon^N, \theta_\varepsilon^N\}$ Lemma 2 is true, i.e. there is an assessment

$$\|\bar{u}_{\varepsilon t}^N\|_{L_4(0, T; V_2^{-2}(\Omega_2))} + \|\theta_{\varepsilon t}^N\|_{L_4(0, T; W_2^{-2}(\Omega_2))} \leq C_\varepsilon \quad (23)$$

Estimates (20), (23) guarantee that from the sequence $\{\bar{u}_\varepsilon^N, \theta_\varepsilon^N\}$ one can select sequences $\{\bar{u}_\varepsilon^N, \theta_\varepsilon^N\}$ that converge as $N \rightarrow \infty$: weakly in $\{L_2(0, T; \dot{V}_2^1(\Omega_2)), L_2(0, T; \dot{W}_2^1(\Omega_2))\}$, weakly in $\{L_\infty(0, T; \dot{V}_2(\Omega_2)), L_\infty(0, T; L_2(\Omega_2))\}$, strongly in $\{L_2(0, T; L_2(\Omega_2)), L_2(0, T; L_2(\Omega_2))\}$.

These properties of the approximations allow us to go to the limit as $N \rightarrow \infty$ in identities the (8) written for $\bar{u}_\varepsilon^N, \theta_\varepsilon^N$. This means that the limit functions $\bar{u}^\varepsilon, \theta^\varepsilon$ satisfy identities (8) and, therefore, are a generalized solution to problem (5)-(7). Theorem 1 is proven.

Let us pay attention to the fact that the approximations $\{\bar{u}_\varepsilon^N, \theta_\varepsilon^N\}$, constructed in the proof of the theorem, have the same properties concerning N and ε (except for the latter). This allows us to go to the limit in integral identities as $\varepsilon \rightarrow 0$, and thus obtain that the limit $\{\bar{u}, \theta\}$ of the sequence $\bar{u}_\varepsilon^N, \theta_\varepsilon^N$ is a generalized solution to problem (2)-(4).

Let us estimate the rate of convergence of solutions as $\varepsilon \rightarrow 0$.

Let us continue the functions \bar{u}, θ into the region D_1 by zero. The functions $\bar{\varphi}, \psi$ from identities (8) satisfy the relations

Let us pay attention to the fact that the approximations $\{\bar{u}_\varepsilon^N, \theta_\varepsilon^N\}$, constructed in the proof of the theorem,

$$\begin{aligned} & \int_{Q_2} \{\bar{u}_t \bar{\varphi} + (\bar{v} \cdot \nabla) \bar{u} \bar{\varphi} + \mu_0 \bar{u}_z \bar{\varphi}_z + \mu \nabla \bar{u} \nabla \bar{\varphi} + [\bar{\ell} \times \bar{u}] \varphi - \nabla h(\theta) \bar{\varphi}\} dx dy dz dt - \\ & - \int_0^T \int_{\partial \Omega_0} \left[\frac{\partial \bar{u}}{\partial n} \bar{\varphi} + \xi \bar{\varphi} \cdot \bar{n} \right] d(\partial \Omega_0) dt = 0 \end{aligned} \quad (24)$$

$$\int_{Q_2} \{\theta_t \psi + (\bar{v} \cdot \nabla) \theta \psi + \lambda_0 \theta_z \psi_z + \lambda \nabla \theta \nabla \psi\} dx dy dz dt - \int_0^T \int_{\partial \Omega_0} \frac{\partial \theta}{\partial n} \psi d(\partial \Omega_0) dt = 0$$

For the difference $\bar{w} = \bar{u}^\varepsilon - \bar{u}, \eta = \theta^\varepsilon - \theta$ it is true

$$\begin{aligned} & \int_{Q_1} \{\bar{w}_t \bar{\varphi} + (\bar{v}^\varepsilon \cdot \nabla) \bar{u}^\varepsilon \bar{\varphi} - (\bar{v} \cdot \nabla) \bar{u} \bar{\varphi} + \mu_0 \bar{w}_z \bar{\varphi}_z + \mu \nabla \bar{w} \nabla \bar{\varphi} + [\bar{\ell} \times \bar{w}] \bar{\varphi} \\ & + \nabla [h(\theta^\varepsilon) - h(\theta)] \bar{\varphi}\} dx dy dz dt = \\ & = \int_0^T \int_{\partial \Omega_0} \left[\frac{\partial \bar{u}}{\partial n} \bar{\varphi} + \xi \bar{\varphi} \cdot \bar{n} \right] d(\partial \Omega_0) dt, \end{aligned} \quad (25)$$

$$\int_{Q_2} \{\eta_t \psi + [(\bar{v}^\varepsilon \cdot \nabla) \theta^\varepsilon - (\bar{v} \cdot \nabla) \theta] \varphi + \lambda_0 \eta_z \psi_z + \lambda \nabla \eta \nabla \psi\} dx dy dz dt = \int_0^T \int_{\partial \Omega_0} \frac{\partial \theta}{\partial n} \psi d(\partial \Omega_0) dt = 0$$

Assuming in (25) $\bar{\varphi} = \bar{w}, \psi = \eta$ we have

$$\frac{1}{2} \|\bar{W}(t)\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \mu_0 \|\bar{w}_z\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \mu \|\nabla \bar{w}_z\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \frac{1}{2} \|\eta(t)\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \lambda_0 \|\eta_z\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \lambda \|\eta\|_{L_2(\Omega_2)}^2 \leq \tag{26}$$

$$\begin{aligned} &\leq \left| \int_{Q_2} \{(\bar{v}^\varepsilon \cdot \nabla) \bar{u}^\varepsilon \bar{w} - (\bar{v} \cdot \nabla) \bar{u} \bar{w} + \nabla[h(\theta^\varepsilon) - h(\theta)] \bar{w}\} dx dy dz dt \right| + \\ &+ \left| \int_0^T \int_{\partial\Omega_0} \left[\frac{\partial \bar{u}}{\partial n} \bar{w} + \xi \bar{w} \cdot \bar{n} \right] d(\partial\Omega_0) dt \right| + \left| \int_0^T \int_{\partial\Omega_0} \frac{\partial \theta}{\partial n} \eta d(\partial\Omega_0) dt \right| + \\ &+ \left| \int_{Q_2} \{(\bar{v}^\varepsilon \cdot \nabla) \theta^\varepsilon \eta - (\bar{v} \cdot \nabla) \theta \eta\} dx dy dz dt \right| \end{aligned}$$

Let us estimate the boundary integrals

$$\begin{aligned} &\left| \int_0^T \int_{\partial\Omega_0} \frac{\partial \bar{u}}{\partial n} \bar{w} d(\partial\Omega_0) dt \right| \leq \int_0^T \left\| \frac{\partial \bar{u}}{\partial n} \right\|_{L_2(\partial\Omega_0)} \|\bar{w}\|_{L_2(\partial\Omega_0)} dt \leq \\ &\leq C \int_0^T \|\Delta \bar{u}\|_{L_2(\Omega_0)} \|\nabla \bar{w}\|_{L_2(\Omega_2)}^{\frac{1}{2}} \|\bar{w}\|_{L_2(\Omega_2)}^{\frac{1}{2}} dt \leq C \|\nabla \bar{w}\|_{L_2(\Omega_2)}^{\frac{1}{2}} \|\Delta \bar{u}\|_{L_2(\Omega_0)}^{\frac{1}{2}} \|\bar{w}\|_{L_2(\Omega_2)}^{\frac{1}{2}} \leq \\ &\leq \frac{\delta_1}{4} \|\nabla \bar{w}\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + C \delta_1^{-1} \|\nabla \bar{u}\|_{L_2(\Omega_0)}^{\frac{4}{3}} \left[\|\bar{w}\|_{L_2(\Omega_0)}^{\frac{2}{3}} + \|\bar{w}\|_{L_2(\Omega_1)}^{\frac{2}{3}} \right] \\ &\left| \int_0^T \int_{\partial\Omega_0} \frac{\partial \theta}{\partial n} \eta d(\partial\Omega_0) dt \right| \leq \frac{\delta_2}{4} \|\nabla \eta\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + C \delta_2^{-1} \|\nabla \theta\|_{L_2(\Omega_0)}^{\frac{4}{3}} \left[\|\eta\|_{L_2(\Omega_0)}^{\frac{2}{3}} + \|\eta\|_{L_2(\Omega_1)}^{\frac{2}{3}} \right] \\ &\left| \int_0^T \int_{\partial\Omega_0} \xi \bar{w} n d(\partial\Omega_0) dt \right| \leq \frac{\delta_3}{4} \|\nabla \bar{w}\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + C \delta_3^{-1} \|\nabla \xi\|_{L_2(\Omega_0)}^{\frac{4}{3}} \left[\|\bar{w}\|_{L_2(\Omega_0)}^{\frac{2}{3}} + \|\bar{w}\|_{L_2(\Omega_1)}^{\frac{2}{3}} \right] \end{aligned}$$

We estimate the integrals over the area as follows:

$$\begin{aligned} &\left| \int_{Q_2} [(\bar{v}^\varepsilon \cdot \nabla) \bar{u}^\varepsilon \bar{w} - (\bar{v} \cdot \nabla) \bar{u} \bar{w}] dx dy dz dt \right| = \left| \int_{Q_2} \left[(\bar{v} \cdot \nabla) \frac{\bar{w}^2}{2} + (\bar{w} \cdot \nabla) \bar{u}^\varepsilon \bar{w} \right] dx dy dz dt \right| = \\ &= \left| \int_{Q_2} (\bar{w} \cdot \nabla) \bar{u}^\varepsilon \bar{w} dx dy dz \right| \leq C \|\bar{w}\|_{L_4(\Omega_2)}^2 \|\nabla \bar{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_2)}^2 \leq \\ &\leq C \|\nabla \bar{w}\|_{L_2(\Omega_2)} \|\bar{w}\|_{L_2(\Omega_2)} \|\nabla \bar{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_2)} \\ &\leq \frac{\delta_4}{2} \|\nabla \bar{w}\|_{L_4(\Omega_2)}^2 + C \delta_4^{-1} \|\nabla \bar{u}^\varepsilon\|_{L_2(\Omega_2)}^2 \left[\|\bar{w}\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \|\bar{w}\|_{L_2(\Omega_1)}^2 \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \left| \int_{Q_2} [(\vec{v}^\varepsilon \cdot \nabla)\theta^\varepsilon \eta - (\vec{v} \cdot \nabla)\theta \eta] dx dy dz dt \right| = \left| \int_{Q_2} (\vec{w} \cdot \nabla)\theta^\varepsilon \eta dx dy dz dt \right| \leq \\
 & \leq \frac{\delta_5}{2} \|\nabla \vec{w}\|_{L_2(Q_2)}^2 + C \delta_5^{-1} \|\nabla \theta^\varepsilon\|_{L_2(Q_2)}^2 [\|\vec{w}\|_{L_2(Q_0)}^2 + \|\vec{w}\|_{L_2(Q_1)}^2] \\
 & \left| \int_{Q_2} \nabla[h(\theta^\varepsilon) - h(\theta)] \vec{w} dx dy dz dt \right| = \\
 & = \left| - \int_{Q_2} h' [\gamma \theta^\varepsilon + (1 - \gamma)\theta] \cdot \eta \times \operatorname{div} \vec{w} dx dy dz dt + \int_0^T \int_{\partial \Omega_0} h(\theta) \vec{w} \cdot n d(\partial \Omega_0) dt \right| \leq \\
 & \leq \delta_6 \|\nabla \vec{w}\|_{L_2(Q_2)}^2 \\
 & \quad + C \delta_6^{-1} \left[|h'|^2 (\|\eta\|_{L_2(Q_0)}^2 + \|\eta\|_{L_2(Q_1)}^2) \right. \\
 & \quad \left. + \left(\|\vec{w}\|_{L_2(Q_0)}^{\frac{2}{3}} + \|\vec{w}\|_{L_2(Q_1)}^{\frac{2}{3}} \right) |h'|^2 \|\nabla \theta\|_{L_2(Q_1)}^{\frac{4}{3}} \right]
 \end{aligned}$$

Thus, for sufficiently small δ_i , $i = 1, 2, \dots, 6$, excluding from the right side of the norm $\|\vec{w}\|_{L_2(Q_0)}$, $\|\eta\|_{L_2(Q_0)}$ we get the inequality

$$\begin{aligned}
 & \max_{0 \leq t \leq T} \{ \|\vec{w}\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \|\eta\|_{L_2(\Omega_2)}^2 \} + \mu_0 \|\vec{w}_z\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \mu \|\nabla \vec{w}_z\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \lambda_0 \|\eta_z\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \\
 & + \lambda \|\nabla \eta\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \frac{1}{\varepsilon} (\|\vec{w}\|_{L_2(\Omega_1)}^2 + \|\eta\|_{L_2(\Omega_1)}^2) \\
 & \leq C_3 \left[\|\vec{w}\|_{L_2(\Omega_1)}^{\frac{2}{3}} + \|\eta\|_{L_2(\Omega_1)}^{\frac{2}{3}} + \|\vec{w}\|_{L_2(\Omega_1)}^2 + \|\eta\|_{L_2(\Omega_1)}^2 \right]
 \end{aligned}$$

from which it follows

$$\begin{aligned}
 & \max_{0 \leq t \leq T} \{ \|\vec{w}\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \|\eta\|_{L_2(\Omega_2)}^2 \} + \mu_0 \|\vec{w}_z\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \mu \|\nabla \vec{w}_z\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \lambda_0 \|\eta_z\|_{L_2(\Omega_2)}^2 + \\
 & + \lambda \|\nabla \eta\|_{L_2(\Omega_2)}^2 \leq C_4 \left[\varepsilon^{\frac{1}{3}} + \varepsilon \right].
 \end{aligned}$$

Thus, the following theorem is proven

Theorem 2. Let $\vec{u}^0(x, y, z) \in \dot{V}_2^1(\Omega_0)$, $\theta^0(x, y, z) \in W_2^1(\Omega_2)$, $\partial \Omega_0 \in C^2$. Then the following estimate holds

$$\begin{aligned}
 & \|\vec{u}^\varepsilon - \vec{u}\|_{L_\infty(0, T; V_2(\Omega_2))}^2 + \|\theta^\varepsilon - \theta\|_{L_\infty(0, T; L_2(\Omega_2))}^2 + \\
 & \|\vec{u}^\varepsilon - \vec{u}\|_{L_\infty(0, T; \dot{V}_2^1(\Omega_2))}^2 + \|\theta^\varepsilon - \theta\|_{L_\infty(0, T; W_2^1(\Omega_2))}^2 \leq C_5 \varepsilon^{\frac{1}{3}}
 \end{aligned}$$

Remark 1. The proposed method in [6] was used for numerical calculations. The calculation results show the technique's effectiveness when the region under consideration Ω_0 has a curvilinear boundary.

Results of the study

Quantitative estimates of model accuracy

To determine the accuracy and reliability of our model, we used the following mathematical methods and statistical analyses:

1. Standard deviation according to the formula:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2},$$

where x_i are the expected values of the model; y_i - observed data; n is the number of observations. Moreover, observed values are the real ocean temperature measured at various points; predicted values are results from our ocean model for the same points.

2. Pearson correlation coefficient

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}},$$

where \bar{x}, \bar{y} are the average values of the estimated and observed values, respectively.

Temperature data were taken at the end of spring in the temperate latitudes of the North Atlantic, off the European coast [1] (data are presented in Table 1).

Table 1. Temperature data

<i>N</i>	<i>Observed Temperature (y_i, °C)</i>	<i>Predicted Temperature (x_i, °C)</i>	<i>Error (°C)</i>
1	14,00	13,50	-0,50
2	15,20	14,80	-0,40
3	16,10	16,30	0,20
4	17,80	18,00	0,20
5	18,50	18,10	-0,40
6	19,00	19,40	0,40
7	20,20	20,00	-0,20
8	21,50	21,80	0,30
9	22,00	22,20	0,20
10	23,00	23,50	0,50
<i>Standard deviation</i>		0,349	
<i>Pearson correlation coefficient</i>		0,996407	

Thus, from the calculations obtained, the following conclusions can be drawn:

- the standard deviation showed that the model was in error by 0.349°C relative to the observed values, which is quite acceptable;
- the Pearson correlation coefficient between predicted and observed temperature values is 0.996, indicating a robust positive correlation. This result shows that the model reproduces observed temperatures very accurately, indicating high reliability and accuracy.

Discussion

Small-scale processes such as small-scale turbulence and internal waves significantly impact ocean dynamics and structure. These processes affect vertical and horizontal mixing, which, in turn, is critical to the accuracy of modeling parameters such as temperature, salinity, and water circulation.

Internal waves arise at the boundaries of different water densities and can transfer energy over long distances. In modeling, these waves are essential for predicting nutrient and biomass dynamics and understanding general water circulation processes. To account for internal waves in numerical models, a parameterization reproduces their effect on mixing and turbulence without the need to model each wave separately.

Our model uses the Navier-Stokes equations in the baroclinic formulation in equations (1) and (4) to describe internal waves. These equations allow us to consider the influence of changes in density caused by temperature and salt gradients on the dynamics of flows.

Small-scale turbulence plays a key role in the vertical and horizontal transport of heat, salts, and biochemicals. It is caused by viscous effects and flow instabilities and is described in our model by parameterizing the turbulent exchange of momentum and mass. The equations of motion (1) use the diffusion term $\mu\Delta u$, which models vertical and horizontal diffusion, which is important for describing turbulent processes on small scales.

The study's model integrates dynamic equations, taking into account the influence of small-scale processes through parameterization. These parameterizations allow the model to effectively reproduce the overall flow pattern without delving into each small-scale process separately. This approach helps balance computational efficiency and model accuracy.

Future versions of the model are considering introducing more complex turbulence schemes, such as turbulence kinetic energy equation (TKE) and mixed long-period scaling (LES) approaches, to improve the modeling of small-scale dynamics. These methods allow for a more accurate description of the distribution of turbulent energy and its interaction with averaged flow fields.

In addition, work remains to integrate observations of small-scale turbulent structures obtained using satellite technologies and autonomous underwater vehicles for model verification and calibration, improving the accuracy of forecasts of water mass dynamics at small scales.

Conclusion

This paper developed and analyzed a non-stationary model of baroclinic ocean motion using the fictitious domain method. The model covers key aspects of water mass dynamics, including advection processes, diffusion, Coriolis force effects, and temperature changes. The modeling results confirm the importance of considering vertical and horizontal gradients of pressure and temperature in predicting the movement of ocean currents.

The main conclusions show that the proposed model can reproduce the known characteristics of baroclinic currents with sufficient accuracy and can be used for a more detailed study of the influence of various factors on ocean dynamics. It was also demonstrated that including additional nonlinear terms in the model and considering multiple initial and boundary conditions can improve forecast quality and increase numerical schemes' stability.

However, despite the progress achieved, several limitations must be considered. In particular, further study of the influence of small-scale processes and turbulence on modeling accuracy is required. It is also important to conduct additional research into the impact of climate change on model parameters, including temperature and salt regimes.

We hope that the results of this work will serve as a basis for further developments in modeling ocean processes and contribute to an improved understanding of the complex interactions of climate and their consequences for marine and coastal ecosystems.

References

- [1] *World Ocean Database (WOD)*. // URL: <https://www.ncei.noaa.gov/products/world-ocean-database>
- [2] *Argo* // URL: <https://argo.ucsd.edu/>
- [3] Akhmetova, O., Issayev, S. (2023) *Application of the fictitious region method to solving a model oceanology problem. Bulletin of Physics & Mathematical Sciences. Vol.83, No.3, 34–42. DOI: https://doi.org/10.51889/2959-5894.2023.83.3.004*

- [4] Akhmetova, O., Issayev, S. (2023) Solution of the nonlinear stationary problem of the baroclinic ocean by the fictitious domain method. *Bulletin of Physics & Mathematical Sciences*. Vol.84, No.4, 17–28.
- [5] Borovskih, A.V. (2024) *Differencial'nye uravnenija v 2 ch. [Differential equations in 2 parts], Chast' 1: uchebnik i praktikum dlja vuzov. 3-e izd., pererab. i dop., Moskva, Izdatel'stvo Jurajt, URL: <https://urait.ru/bcode/537308> (in Russian)*
- [6] Abdibekov, U.S. (1990) *Gidrodinamicheskaja model' temperaturno-stratificirovannogo techenija v vodoeme [Hydrodynamic model of temperature-stratified flow in a reservoir]. Diss. na soisk. uch.st. kand.fiz.mat.-nauk. Alma-Ata (in Russian)*
- [7] Linejkin P.S. (1957) *Osnovnye voprosy dinamicheskoi teorii baroklinnogo sloja morja [Basic questions of the dynamic theory of the baroclinic layer of the sea.], L: Gidrometeoizdat (in Russian)*
- [8] Marchuk G.I. (1974) *Chislennye reshenija zadachi dinamiki atmosfery i okeana [Numerical solutions to the problem of atmospheric and ocean dynamics], L:Gidrometeoizdat (in Russian)*
- [9] Linejkin P.S. (1955) *Ob opredelenii tolshhiny baroklinnogo sloja morja [On determining the thickness of the baroclinic layer of the sea] Dokl. AN SSSR, T. 101, № 3, S.461–464. (in Russian)*
- [10] Linejkin P.S. (1955) *K dinamike ustanovivshijsja techenij i neodnorodnom more [On the dynamics of steady currents and a heterogeneous sea]. Dokl. AN SSSR., T. 105, № 6, S.1215–1217. (in Russian)*
- [11] Linejkin P.S. (1955) *O vetrovyh techenijah i baroklinnom sloe v more [About wind currents and the baroclinic layer in the sea]. Tr. GOIN, Вып. 29(41), S.34–64. (in Russian)*
- [12] Nikol'skij S.M. (1977) *Priblizhenie funkcij mnogih peremennyh i teoremy vložhenija [Approximation of functions of several variables and embedding theorems]. M.: Nauka, 455s. (in Russian)*
- [13] Sun P. and Wang C. (2020) Distributed Lagrange multiplier/fictitious domain finite element method for Stokes/parabolic interface problems with jump coefficients. *Journal of Applied Numerical Mathematics*, vol. 152, no. 4, pp. 199–220
- [14] Sun P. (2019) Fictitious domain finite element method for Stokes/elliptic interface problems with jump coefficients, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 356, no. 3, pp. 81–97, 2019.
- [15] Daniele Boffi, Fabio Credali, Lucia Gastaldi (2022) On the interface matrix for fluid–structure interaction problems with fictitious domain approach. *Journal of Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol.401, Part B, 1 November 2022, 115650, <https://doi.org/10.1016/j.cma.2022.115650>
- [16] Mikihiro Tajima, Takayuki Yamada (2023) Topology optimization with geometric constraints for additive manufacturing based on a coupled fictitious physical model. *Journal of Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Volume 417, Part A, 1 December 2023, 116415, <https://doi.org/10.1016/j.cma.2023.116415>
- [17] Ziyang Huang, Guang Lin, Arezoo M. Ardekani (2022) A consistent and conservative Phase-Field method for multiphase incompressible flows. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Volume 408, July 2022, 114116. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2022.114116>

Список использованных источников

- [1] World Ocean Database (WOD). URL: <https://www.ncei.noaa.gov/products/world-ocean-database>
- [2] Argo // URL: <https://argo.ucsd.edu/>
- [3] Akhmetova, O., Issayev, S. Application of the fictitious region method to solving a model oceanology problem. *Bulletin of Physics & Mathematical Sciences*. Vol.83, No.3, 34–42. DOI: <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2023.83.3.004>
- [4] Akhmetova, O., Issayev, S. Solution of the nonlinear stationary problem of the baroclinic ocean by the fictitious domain method. *Bulletin of Physics & Mathematical Sciences*. Vol.84, No.4, 17–28.
- [5] Боровских, А.В. Дифференциальные уравнения в 2 ч. Часть 1: учебник и практикум для вузов / А. В. Боровских, А. И. Перов, 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2024. 327 с. URL: <https://urait.ru/bcode/537308>
- [6] Абдибеков, У.С. Гидродинамическая модель температурно-стратифицированного течения в водоеме. Дисс. на соиск. уч.ст. канд.физ.мат.-наук. Алма-Ата, 1990, 114с.
- [7] Линейкин П.С. Основные вопросы динамической теории бароклинного слоя моря. Л.: Гидрометеоиздат, 1957. 139 с.
- [8] Марчук Г.И. Численные решения задачи динамики атмосферы и океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 303с.
- [9] Линейкин П.С. Об определении толщины бароклинного слоя моря. Докл. АН СССР. 1955а., Т. 101. № 3. С. 461–464.

[10] Линейкин П.С. К динамике установившихся течений и неоднородном море. Докл. АН СССР., 1955б. Т. 105. № 6. С. 1215–1217.

[11] Линейкин П.С. О ветровых течениях и бароклинном слое в море. Тр. ГОИН. 1955в. Вып. 29(41), С. 34–64.

[12] Никольский С.М. Приближение функций многих переменных и теоремы вложения. М.: Наука, 1977. 455с.

[13] Sun P. and Wang C., Distributed Lagrange multiplier/fictitious domain finite element method for Stokes/parabolic interface problems with jump coefficients. *Journal of Applied Numerical Mathematics*, vol. 152, no. 4, pp. 199–220, 2020.

[14] Sun P., “Fictitious domain finite element method for Stokes/elliptic interface problems with jump coefficients,” *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 356, no. 3, pp. 81–97, 2019.

[15] Daniele Boffi, Fabio Credali, Lucia Gastaldi. On the interface matrix for fluid–structure interaction problems with fictitious domain approach. *Journal of Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol.401, Part B, 1 November 2022, 115650, <https://doi.org/10.1016/j.cma.2022.115650>

[16] Mikihiro Tajima, Takayuki Yamada. Topology optimization with geometric constraints for additive manufacturing based on a coupled fictitious physical model. *Journal of Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Volume 417, Part A, 1 December 2023, 116415, <https://doi.org/10.1016/j.cma.2023.116415>

[17] Ziyang Huang, Guang Lin, Arezoo M. Ardekani. A consistent and conservative Phase-Field method for multiphase incompressible flows. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Volume 408, July 2022, 114116. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2022.114116>

Ж.М. Бектемесов^{1*}, М.А. Бектемесов²

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

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

*e-mail: jolaman252@gmail.com

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ФАРМАКОКИНЕТИКИ С ДИНАМИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРОМ

Аннотация

Сахарный диабет все еще является одной из существующих актуальных глобальных проблем, нуждающихся в решении. И одним из инструментов диагностики сахарного диабета могут стать методы математического моделирования. В данной статье реализованы методы решения обратных задач для восстановления параметров математической модели глюкозы-С-пептид для определения объема выработки природного инсулина и чувствительности поджелудочной железы к глюкозе. В работе рассматривается расширенная двух-камерная математическая модель состоящая из 4 обыкновенных дифференциальных уравнений, 7 параметров и одним параметром изменяющимся по времени, обозначающий, вводимый внутривенно, концентрацию глюкозы. Определение параметров осуществлено с помощью методов решения обратных задач, используя метод Левенберга-Марквардта и дополнительную информацию о динамике С-пептида. Также был рассмотрен случай с 10% шумом в данных и сравнение результатов

Ключевые слова: математическое моделирование, фармакокинетика, обратная задача, идентификация, оптимизация, метод Левенберга-Марквардта.

Ж.М. Бектемесов¹, М.А. Бектемесов²

¹ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

ДИНАМИКАЛЫҚ ПАРАМЕТРМЕН ФАРМАКОКИНЕТИЛЫҚ КЕРІ ЕСЕПТІН ШЕШУІ

Аңдатпа

Қант диабеті әлі де шешуді қажет ететін өзекті жаһандық проблемалардың бірі болып табылады. Ал қант диабетін диагностикалау құралдарының бірі математикалық модельдеу әдістері болуы мүмкін. Бұл мақалада инсулиннің табиғи өндірісінің көлемін және ұйқы безінің глюкозаға сезімталдығын анықтау үшін глюкоза-С-пептидінің математикалық моделінің параметрлерін қалпына келтіру үшін кері есептерді шешу әдістері жүзеге асырылады. Жұмыста 4 кәдімгі дифференциалдық теңдеуден, 7 параметрден және бір уақыт бойынша өзгертін параметрден тұратын кеңейтілген екі камералы математикалық модель қарастырылады. Уақыт бойынша өзгертін параметр глюкозаның көктамыр ішіне енгізілген концентрациясын белгілейді. Параметрлер Левенберг-Марквардт әдісін қолданып кері есептерді шешу әдістерін және С-пептидінің динамикасы туралы қосымша ақпаратты қолдану арқылы анықталды. Деректерде 10% шу бар жағдай да қарастырылып, нәтижелер салыстырылды.

Түйін сөздер: математикалық модельдеу, фармакокинетика, кері есеп, сәйкестендіру, оңтайландыру, Левенберг-Марквардт әдісі.

Zh.M. Bektemessov¹, M.A. Bektemesov²

¹al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

SOLUTION OF THE INVERSE PROBLEM OF PHARMACOKINETICS WITH A DYNAMIC PARAMETER

Abstract

Diabetes mellitus is still one of the existing pressing global problems that need to be solved. And one of the tools for diagnosing diabetes mellitus can be mathematical modeling methods. This article implements

methods for solving inverse problems to restore the parameters of the mathematical model of glucose-C-peptide to determine the volume of natural insulin production and the sensitivity of the pancreas to glucose. The work considers an extended two-chamber mathematical model consisting of 4 ordinary differential equations, 7 parameters and one time-varying parameter, denoting the intravenously administered glucose concentration. The parameters were determined using methods for solving inverse problems using the Levenberg-Marquardt method and additional information about the dynamics of the C-peptide. The case with 10% noise in the data was also considered and the results were compared

Keywords: mathematical modeling, pharmacokinetics, inverse problem, identification, optimization, Levenberg-Marquardt method.

Основные положения

В данной статье представлено исследование на тему диагностики причин возникновения сахарного диабета методами математического моделирования и численного решения. В первом разделе статьи подробно рассмотрены мотивы проведения этого исследования, как в глобальном контексте, так и с акцентом на ситуацию в Казахстане. Указано, что сахарный диабет представляет собой не только серьезную медицинскую проблему, но и значительное социальное бремя. Далее в статье обсуждаются механизмы возникновения и прогрессирования данного заболевания, с акцентом на ключевые биомедицинские процессы. Особое внимание уделено построению математической модели, которая описывает эти процессы, включая постановку прямой задачи, а также обратной задачи. Это позволяет более точно анализировать данные и выявлять ключевые факторы, влияющие на развитие диабета, что в конечном итоге способствует улучшению диагностики

Далее в работе реализованы методы решения обратных задач для восстановления параметров математической модели глюкозы-C-пептид, с целью определения объема выработки природного инсулина и чувствительности поджелудочной железы к глюкозе. Исследователи используют расширенную двухкамерную математическую модель, состоящую из четырёх обыкновенных дифференциальных уравнений и семи параметров, один из которых изменяется со временем, представляя концентрацию вводимой внутривенно глюкозы. Определение параметров выполнено с помощью методов решения обратных задач, в частности метода Левенберга-Марквардта, дополненного информацией о динамике C-пептида. Также исследователи рассмотрели влияние 10% шума в данных и провели сравнение полученных результатов, что позволило оценить точность и устойчивость предложенных методик.

Введение

Сахарный диабет - заболевание, определенное Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) как неинфекционная эпидемия, значительно снижает общий уровень здоровья населения каждый год. Согласно пресс-центру Министерства Здравоохранения Республики, Казахстан [1], за последние 15 лет количество больных с сахарным диабетом в Казахстане выросло в 3.5 раза, где только на 2021 год на диспансерном учете находятся более 380 тыс. человек (по неофициальным данным 10% взрослого населения страны страдают от данной болезни), из них 30 тыс. пациентов с сахарным диабетом 1 типа, 350 тыс. пациентов - 2 типа. Также согласно отчету 2016 года Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) [2] относительный показатель смертности среди всех возрастов от суммарного числа смертей в Казахстане сахарный диабет составил 1% (процент). Сейчас же этот процент явно больше, в виду всемирной пандемии коронавирусной инфекции, где часть летальных исходов пациентов с COVID-19 сопровождал декомпенсированный сахарный диабет. За период с 2000 по 2019 год смертность от сахарного диабета в мире выросла на 70%, где 80% этого роста приходится на долю мужчин [3].

Диабет неизлечим, но благодаря современной медицине и развитию диабетологии, удалось снизить число наиболее выраженных осложнений, повысить качество жизни больных и продлить работоспособность пациентов на многие годы и десятилетия. Больные диабетом на

ежедневной основе нуждаются в пожизненном приеме сахароснижающих препаратов, и качественном уходе, и своевременной специализированной помощи.

Ежегодно Правительство Казахстана испытывает расходы в размере более 20 млрд. тенге на препараты инсулина и инсулиновых помп, что связано с высокой стоимостью данных медицинских средств [4]. А сокращение обеспечения лечебно-профилактических организаций реактивами и другими средствами диагностики ухудшило условия для выявления сахарного диабета. Дефицит глюкометров и тест-полосок не проводит надлежащий контроль уровня глюкозы в крови, что приводит к быстрому развитию сосудистых и других осложнений. Пандемия коронавируса в свою очередь обострила данную проблему, увеличив расходы на здравоохранение. В настоящее время пациентов с начальной степенью сахарного диабета все меньше и меньше, в то время как в основном в клиники обращаются пациенты в критическом состоянии либо с осложнениями.

Таким образом, сахарный диабет является исключительно серьезной медицинской и социальной проблемой, требующей незамедлительного решения. И одним из инструментов диагностики сахарного диабета могут стать методы математического моделирования. В данной статье реализованы методы решения обратных задач для восстановления параметров математической модели глюкозы-С-пептид для определения объема выработки природного инсулина и чувствительности поджелудочной железы к глюкозе.

Методология исследования

Инсулин вырабатывается в качестве реакции к повышенной концентрации глюкозы в крови, а нарушение секреции инсулина, т.е. при ее абсолютной недостаточности приводит к сахарному диабету 1-го типа, а при относительной недостаточности инсулина развивается сахарный диабет 2-го типа. Инсулин свое действие на целевой орган оказывает только при переходе через печень, где около 50% концентрации инсулина разрушается, что приводит к сложному количественному описанию процессов инсулина за счет применения инвазивных протоколов. В этом может помочь методы математического моделирования. В 2001 году представленная математическая модель в работе [5] (G.M.Toffolo, C.Cobelli.) была описана в камерном виде для определения природного вырабатываемого человеком инсулина. С помощью данной модели и представленных в ней параметров, таких как: чувствительность поджелудочной железы к глюкозе, пороговый уровень глюкозы, скорости перехода концентрации из одной камеры в другую могут можно определить методами решения обратной задачи с помощью заданной дополнительной информации.

Для однозначного определения набора параметров динамической модели описанной дифференциальными уравнениями использовались инструменты практического анализа идентифицируемости [6] и алгоритмы оптимизации для целевого функционала. В [7] авторы провели исследование идентифицируемости математических моделей упрощенной и развернутой двухкамерной секреции С-пептида (секреция помогающая определить природное количество инсулина в организме), для определения набора идентифицируемых параметров.

Рассмотрим математическую модель развернутой двухкамерной кинетической модели С-пептида, который содержит 7 неизвестных параметров [5]:

$$\begin{cases} \dot{C}P_1(t) = -[k_{01} + k_{21}]C P_1(t) + k_{12}C P_2(t) + mX(t) \\ \dot{C}P_2(t) = k_{21}C P_1(t) - k_{12}C P_2(t) \\ \dot{X}(t) = -mX(t) + Y(t) \\ \dot{Y}(t) = -\alpha(Y(t) - \beta[G(t) - h]) \end{cases} \quad (1)$$

с начальными условиями

$$C P_1(t_0) = C P_{10}, C P_2(t_0) = 0, X(t_0) = X_0, Y(t_0) = 0, \quad (2)$$

Три параметра модели обозначают скорость перехода концентрации С-пептида между камерами: k_{21} , k_{12} и k_{01} ; остальные четыре относятся к секреции поджелудочной железы: α , β , m и h . CP_1 - концентрация С-пептида в камере 1 представляющая плазму крови, CP_2 - концентрация С-пептида в камере 2 – ткани, X - количество неустойчивого инсулина в бета-клетках; Y - доля запаса инсулина, которая распределяется в бета-клетках, способных его высвободить (табл 1). Параметр $G(t)$ отвечает за средний показатель концентрации глюкозы, который вводился внутривенно в течение 20-25 минут 20-ти здоровым испытуемым (16 мужчин, 4 женщины), а затем кровь отбирали через 0, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 22, 25, 26, 28, 31, 35, 45, 60, 75, 90, 120, 180 и 240 мин после введения глюкозы, и измеряли концентрации глюкозы, С-пептида и инсулина (Рис. 1). [8].

Таблица 1. Описание и значения параметров модели глюкоза-С-пептид [8]

№	Параметр	Описание	Значение
1	T	Время моделирования, минуты	240
2	$CP_1(0)$	Концентрация С-пептида в камере 1	471
3	$CP_2(0)$	Концентрация С-пептида в камере 2	0
4	$X(0)$	Количество неустойчивого инсулина в бета-клетках	1863
5	$Y(0)$	Доля запаса инсулина, которая распределяется в бета-клетках, способных его высвободить	0
6	k_{01}	Параметр кинетика С-пептида	0,059
7	k_{21}	Параметр кинетика С-пептида	0,046
8	k_{12}	Параметр кинетика С-пептида	0,051
9	m	Параметр секреции поджелудочной железы	0,66
10	α	Параметр секреции поджелудочной железы	0,14
11	β	Параметр секреции поджелудочной железы	8,2
12	h	Параметр секреции поджелудочной железы	4,58

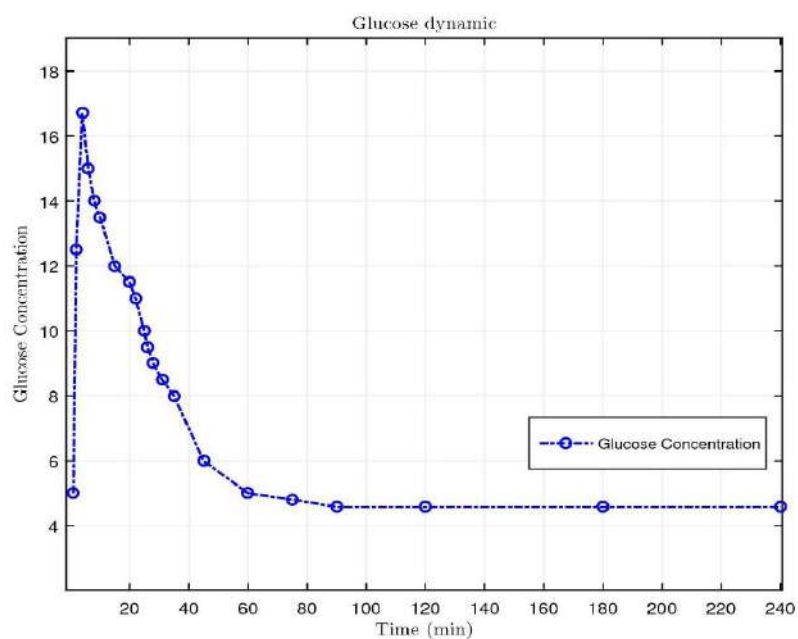


Рисунок 1. Средний показатель динамики концентрации глюкозы после инвазивного введения испытуемым

Используя значения параметров из таблицы 1, была получена дополнительная информация о концентрации С-пептида в крови и тканях в фиксированное время (далее реальные данные), с добавлением 10% шума:

$$k(t_j) = f_j + \varepsilon_j, \quad t_j \in [0, T], \quad j = 1, \dots, N, \quad (3)$$

где ε_j – Гауссовский шум в измерениях.

Обратная задача (1-2), (3) состоит в определении параметров модели начально-краевой задачи (1-2) - $q = \{k_{21}, k_{12}, k_{01}, \alpha, \beta, m, h\}$, используя дополнительную информацию (3).

Обратная задача сводится к оптимизационной задаче, заключающейся в минимизации функционала:

$$J(q) = \|A(q) - f^\varepsilon\|_{L^2_\chi([0, T])}^2 := \int_0^T \chi(t)(A(q) - f^\varepsilon)^2 dt, \quad (4)$$

где $\chi(t)$ – характеристическая функция неполных измерений (3). В нашем случае функционал (4) принимает следующий вид:

$$J(q) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (k(t_j; q) - f_j^\varepsilon)^2, \quad (5)$$

Оптимизационная задача может быть решена различными методами, такими как градиентный метод, стохастический метод и другие. В данной работе был применен метод Левенберга-Марквардта, являющийся популярным инструментом для решения широкого спектра задач нелинейной оптимизации и находит применение в областях, таких как регрессионный анализ, оптимизация параметров моделей машинного обучения и решение систем уравнений.

Результаты исследования

Численные результаты решения обратной задачи восстановления значений параметров по некоторой дополнительной информации приведены в таблице 2. Программный код реализован в интерактивной среде программирования, численных расчетов и визуализации результатов - Matlab. Обратная задача считалась с использованием данных по каждому уравнению системы в 21 моменте времени, распределенных в интервале (0, 240) неравномерно. Верхние и нижние границы допустимых значений для параметров не задавались.

Таблица 2. Описание и значения параметров модели

№	Параметр	Истинное значение	Восстановленное значение, без шума	Восстановленное значение, 10% шума	Относительная ошибка, без шума	Относительная ошибка, 10% шума
1	k_{01}	0,059	0,05468	0,0645	0,07322	0,09322
2	k_{21}	0,046	0,04711	0,0439	0,02413	0,045652
3	k_{12}	0,051	0,05589	0,0299	0,095882	0,413725
4	m	0,66	0,647	0,6416	0,019697	0,027879
5	α	0,14	0,0999	0,1113	0,286429	0,205
6	β	8,2	8,043	11,3872	0,019146	0,388683
7	h	4,58	4,786	4,3359	0,044978	0,053297

Таким образом, значения параметров математической модели глюкозы-С-пептид восстановлены с относительной погрешностью не более 10% для 7 параметров ($k_{01}, k_{21}, k_{12}, m, b$ и h), а для 1 параметра этот показатель почти равен 30% (α), с использованием данных без учета шума.

Тогда как для данных с 10% шумом относительная ошибка у параметра α уменьшилась до 20%, а для параметров k_{12} и b относительная ошибка составила порядка 40%. Тем не менее восстановленные графики как с шумом, так и без, показали отличное соответствие с графиками построенными по истинным значениям параметров (рис.2 - 3).

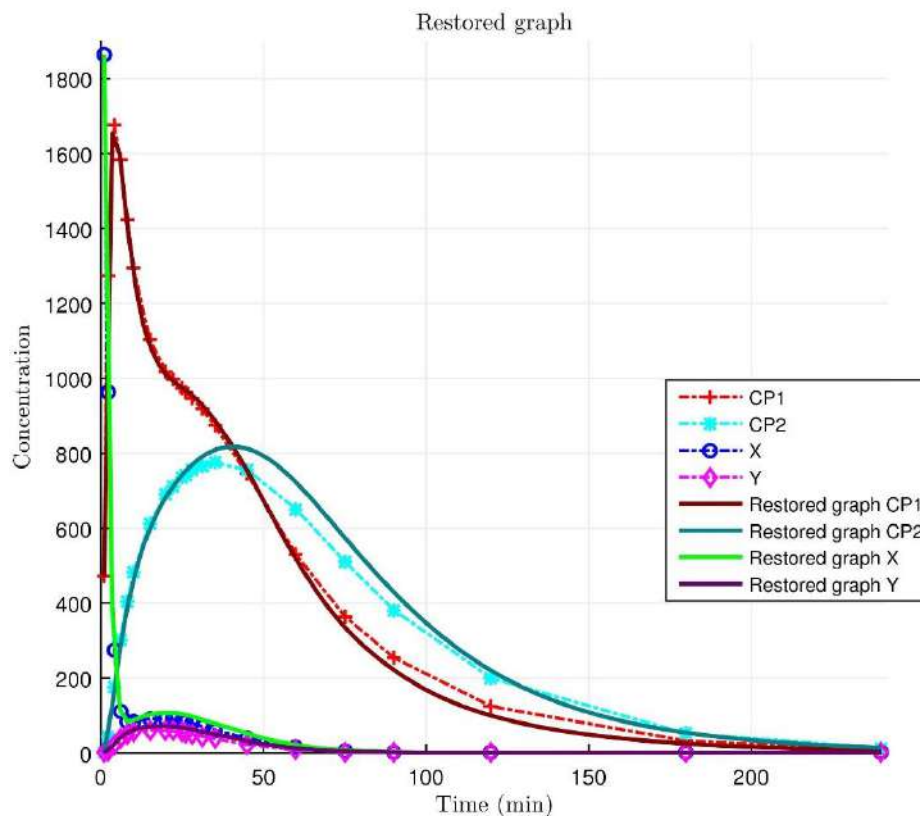


Рисунок 2. Сравнение восстановленных графиков с данными без шума

Важно отметить, что на рисунке (2) графики с пунктирной линией относятся к данным с истинными значениями, тогда как сплошные линии – это восстановленные графики. Восстановление графика по концентрации С-пептида в камере 1 - CP_1 - т.е. в плазме крови (бордовая сплошная линия), до 60 минуты происходит практически идентично данным, полученным с истинными значениями (красная пунктирная линия с крестиком), а далее она незначительно расходится, но к 200-ой минуте различие не наблюдается. Такое же практически идеальное соответствие показывает восстановленный график X - количество неустойчивого инсулина в бета-клетках (ярко-зелёная сплошная линия), по отношению к реальным данным (синяя пунктирная линия с кругами), показывая незначительные расхождения на 20-30 минутах. Наиболее схожие графики были у реальных данных (фиолетовая пунктирная линия с ромбами) и восстановленного графика Y - доля запаса инсулина (тёмно-фиолетовая сплошная линия). Наибольшие расхождения можно заметить в реальных данных CP_2 - концентрация С-пептида в камере 2 – ткани (ярко-голубая пунктирная линия со звездами) и восстановленных данных (тёмно-голубая сплошная линия) на отрезке 25 минут и 125 минут.

Что касается данных с 10% шумом (рисунок 3), то восстановленные графики показывают схожие тенденции, однако можно заметить, что расхождений больше, практически у всех

данных. Наибольшее расхождение выроджено у восстановленного графика Y - доля запаса инсулина (тёмно-фиолетовая сплошная линия) и данных с 10% шумом. Наиболее явно это можно заметить при расчетах нормы остатков по данным восстановленных параметров без шума и с шумом относительно реальных данных (таблица 3).

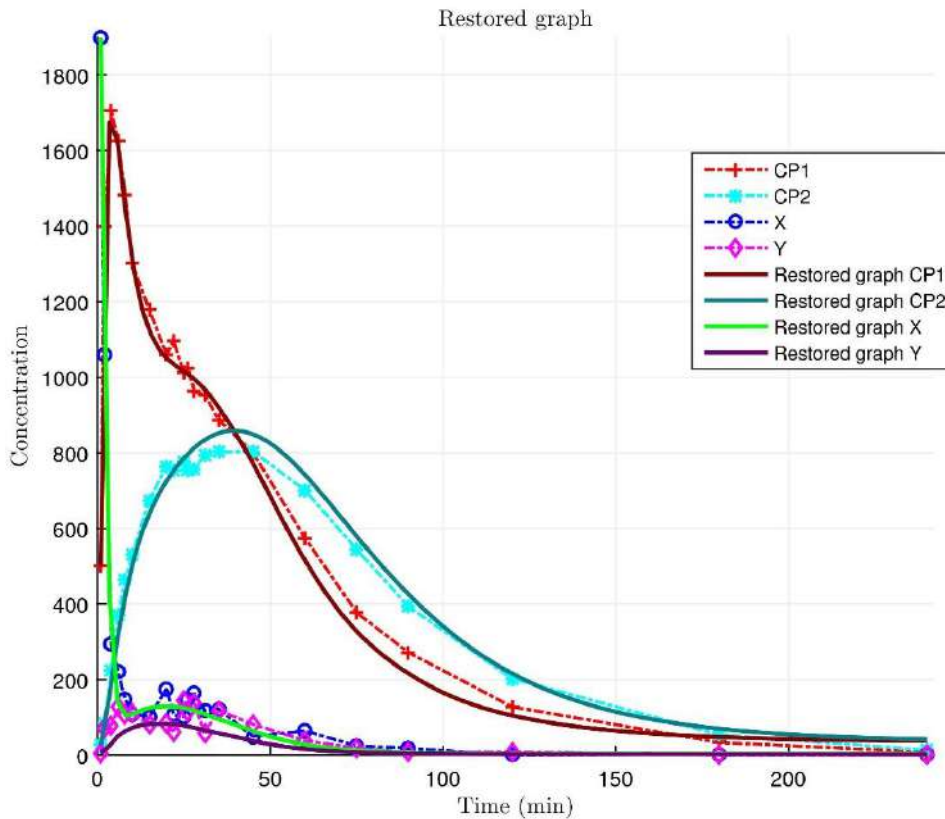


Рисунок 3. Сравнение восстановленных графиков с данными 10% шума

Таблица 3. Норма остатка

№	Переменные	Норма остатка, без шума	Норма остатка, 10% шума
1	CP_1	0.0743	0.0958
2	CP_2	0.0413	0.0608
3	X	0.1372	0.1203
4	Y	0.0371	0.4606

Чем меньше норма остатков, тем ближе восстановленные значения модели к реальным данным, что указывает на лучшее соответствие модели данным. Можно заметить ухудшение восстановления данных, особенно по переменной Y (доля запаса инсулина).

Дискуссия

В рамках данного исследования была обсуждена эффективность методов математического моделирования в решении задачи диагностики сахарного диабета. Результаты показали, что методы решения обратных задач, основанные на математическом моделировании, могут быть эффективным инструментом для восстановления параметров модели глюкозы-С-пептида.

Одним из ключевых аспектов данной работы является качество восстановления параметров модели. Метод Левенберга-Марквардта продемонстрировал высокую скорость сходимости и хорошую точность восстановления параметров при минимальном количестве итераций.

Однако следует отметить, что наличие шума в данных может оказывать влияние на точность результатов, и необходимы дополнительные исследования для оценки степени этого влияния.

Практическое применение результатов данной работы может быть связано с улучшением диагностики сахарного диабета и оптимизацией терапии пациентов. Полученные результаты могут быть использованы для более точного определения динамики глюкозы и инсулина при инвазивной введенной глюкозе, а также для оценки чувствительности поджелудочной железы к глюкозе и других параметров, важных для контроля сахарного диабета.

Несмотря на достигнутые результаты, данная работа также оставляет много открытых вопросов для дальнейших исследований. В частности, необходимо провести более подробный анализ влияния шума в данных на точность восстановления параметров модели, а также исследовать возможность улучшения математической модели путем включения дополнительных физиологических параметров.

Таким образом, данное исследование вносит вклад в развитие методов диагностики и терапии сахарного диабета, однако для полного понимания и оптимизации этого процесса требуются дальнейшие исследования и разработки.

Заключение

В данной статье было проведено восстановление значений параметров математической модели глюкоза-С-пептид, с данными вводимой глюкозы изменяющейся по времени. Были восстановлены графики и значение 7 параметров, с применением метода Левенберга-Марквардта, основанный на методе Ньютона, с помощью программного пакета Matlab.

Алгоритм продемонстрировал высокую скорость сходимости, всего 12 итераций, с наименьшими значениями нормы остатков, а в процессе оптимизации вычисление целевой функции не превысила 80 вычислений. Также оптимизационный алгоритм использовал целевую функцию 122 раза для оценки качества текущего решения или параметров модели.

Таким образом, решение данной обратной задачи можно использовать для определения динамики С-пептида, а соответственно и инсулина, при инвазивно вводимой глюкозе в организм человека, а также некоторых параметров таких, как чувствительность поджелудочной железы к глюкозе, пороговый уровень глюкозы, скорости перехода концентрации из одной камеры в другую.

Благодарность

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19579325).

Список использованных источников

- [1] Электронный ресурс (Дата обращения: 21/12/2023). URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/dsm/press/news/details/278113?lang=ru>
- [2] Электронный ресурс (Дата обращения: 03/12/2023). URL: <https://www.who.int/ru/publications/m/item/diabetes-kaz-country-profile-kazakhstan-2016>
- [3] Электронный ресурс (Дата обращения: 20/12/2023). URL: <https://www.who.int/ru/news/item/09-12-2020-who-reveals-leading-causes-of-death-and-disability-worldwide-2000-2019>
- [4] Электронный ресурс (Дата обращения: 21/12/2023). URL: <https://vlast.kz/novosti/42528-ezegodno-saharnuj-diabet-obhoditsa-kazahstanu-primerno-v-1-mlrd.html>
- [5] Toffolo G.M., Cobelli C. (2001) Chapter 11 - Insulin Modelling // *Modeling Methodology for Physiology and Medicine*. Academic Press., P. 305-335, <https://doi.org/10.1016/B978-012160245-1/50012-X>
- [6] Кабанихин С.И., Криворотько О.И., Воронов Д.А., Бектемесов Ж.М. Практическая идентифицируемость математических моделей биомедицинских процессов // *Вестник КазНУ, Серия математика, механика, информатика*. Казахский национальный университет им. аль-Фараби. – 2017. – №3(95). – С. 105-118, <https://doi.org/10.26577/jmmcs-2017-3-479>

[7] Kabanikhin S., Bektemesov M., Krivorotko O., Bektemessov Zh. (2021) Practical identifiability of mathematical models of biomedical processes. *Journal of Physics: Conference Series*, 2092 (1), art. no. 012014. <http://iopscience.iop.org/journal/1742-6596>. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2092/1/012014>

[8] Toffolo G., Campioni M., Basu R., Rizza R.A., Cobelli C. (2006). A minimal model of insulin secretion and kinetics to assess hepatic insulin extraction. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 290(1), 169-176, doi: 10.1152/ajpendo.00473.2004.

References

[1] Jelektronnyj resurs (Data obrashhenija: 21/12/2023). URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/dsm/press/news/details/278113?lang=ru>

[2] Jelektronnyj resurs (Data obrashhenija: 03/12/2023). URL: <https://www.who.int/ru/publications/m/item/diabetes-kaz-country-profile-kazakhstan-2016>

[3] Jelektronnyj resurs (Data obrashhenija:20/12/2023). URL: <https://www.who.int/ru/news/item/09-12-2020-who-reveals-leading-causes-of-death-and-disability-worldwide-2000-2019>

[4] Jelektronnyj resurs (Data obrashhenija:21/12/2023). URL:<https://vlast.kz/novosti/42528-ezegodno-saharnyj-diabet-obhoditsa-kazahstanu-primerno-v-1-mlrd.html>

[5] Toffolo G.M., Cobelli C. (2001) Chapter 11 - Insulin Modelling // *Modeling Methodology for Physiology and Medicine*. Academic Press., P. 305-335, <https://doi.org/10.1016/B978-012160245-1/50012-X>

[6] Kabanikhin S.I., Krivorot'ko O.I., Voronov D.A., Bektemesov Zh.M. (2017) Prakticheskaja identifikiruemost' matematicheskikh modelej biomedicinskih processov [Practical identifiability of mathematical models of biomedical processes]. *Vestnik KazNU, Serija matematika, mehanika, informatika. Kazahskij nacional'nyj universitet im. al'-Farabi., №3(95).*, 105-118. (In Russian), <https://doi.org/10.26577/jmmcs-2017-3-479>

[7] Kabanikhin S., Bektemesov M., Krivorotko O., Bektemessov Zh. (2021) Practical identifiability of mathematical models of biomedical processes. *Journal of Physics: Conference Series*, 2092 (1), art. no. 012014. <http://iopscience.iop.org/journal/1742-6596>. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2092/1/012014>

[8] Toffolo G., Campioni M., Basu R., Rizza R.A., Cobelli C. (2006). A minimal model of insulin secretion and kinetics to assess hepatic insulin extraction. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 290(1), 169-176, doi: 10.1152/ajpendo.00473.2004.

А.С. Бердышев^{1,2}, К. Боранбек^{3*}

¹РГП на ПХВ «Институт информационных и вычислительных технологий,
г. Алматы, Казахстан

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

³Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*e-mail: boranbek.kulzhamila@gmail.com

ОБЗОР МОДЕЛИ СТОКСА-ДАРСИ

Аннотация

Законы Стокса и Дарси имеют широкое применение в области гидродинамики. За последние десятилетия многие значительные исследовательские усилия были сосредоточены на изучении взаимосвязанной модели Стокса-Дарси, чтобы получить более глубокое понимание явлений гидродинамики. В этом контексте были предложены и тщательно изучены различные типы условий на границе между подобластями и улучшенные модели. Более того, стохастическая модель Стокса-Дарси стала ценным инструментом для учета неопределенностей и уточнения нашего понимания этих процессов. В этом обзоре мы проанализируем классическую и стохастические модели Стокса-Дарси, стремясь всесторонне изучить их преимущества и недостатки, а также некоторые численные методы. Мы фокусируемся на важности производных дробного порядка в моделях гидродинамики и анализируем преимущества новой обобщенной стохастической модели Стокса-Дарси дробного порядка.

Ключевые слова: дробные производные, память, модель Стокса-Дарси, случайные величины, условие Биверса-Джозефа-Саффмана, пористая среда, численные методы.

А.С. Бердышев^{1,2}, К. Боранбек³

¹Ақпараттық және есептеу технологиялары институты ШЖҚ РМК, Алматы қ., Қазақстан

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

³С.Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ., Қазақстан

СТОКС-ДАРСИ МОДЕЛІНЕ ӘДЕБИ ШОЛУ

Аңдатпа

Стокс және Дарси заңдары гидродинамика саласында кеңінен қолданылады. Соңғы онжылдықтарда көптеген маңызды зерттеу жұмыстары гидродинамиканың құбылыстарын тереңірек түсіну үшін Стокс-Дарси біріктірілген моделін зерттеуге бағытталды. Осы тұрғыда *әртүрлі шекаралық және байланысқан шекаралық шарттар*, *жетілдірілген модельдер* ұсынылып, мұқият зерттелді. Сонымен қатар, стохастикалық Стокс-Дарси моделі белгісіздіктерді есепке алудың және осы процестерді түсінуді нақтылаудың құнды құралы болды. Бұл әдеби шолуда классикалық және стохастикалық Стокс-Дарси модельдері талданады, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері, сондай-ақ кейбір сандық әдістер жан-жақты зерттеледі. Гидродинамика модельдеріндегі бөлшек ретті туындылардың маңыздылығына назар аударылып, жаңа жалпыланған бөлшек ретті стохастикалық Стокс-Дарси моделінің артықшылықтары талданады.

Түйін сөздер: бөлшек ретті туындылар, жады, Стокс-Дарси моделі, кездейсоқ шамалар, Биверс-Джозеф-Саффман шарты, кеуекті орта, сандық әдістер.

Berdyshev A.S.^{1,2}, Boranbek K.³

¹Institute of information and computational technologies RSE on REU

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

³*S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

A REVIEW OF STOKES-DARCY MODEL

Abstract

Stokes and Darcy laws have found wide application in the field of fluid dynamics. Over recent decades, a lot of significant research efforts have focused on exploring the coupled Stokes-Darcy model to gain deeper insights into fluid dynamics phenomena. Various types of interface and boundary conditions, improved models have been proposed and thoroughly studied in this context. Moreover, the stochastic Stokes-Darcy model has emerged as a valuable tool for incorporating uncertainties and refining our understanding of these processes. In this review, we analyze the classical and stochastic Stokes-Darcy models, aiming to comprehensively explore their advantages and drawbacks, as well as some numerical methods. We focus on the importance of fractional order derivatives in fluid dynamics models and analyze the advantages of a new generalized fractional order stochastic Stokes-Darcy model.

Keywords: fractional derivatives, memory, Stokes-Darcy model, random variables, Beavers-Joseph-Saffman condition, porous media, numerical methods.

Основные положения

В этой статье проводится литературный обзор работ, посвященных модели Стокса-Дарси, а также ее нескольким обобщениям, уделяя особое внимание методам их численной реализации. Ввиду невозможности достоверного определения входных параметров данной модели проводятся обширные исследования по стохастическому обобщению указанной модели. Авторами предложено дальнейшее обобщение стохастической модели Стокса-Дарси, в которой учитываются долгосрочные изменения пористой среды. Это достигнуто посредством включения производных дробного порядка в уравнения модели.

Введение

Модель Стокса-Дарси является фундаментом в области гидродинамики, предлагая надежную математическую основу для понимания сложного взаимодействия между потоком жидкости на поверхности и в пористой среде. Объединив два фундаментальных принципа – поток Стокса и закон Дарси – модель обеспечивает комплексный подход к анализу движения жидкости через пористые материалы, такие как почвы, камни и биологические ткани. Существует множество важных применений модели Стокса-Дарси в различных областях. В нефтегазовой отрасли применение модели Стокса-Дарси позволяет инженерам моделировать поток жидкости в нефтяных пластах, оптимизируя методы добычи, повышая эффективность добычи нефти, а также проектировать системы нагнетания. Аналогичным образом, в геотермальных пластах, где горячая вода или пар заключены в пористых подземных пластах, модель облегчает понимание динамики потока жидкости, позволяя эффективно извлекать тепловую энергию для производства электроэнергии и прямого нагрева. Модель Стокса-Дарси, имеющая решающее значение в обеих сферах, анализирует поведение почвы и поток жидкости в пористых материалах, помогая планировать инфраструктурные проекты и оптимизировать установки для эффективной очистки воды в гражданском строительстве. Кроме того, она находит применение в биомедицинской инженерии для изучения кровотока, а также в гражданском строительстве для оптимизации конструкции пористых материалов в системах очистки воды и городских дренажных системах [1-3].

В данной работе мы проводим обзор литературы по модели Стокса-Дарси, широко используемой в различных областях. Актуальность проблемы обусловлена необходимостью точных моделей для фильтрации и подземных потоков, учитывающих стохастические колебания и временные зависимости, что использование стохастических методов дробного

исчисления позволяет более точно моделировать динамику жидкости в сложных средах, что открывает новые перспективы для научных исследований и практических приложений.

Изучение стохастического обобщения модели Стокса-Дарси является достаточно новым и актуальным направлением в современной вычислительной гидродинамике. Указанная модель используется при прогнозировании процессов, протекающих в нефтяных пластах с кавернозно-пористой структурой, в подземных системах карстовых водоносных горизонтов, в задачах взаимодействия между поверхностными и подземными потоками. Кроме того, модель используется при прогнозировании и оценке риска подтопления территорий в результате подземных и поверхностных вод. Данная проблема особенно актуальна для большей части территорий Казахстана. Однако существенный недостаток данной модели заключается в пренебрежении чрезвычайно важного свойства пористой среды – памяти, значительно влияющего на характер течения жидкости. Необходимость его учета заключается в том, что в процессе течения жидкости меняется пористость и проницаемость среды, которые со временем заметно приводят к задержке скорости потока. Поэтому характер течения определяется не только текущим состоянием среды, но также всеми ее предыдущими состояниями.

Цель данного литературного обзора – проанализировать и систематизировать существующие знания по стохастическому моделированию и дробному исчислению в модели Стокса-Дарси, оценить их применимость к описанию движения жидкости в пористых средах и выявить направления для дальнейших исследований и практических применений. Проблемные положения, связанные с стохастическими моделями Стокса-Дарси дробного порядка, включают сложность математического описания, высокие вычислительные затраты, отсутствие единой методологии и ограниченную апробацию на практике.

В методологическом и исследовательском разделе рассматриваются классическая модель Стокса-Дарси, стохастическая модель Стокса-Дарси и дробная стохастическая модель Стокса-Дарси. В разделе, посвященном классической модели Стокса-Дарси, описываются уравнения Стокса и законы Дарси, виды граничных условий и условия на границе раздела, а также численные методы их реализации. В разделе о стохастической модели Стокса-Дарси обсуждаются недостатки классической модели и представлены преимущества стохастической модели, а также соответствующие численные методы. В разделе о стохастической модели Стокса-Дарси с производными дробного порядка выделены недостатки стохастической модели, обсуждается важное свойство пористых сред – память, и понятия дробного исчисления для его математического описания, затем приводится обобщение линейной модели Стокса-Дарси. Ожидаемые результаты включают систематизацию методов численной реализации стохастического обобщения модели Стокса-Дарси, выявление их преимуществ и недостатков, что способствует разработке более эффективных методов реализации в практических задачах.

Методология исследования

Методология исследования основана на выявлении сильных и слабых сторон рассматриваемых моделей, а также сравнении различных численных методов их реализации. Для достижения цели проанализировано 42 полнотекстовых источника. В исследовании применены общенаучные методы теоретического познания, тематический контент-анализ, синтез теоретических оснований, компаративный метод по выявлению и обобщению исследований.

Результаты исследования

Классическая модель Стокса-Дарси

Начнем с полного описания рассматриваемой модели. Пусть D_f и D_p соответственно обозначают область свободного течения жидкости и область с пористой средой – две

ограниченные подобласти R^d ($d = 2,3$), лежащие по обе стороны границы раздела Γ , т.е. $D_f \cap D_p = \emptyset$, $\overline{D_f} \cap \overline{D_p} = \Gamma$ и $\overline{D_f} \cup \overline{D_p} = \overline{D}$ (Рисунок 1).

Движение потока пористой среды моделируется уравнением

$$S\phi_t(x, t) - \nabla \cdot (K(x)\nabla\phi(x, t)) = f_p(x, t) \quad \text{в } D_p \times \tilde{T},$$

полученным из уравнения неразрывности и закона Дарси. Здесь неизвестная функция $\phi(x, t)$ – пьезометрический напор в пористой среде, f_p – источник или сток, S – коэффициент емкости пласта, а также предполагается, что процесс изучается на интервале времени \tilde{T} , где $\tilde{T} = (0, T]$ при $T > 0$.

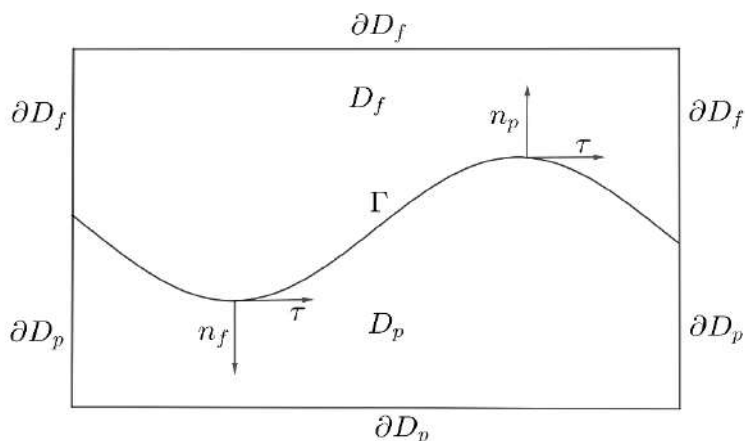


Рисунок 1. Область интегрирования Ω , состоящая из области свободного течения жидкости Ω_f и области пористой среды Ω_p , разделенных границей раздела Γ

Тензор гидравлической проводимости, обозначенный как K , отражает сложную природу потока жидкости в реальных сценариях. Концептуально, гидравлическая проводимость измеряет, насколько легко жидкость может проникать через почву или горную породу: более высокие значения соответствуют материалам, обеспечивающим легкий проход жидкости, а более низкие значения указывают на менее проницаемые материалы. На величину гидравлической проводимости влияют различные факторы, включая текстуру почвы, гранулометрический состав, шероховатость поверхности, извилистость и конфигурацию водопроводных путей. В пределах заданного контрольного объема среды гидравлическая проводимость может проявлять как изотропные, так и анизотропные характеристики. Изотропная гидравлическая проводимость подразумевает однородность во всех направлениях, что делает ее математической представленной в виде скаляра. И наоборот, анизотропная проводимость варьируется в разных направлениях внутри контрольного объема. Для изотропных сред матрица гидравлической проводимости имеет симметричную квадратичную структуру. Среди исследователей существует общее мнение, что все параметры материала и жидкости равномерно положительны и ограничены, причем K представляет собой симметричную положительную матрицу. Тогда верны следующие неравенства:

$$0 \leq k_{min} |\zeta|^2 \leq K \zeta \cdot \zeta \leq k_{max} |\zeta|^2 < \infty \quad \text{для всех } \zeta \in R^d.$$

Движение потока свободного течения жидкости описывается уравнениями Стокса:

$$\left(v_f(x, t) \right)_t - \mu \nabla^2 v_f(x, t) + \nabla p(x, t) = f_f(x, t), \quad D_f \times \tilde{T},$$

$$\nabla \cdot v_f(x, t) = 0, \quad D_f \times \tilde{T}.$$

Здесь неизвестными функциями являются v_f – скорость жидкости в D_f , $p(x, t)$ – давление жидкости в D_f , f_f — объемные силы, μ — вязкость жидкости.

Первичными условиями взаимодействия являются сохранение массы, нормальный баланс сил, либо условия Биверса-Джозефа, Биверса-Джозефа-Саффмана для тангенциальной скорости. В последние годы задача Стокса-Дарси тщательно исследовалась, в основном, с использованием условия на границе раздела Биверса-Джозефа-Саффмана или его упрощенной версии Саффмана [4]. Приведем известные условия на границе раздела Биверса-Джозефа на границе раздела Γ при $1 \leq i \leq d - 1$:

$$v_f(x, t) \cdot n_f - K \nabla \phi(x, t) \cdot n_p = 0,$$

$$p(x, t) - \mu n_f \cdot \nabla v_f(x, t) \cdot n_f = g \phi(x, t),$$

$$p(x, t) - \mu n_f \cdot \nabla v_f(x, t) \cdot \tau_i = \frac{\alpha_{BJS}}{\sqrt{\tau_i \cdot K \cdot \tau_i}} v_f(x, t) \cdot \tau_i.$$

Однако эти условия сформулированы для потоков, параллельных границе раздела жидкость-пора, и поэтому не подходят для произвольных направлений потока на границе раздела, например, тех, которые встречаются в сценариях промышленной фильтрации [5]. Несмотря на тенденцию давать неточные результаты для произвольных направлений потока к пористому слою, эти условия по-прежнему широко используются в литературе. Еще одним условием на границе раздела являются альтернативные условия сопряжения, которые требуют калибровки неизвестных параметров модели на основе теоретических принципов [6]; они не подходят для произвольных направлений потока на границе раздела жидкость-пора [7], что ограничивает точность моделируемых приложений.

В недавнем исследовании [8] были введены обобщенные условия интерфейса, которые охватывают классическое сохранение массы и равновесие нормальных сил для изотропных пористых сред, одновременно расширяя условие Биверса-Джозефа. Эти условия эквивалентны для параллельных потоков к пористому слою при аналогичных предположениях относительно направления потока, однако они остаются справедливыми для произвольных направлений потока к пористому слою и не включают какие-либо неизвестные параметры. Эффективные коэффициенты в этих обобщенных условиях рассчитываются численно с использованием геометрических данных в масштабе пор из системы связанных потоков. В последние десятилетия появились различные альтернативы традиционным условиям взаимодействия.

Получение аналитического решения уравнений Стокса-Дарси часто невозможно из-за их сложности и нелинейности. Следовательно, численные методы служат основным подходом к решению этих уравнений. Известно применение методов конечных элементов, метода конечных разностей, метода конечных объемов, метода граничных элементов, компактных разностных схем, классических итерационных методов подобластей, метода спектральных элементов. При решении также использованы метод диффузного межфазного интерфейса, метод управляемого приведенного базиса, метод декомпозиции области, оптимизированный метод Неймана-Неймана, метод декомпозиции типовой области [9-12].

В недавних исследованиях был достигнут ряд успехов в вычислительных методах анализа явлений потока жидкости. В [13] представлен новый подход к анализу глобальной чувствительности для произвольного полиномиального хаоса с несколькими разрешениями, направленный на повышение точности и смягчение явления Гиббса. Этот метод, основанный на концепции локализованной полиномиальной выборки на основе произвольного полиномиального хаоса, расширяет свою применимость даже для более низких порядков полиномов. Основываясь на этом, работа [14] представляет два ансамблевых алгоритма, специально предназначенных для вычислений количественной оценки неопределенности. Эти

алгоритмы оптимизируют вычислительный процесс, предоставляя общую матрицу коэффициентов для всех реализаций, тем самым сокращая использование памяти и общее время моделирования. Кроме того, в [15] предложен многомасштабный метод для сжимаемого потока Дарси-Стокса, предлагающий локализованные решения как для задач Стокса, так и для задач Дарси для построения базисных функций. Аналогично, работа [16] исследует метод дробного шага для разделения полей фазы и скорости, и вводит слагаемое стабилизации давления первого порядка в решатель задачи Дарси. Авторы работы [17] предлагают безусловно устойчивый метод, который эффективно разделяет расчет фазового поля, переменной скорости свободного потока и давления. Кроме того, работа [18] подчеркивает важность включения условий на границе раздела в предобуславливатели для достижения масштабируемости в методе конечных разностей маркера и ячейки. В работе [19] предложен смешанный метод конечных элементов для численной реализации модели Стокса–Дарси с новым граничным условием.

Проведем сравнение численных методов, подчеркивая их преимущества и недостатки. В [20] работе нестационарная модель Стокса–Дарси сравнивалась как с многомасштабным методом конечных элементов, так и с методом конечных элементов. Основное различие заключается в их базисных функциях: методы конечных элементов используют общие функции, в то время как многомасштабные методы конечных элементов включают микромасштабные детали области, повышая точность вычислений на грубых сетках. Смешанные методы конечных элементов создают линейные системы со специализированными алгоритмами, в то время как слабые методы конечных элементов Галеркина приводят к более простому решению и предлагают разнообразный выбор пространства конечных элементов. Разрывный метод Галёркина требует управление скачками и средними значениями, в то время как слабый метод конечных элементов Галеркина использует новые операторы и обеспечивает простоту. Слабый метод конечных элементов Галеркина превосходит разрывный метод Галёркина и метод смешанных конечных элементов благодаря более простому использованию, лучшей непрерывности потока, меньшему количеству неизвестных и отсутствию необходимости в штрафных коэффициентах [21]. В [22] двухсеточная схема с использованием непрерывного метода конечных элементов и разрывного метода Галеркина не позволила достичь оптимальных оценок погрешности для ∇u и p в норме L_2 . В [23] модифицированный двухсеточный метод для смешанной модели Стокса–Дарси позволил достичь оптимальных оценок ошибок. Этот метод предполагает сначала решение на грубой сетке, а затем на мелкой. Однако решение подзадачи Стокса на мелкой сетке требует много времени. Для повышения эффективности в [24] предлагается локальный и параллельный алгоритм конечных элементов с использованием двухсеточной дискретизации, с низкочастотными компонентами на грубой сетке и высокочастотными компонентами, вычисляемыми локально и параллельно на мелкой сетке. Классический локальный и параллельный метод конечных элементов, несмотря на высокую степень распараллеливания, приводит к глобальной разрывной аппроксимации. Для достижения непрерывного решения работа [25] представляет новый параллельный метод, использующий разбиение единицы, позволяющий независимые и параллельные решения подзадач Дарси и Стокса на мелкой сетке. Этот подход также включает коррекцию сетки для обеспечения оценок ошибок более высокого порядка для скорости жидкости и пьезометрического напора в норме L_2 . Решеточный метод Больцмана предлагает параллелизм и масштабируемость, что делает его идеальным для моделирования мезомасштабных явлений и неьютоновских потоков. Несмотря на свои сильные стороны, решеточный метод Больцмана имеет ограничения в моделировании течения макроскопических пористых сред, а сложность реализации может препятствовать его широкому использованию [26].

В целом, численные методы играют решающую роль в улучшении нашего понимания течения жидкости в пористых средах и являются незаменимым инструментом для решения уравнений Стокса–Дарси в практических приложениях.

Стохастическая модель Стокса-Дарси

Основным недостатком классической модели Стокса-Дарси является ее неспособность учитывать неопределенности и изменчивость параметров модели, таких как проницаемость, начальные и граничные условия. Детерминистический подход может привести к менее точным и менее надежным решениям при применении к реальным задачам, которым присущи такие неопределенности. Устранение этих недостатков требует принятия более продвинутых подходов к моделированию, таких как стохастическая модель Стокса-Дарси. Стохастическая модель Стокса-Дарси включает случайные и вероятностные распределения, объединяет в структуру стохастичность, неоднородность и неопределенность, что позволяет делать более надежные и реалистичные прогнозы за счет учета эффектов изменчивости и неопределенности параметров, что в конечном итоге приводит к улучшению процесса принятия решений и оценки рисков в практических приложениях. Поэтому многими авторами изучалось стохастическое обобщение модели.

Поскольку обычно тензор гидравлической проводимости $K(x)$ невозможно определить достоверно, запишем его в виде случайного тензора. Пусть (Ω, F, P) – полное вероятностное пространство, где Ω – множество исходов, $F \in 2^\Omega$ — σ -алгебра событий, а $P: F \rightarrow [0,1]$ – вероятностная мера, $K(\omega, x)$ – случайный тензор гидравлической проводимости, $\omega \in \Omega$, $x \in D_p$.

Одним из классических подходов решения стохастических уравнений в частных производных является метод Монте-Карло. Он предполагает приближенное решение для независимых и одинаково распределенных случайных величин посредством повторной выборки входных параметров, и решения соответствующих детерминированных уравнений в частных производных с использованием стандартных численных методов.

Недавно в исследовании [27] для стохастической модели Стокса-Дарси был разработан многосеточный многоуровневый метод Монте-Карло, значительно снижающий вычислительные затраты в вероятностном пространстве. Кроме того, многосеточный многоуровневый метод Монте-Карло, описанный в [28], объединяет многоуровневый метод Монте-Карло и многосеточные методы для повышения эффективности вычислений в вероятностном пространстве. Этот метод продемонстрировал долговременную устойчивость и точность первого порядка по времени при определенном временном шаге и двухпараметрических условиях. В исследовании [29], рассматривающем проблемы решения многомасштабных стохастических уравнений пористой среды, представлены многомасштабные подходы к экономичному разрешению неопределенностей и подсеточным масштабам для количественной оценки неопределенности в геологоразведочных работах.

Кроме того, альтернативный алгоритм, продемонстрированный в [30], обеспечивает устойчивость по времени без дополнительных параметров, представляя общие матрицы коэффициентов для линейных систем в детерминированных численных моделях, тем самым сокращая вычислительные затраты с сохранением точности. Еще одним заметным вкладом является эффективный ансамблевый алгоритм, предложенный в [31], оптимизирующий параметры Робена для ускорения сходимости, в частности достижения почти оптимальной геометрической сходимости при низких гидравлических проводимостях. Методы коллокации [32], предлагают простоту и адаптируемость к нерегулярным границам.

Наконец, различные численные методы, в том числе связанные методы конечных элементов, методы декомпозиции области, методы множителей Лагранжа, двухсеточные методы, несвязанные маршевые схемы, разрывные методы Галеркина, методы граничного интеграла, стохастические методы конечных элементов и многомасштабные смешанные методы конечных элементов были разработаны для получения приближенных решений стохастической модели Стокса-Дарси в нескольких областях с учетом мультифизических факторов.

Стохастическая модель Стокса-Дарси в дробных производных

В современной литературе встречаются математические модели, основанные на том, что явления течения жидкости через пористые среды зависят от их прошлого состояния [32-35]. Это связано с тем, что свойства как породы, так и жидкости изменяются со временем, пока жидкость течет через пористую среду. Поры среды могут увеличиваться из-за химических реакций между средой и жидкостью или могут уменьшаться или даже закрываться из-за осаждения твердых частиц, переносимых жидкостью, или осаждения минералов из жидкости. В результате течение происходит так, как если бы среда имела память [33].

Чтобы глубже понять концепцию памяти среды, рассмотрим следующий пример. Когда все влияющие гидродинамические параметры (давление, температура и т. д.) остаются неизменными, традиционно предполагается, что характеристики горной породы, жидкости и потока остаются постоянными. Однако данные величины зависят от времени и изменяются с течением времени. Таким образом, свойства породы, жидкости и потока в текущий момент зависят от их прошлого состояния, которое необходимо учитывать для определения текущего и прогноза будущего поведения.

В работе [36] в стохастическую модель Стокса-Дарси включена «память» для количественной оценки влияния истории изменения процесса. Таким образом, текущее состояние породы, жидкости и потока представлено как свертка функции памяти и их истории.

В литературе встречаются два типа памяти: временная и пространственная. Пространственная память учитывает предыдущее пространство, через которое прошли жидкости [37]. Чтобы уловить это непрерывное изменение свойств горных пород и флюидов, необходимо учитывать как пространственную, так и временную память. Некоторые модели учитывают только временную память, некоторые – пространственную, а классические модели не учитывают ни один из этих эффектов. Включение временной или пространственной памяти позволило бы сформулировать обобщенную математическую модель, отражающую почти все типы явлений течения, возникающих в пористых средах.

В настоящее время гидродинамические симуляторы пластов основаны на традиционном моделировании. Основным недостатком стохастической модели Стокса-Дарси является то, что она не учитывает важнейшее свойство пористой среды – память, которая существенно влияет на поведение потока жидкости. Однако считается, что модели, не учитывающие влияние истории породы и жидкости, не могут точно отражать характеристики потока жидкости. Для достижения этой цели дробные производные могут помочь лучше, чем обычные производные, поскольку дробные производные функции можно выразить посредством свертки двух функций. Более того, они действуют как обычная производная, когда порядок производной является неотрицательным целым числом.

Следовательно, дробные производные могут использоваться для описания природных явлений, подобно обычным производным, и, кроме того, для представления последствий истории. Историю давления, градиентов давления или любых других параметров можно учитывать, используя производные дробного порядка этого параметра. Для рассмотрения временной памяти используются производные дробного порядка по времени, а для рассмотрения пространственной памяти – производные дробного порядка по пространству.

За последние несколько десятилетий дробное исчисление сыграло важную роль во всех областях науки и техники и, соответственно, значительный интерес вызвали дробные производные и интегралы. Во многих приложениях дробные производные и интегралы обеспечивают более точные модели систем, чем обычные производные и интегралы. Дробное исчисление позволяет описывать различные явления и эффекты в естественных и социальных науках. Было опубликовано много теоретических, численных работ, посвященных течению жидкости через пористую среду. Эти исследования поставили память и дробные производные на центральную роль в точном моделировании потока жидкости через пористую среду [38].

Дробное исчисление, которое представляет собой теорию интегралов и производных дробного порядка, описывает широкий спектр различных типов операторов с нецелым порядком [39]. В прикладной математике важно иметь инструмент, позволяющий адекватно подбирать тип дробных операторов для рассматриваемого типа явлений. Необходимо иметь четкие математические критерии для связи дробных операторов нецелых порядков и тех типов явлений, которые они могут описывать. Дифференциальные и интегральные операторы нецелых порядков являются мощным инструментом моделирования и описания процессов, характеризующихся угасанием памяти и пространственной нелокальностью. Однако не все операторы нецелочисленных порядков могут описать эффекты памяти (или нелокальности).

В работе [40] используется дробная производная в смысле определения Капуто для описания памяти (угасающей памяти).

Приведем обобщение дробного порядка линеаризованной модели Стокса-Дарси:

$$\begin{aligned} \partial_{0,t}^\alpha v_f(x, t, \omega) - \mu \nabla^2 v_f(x, t, \omega) + \nabla p(x, t, \omega) &= f_f(x, t, \omega) && \text{в } D_f \times \tilde{T} \times \Omega \\ \nabla \cdot v_f(x, t, \omega) &= 0 && \text{в } D_f \times \tilde{T} \times \Omega \\ v_f(x, 0, \omega) &= v_0(x, \omega) && \text{в } D_f \times \tilde{T} \times \Omega \\ v_f(x, t, \omega) &= 0 && \text{на } \Gamma_f \times \tilde{T} \times \Omega \\ S \partial_{0,t}^\alpha \phi(x, t, \omega) - \nabla \cdot (K(x, \omega) \nabla \phi(x, t, \omega)) &= f_p(x, t, \omega) && \text{в } D_p \times \tilde{T} \times \Omega \\ \phi(x, 0, \omega) &= \phi_0(x, t) && \text{в } D_p \times \tilde{T} \times \Omega \\ \phi(x, t, \omega) &= 0 && \text{на } \Gamma_p \times \tilde{T} \times \Omega \\ v_f(x, t, \omega) \cdot n_f - K(x, \omega) \nabla \phi(x, t, \omega) \cdot n_p &= 0 && \text{в } \Gamma \times \tilde{T} \times \Omega \\ p(x, t, \omega) - \mu n_f \nabla v_f(x, t, \omega) \cdot n_p &= g \phi(x, t, \omega) && \text{в } \Gamma \times \tilde{T} \times \Omega \\ p(x, t, \omega) - \mu n_f \nabla v_f(x, t, \omega) \cdot \tau_i &= \frac{\alpha_{BJS}}{\sqrt{\tau_i \cdot K(x, \omega) \tau_i}} v_f(x, t, \omega) \cdot \tau_i && \text{в } \Gamma \times \tilde{T} \times \Omega. \end{aligned}$$

Идея включения памяти в моделирование подземных потоков является сравнительно новой. С этой точки зрения предполагается, что все материалы обладают памятью, поэтому считается, что история изменения породы и жидкости влияет на их настоящие и будущие характеристики. Введение производных дробного порядка в модель для учета памяти усложняет уравнения и их численное решение. В отличие от производных целого порядка, производные дробного порядка не имеют единого определения. Разные определения дают разные уравнения для одной и той же модели. Также сложно дискретизировать модель, применяя соответствующие конечно-разностные аппроксимации. Разработка новых схем и алгоритмов для решения полученных уравнений дробного порядка представляет собой сложную задачу.

Таким образом, можно сделать вывод, что состояние изученности модели Стокса-Дарси еще далеко от совершенства. В особенности, требуется изучение обобщения классической модели, позволяющее учесть наследственные эффекты пористой среды, значительно влияющие на процесс течения жидкости. Кроме того, литературный обзор выявил небольшое число работ, направленных на разработку эффективных вычислительных методов реализации данной модели.

Дискуссия

Таким образом, стохастическая модель Стокса-Дарси является основой для понимания гидродинамики во многих сценариях. Хотя классическая модель Стокса-Дарси эффективно отражает ключевые аспекты гидродинамики, она имеет ограничения в учете сложного поведения, наблюдаемого в гетерогенных пористых средах, особенно в отношении эффектов стохастической изменчивости. Стохастическая модель Стокса-Дарси обеспечивает гибкость при учете неопределенностей, присущих течениям в пористых средах, чем классическая модель Стокса-Дарси.

Для более реалистичного описания течений в пористых средах необходимо учесть долгосрочные изменения данных сред. Таким образом, учет неопределенности входных параметров и эффектов памяти пористой среды обеспечивает более реалистичное представление сложной динамики в пористых средах. Этот вывод согласуется с недавними исследованиями, подчеркивающими важность учета эффектов изменчивости и памяти в динамике подземных жидкостей.

Литературный обзор показал, что в последнее время предложены различные численные методы реализации дробной модели Стокса и дробной модели Дарси по отдельности, со строгим доказательством их устойчивости и сходимости. Однако дробное обобщение совместной модели является сравнительно новой областью исследований в вычислительной гидродинамике.

В предыдущей работе авторов [36] была предложена совместная модель Стокса-Дарси дробного порядка, а также предложен численный метод ее реализации. Построенный метод достигает более высокого порядка сходимости по времени по сравнению с предыдущими работами [41,42] за счет специальной аппроксимации дробных производных и членов в слабой формулировке. Более того, применение ансамблевого подхода с параллельным вычислением дискретных дробных производных позволил добиться почти семикратного ускорения вычислений на тестовом примере. Литературный обзор не выявил работ, направленных на дальнейшее изучение предложенной дробно-стохастической модели.

Заключение

Подводя итоги, мы видим, что классическая модель Стокса-Дарси изучается теоретическими и численными методами на протяжении многих лет. В связи с этим предложено множество численных методов и граничных условий. В последнее десятилетие была предложена стохастическая модель Стокса-Дарси, которая является обобщением классического уравнения Стокса-Дарси. Хотя стохастическая модель Стокса-Дарси имеет преимущества перед классической моделью, как уже говорилось выше, она также имеет недостатки, заключающиеся в вычислительной сложности при численных расчетах и неучете памяти – важного свойства пористой среды. Стохастические уравнения Стокса-Дарси дробного порядка являются обобщением стохастической модели Стокса-Дарси, и поскольку эта модель все еще находится на стадии становления, она требует большого объема исследований. Производные дробного порядка имеют множество преимуществ перед классическими производными, поэтому использование стохастической модели Стокса-Дарси дробного порядка чрезвычайно важно в практических приложениях. Дальнейшее исследование авторов будет направлено на разработку и теоретическое обоснование эффективных вычислительных методов реализации данной модели.

Благодарность

Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, грант № AP14871299 (2022-2024 гг).

References

- [1] Jiang N., Li Y. An efficient scalar auxiliary variable partitioned projection ensemble method for simulating surface-groundwater flows // *Mathematics and Computers in Simulation*. – 2024. – Vol. 221. – pp. 39–54. <https://doi:10.1016/j.matcom.2024.02.002>
- [2] Li J, X Zhang X, Li R. A decoupled stabilized finite element method for nonstationary stochastic shale oil model based on superhydrophobic material modification, 2024 (preprint). <https://doi:10.2139/ssrn.4757235>
- [3] Dudun A, Feng Y. Modeling fluid flow in fractured porous media: a comparative analysis between darcy–darcy model and stokes–brinkman model // *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. . – 2024. – Vol. 14(4). – pp. 909–926. <https://doi:10.1007/s13202-023-01743-x>
- [4] Yanren Hou and Yi Qin. On the solution of coupled stokes/darcy model with beavers–joseph interface condition // *Computers amp; Mathematics with Applications*. – 2019. – Vol.77(1). – pp. 50–65. <https://doi:10.1016/j.camwa.2018.09.011>
- [5] Eggenweiler E., Rybak I. Unsuitability of the beavers–joseph interface condition for filtration problems // *Journal of Fluid Mechanics*. – 2020. – Vol. 892. <https://doi:10.1017/jfm.2020.194>
- [6] Angot P. Well-posed Stokes/Brinkman and Stokes/Darcy coupling revisited with new jump interface conditions // *ESAIM: Mathematical Modelling and Numerical Analysis*. – 2018. – Vol.52. – pp. 1875–1890. <https://doi:10.1051/m2an/2017060>
- [7] Lācis U, Sudhakar Y, Pasche S, Bagheri Sh. Transfer of mass and momentum at rough and porous surfaces. // *Journal of Fluid Mechanics* – 2019. – Vol.884. <https://doi:10.1017/jfm.2019.897>
- [8] Eggenweiler E. Rybak I. Effective Coupling Conditions for Arbitrary Flows in Stokes--Darcy Systems // *Multiscale Modeling & Simulation*. – 2021. – Vol.19, – pp. 731–757. <https://doi:10.1137/20m1346638>
- [9] Baigereyev D., Omariyeva D., Temirbekov N., Yergaliyev Y., Boranbek K. Numerical Method for a Filtration Model Involving a Nonlinear Partial Integro-Differential Equation // *Mathematics*. – 2022. – Vol.10. – pp.1319. <https://doi:10.3390/math10081319>
- [10] Bukač M., Muha B, Salgado A. Analysis of a diffuse interface method for the Stokes-Darcy coupled problem // *ESAIM: Mathematical Modelling and Numerical Analysis*. 2023. Vol.57. pp.2623-2658. <https://doi:10.1051/m2an/2023062>
- [11] Discacciati M., Robinson J. Optimized Neumann-Neumann method for the Stokes-Darcy problem. – 2023. (arXiv). <https://doi:10.48550/ARXIV.2304.12728>
- [12] Stein S., Jessen E., Niedens V., Schillinger D. A DEIM driven reduced basis method for the diffuse Stokes/Darcy model coupled at parametric phase-field interfaces // *Computational Geosciences*. – 2022. – Vol.26, – pp.1465-1502. <https://doi:10.1007/s10596-022-10164-4>
- [13] Kröker I., Oladyshkin S., Rybak I. Global sensitivity analysis using multi-resolution polynomial chaos expansion for coupled Stokes–Darcy flow problems // *Computational Geosciences*. – 2023. – Vol.27. – pp.805–827. <https://doi:10.1007/s10596-023-10236-z>
- [14] Jiang N., Yang H., SAV decoupled ensemble algorithms for fast computation of Stokes–Darcy flow ensembles // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. – 2021. – Vol.387. – pp.114–150. <https://doi:10.1016/j.cma.2021.114150>
- [15] Guo B., Mehmani Y., Tchelepi H. Multiscale formulation of pore-scale compressible Darcy-Stokes flow // *Journal of Computational Physics*. – 2019. – Vol.397. <https://doi:10.1016/j.jcp.2019.07.047>
- [16] Chen W., Han D., Wang X. Uniquely solvable and energy stable decoupled numerical schemes for the Cahn–Hilliard--Stokes--Darcy system for two-phase flow // *Numerische Mathematik*. – 2017. – Vol.137. – pp.229–255. <https://doi:10.1007/s00211-017-0870-1>
- [17] Gao Y., Han D., He X., Rūde U. A decoupled numerical method for two-phase flows of different densities and viscosities in superposed fluid and porous layers. – 2021 (arXiv). <https://doi:10.48550/ARXIV.2112.04353>
- [18] Greif Ch., Yunhui He. Block Preconditioners for the Marker-and-Cell Discretization of the Stokes–Darcy Equations // *SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications*. – 2023. 44, – Vol.4. – pp.1540 -1565. <https://doi:10.1137/22m1518384>
- [19] Moutea O., Amri H., Akkad A. Finite Element Method for the Stokes–Darcy Problem with a New Boundary Condition // *Numerical Analysis and Applications*. 2020. Vol.13. pp.136--151. <https://doi:10.1134/s1995423920020056>
- [20] Yachen H., Wenhan Zh., Lina Zh., Haibiao Zh. Finite element method coupled with multiscale finite element method for the non-stationary Stokes–Darcy model. 2024.(preprint) <https://doi:10.48550/arXiv.2403.11600>
- [21] Lin G., Liu J., Marandi F. A comparative study on the weak Galerkin, discontinuous Galerkin, and

mixed finite element methods // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2015. – Vol.273. – pp. 346-362. <https://doi:10.1016/j.cam.2014.06.024>

[22] Chidyagwai P., Rivière B. *A two-grid method for coupled free flow with porous media flow // Advances in Water Resources.* – 2011, – Vol.34. – pp. 1113-1123. <https://doi:10.1016/j.advwatres.2011.04.010>

[23] Zhang T., Yuan J. *Two novel decoupling algorithms for the steady Stokes-Darcy model based on two-grid discretizations // Discrete & Continuous Dynamical Systems.* – 2014. – Vol.19. – pp. 849-865. <https://doi:10.3934/dcdsb.2014.19.849>

[24] Du G., Hou Y., Zuo L. *A modified local and parallel finite element method for the mixed Stokes–Darcy model // Journal of Mathematical Analysis and Applications.* – 2016. – Vol.435. – pp. 1129-1145. <https://doi:10.1016/j.jmaa.2015.11.003>

[25] Du G., Zuo L. *Local and parallel finite element methods for the coupled Stokes/Darcy model // Numerical Algorithms.* – 2020. – Vol.87. – pp.1593-1611. <https://doi:10.1007/s11075-020-01021-5>

[26] Rybak I, Schwarzmeier C., Eggenweiler E., Rüde U. *Validation and calibration of coupled porous-medium and free-flow problems using pore-scale resolved models // Computational Geosciences.* – 2020. – Vol.25. – pp. 621-635. <https://doi:10.1007/s10596-020-09994-x>

[27] Yang Zh, He X., Zhang L., Ming J. *Multi-grid Multi-Level Monte Carlo Method for Stokes-Darcy interface Model with Random Hydraulic Conductivity.* – 2019 (arXiv). <https://doi:10.1007/s10915-021-01742-2>

[28] Yang Zh, He X., Zhang L., Ming J. *A stochastic collocation method based on sparse grids for a stochastic Stokes-Darcy model. // Discrete & Continuous Dynamical Systems.* 2022. Vol.15. <https://doi:10.3934/dcdss.2021104>

[29] Aarnes J., Efendiev Y. *Mixed Multiscale Finite Element Methods for Stochastic Porous Media Flows. // SIAM Journal on Scientific Computing.* – 2008. – Vol.30, – pp.2319-2339. <https://doi:10.1137/07070108x>

[30] He X., Jiang N., Qiu Ch. *An artificial compressibility ensemble algorithm for a stochastic Stokes-Darcy model with random hydraulic conductivity // International Journal for Numerical Methods in Engineering.* – 2019. – Vol.121, – pp.712-739. <https://doi:10.1002/nme.6241>

[31] Shi F., Sun Y., Zheng H. *Ensemble Domain Decomposition Algorithm for the Fully-mixed Random Stokes-Darcy Model with the Beavers-Joseph Interface Condition.* 2022.(arXiv) <https://doi:10.48550/ARXIV.2203.01494>

[32] Yang Zh., Ming J., Qiu Ch., Li M., He X. *A Multigrid Multilevel Monte Carlo Method for Stokes--Darcy Model with Random Hydraulic Conductivity and Beavers--Joseph Condition // Journal of Scientific Computing.* – 2022, – Vol. 90. <https://doi:10.1007/s10915-021-01742-2>

[32] Caputo M. *Models of flux in porous media with memory // Water Resources Research.* – 2000. – Vol.36(3). – pp.693–705. <https://doi:10.1029/1999wr900299>

[33] Caputo M. *Diffusion with space memory modelled with distributed order space fractional differential equations // Annals of Geophysics,* – 2009. – Vol.46(2). <https://doi:10.4401/ag-3395>

[34] Hossain M., Mousavizadegan H., Islam, M. *A new porous media diffusivity equation with the inclusion of rock and fluid memories // Society of Petroleum Engineers.* – 2008.

[35] Iaffaldano G., Caputo M., Martino S. *Experimental and theoretical memory diffusion of water in sand // Hydrology and Earth System Sciences.* – 2005. – Vol.10. – pp.93-100.

[36] Berdyshev A., Baigereyev D., Boranbek K. *Numerical Method for Fractional-Order Generalization of the Stochastic Stokes–Darcy Model // Mathematics.* 2023. Vol.17. pp. 3763. <https://doi:10.3390/math11173763>

[37] Caputo M. *Diffusion with space memory modelled with distributed order space fractional differential equations // Annals of Geophysics.* – 2003. – Vol.46(2), – pp.223-234.

[38] Giuseppe E., Moroni M., Caputo C. *Flux in Porous Media with Memory: Models and Experiments // Transport in Porous Media.* – 2009. – Vol.83(3). – pp. 479-500. <https://doi:10.1007/s11242-009-9456-4>

[39] Ortigueira M., Machado J, *Fractional Derivatives // The Perspective of System Theory, Mathematics.* – 2019. – Vol.7(2), – pp.150. <https://doi:10.3390/math7020150>

[40] Tarasov V., Tarasova S. *Fractional Derivatives and Integrals: What Are They Needed For? // Mathematics.* – 2020. – Vol.8(2). – pp.164. <https://doi:10.3390/math8020164>

[41] Jiang N., Qiu C. *An efficient ensemble algorithm for numerical approximation of stochastic Stokes – Darcy equations // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering.* 2019. Vol.343, pp.249-275. <http://doi:10.1016/j.cma.2018.08.020>

[42] Jiang N., Qiu C. *Numerical analysis of a second order ensemble algorithm for numerical approximation of stochastic Stokes–Darcy equations // Journal of Computational and Applied Mathematics.* 2022. Vol.406. <http://doi:10.1016/j.cam.2021.113934>

К.С. Дальбекова¹, С.Б. Беркімбаева¹, Ф.Р. Гусманова^{2*},
Р.С. Аккозиева¹, А.К. Исакова¹

¹Университет международного бизнеса, г. Алматы, Казахстан

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

*e-mail: grfarida77@gmail.com

СТАБИЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ КВАДРАТИЧЕСКИХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА КОНЕЧНОМ ОТРЕЗКЕ ВРЕМЕНИ

Аннотация

К исследованию нестационарных линейных систем обыкновенных дифференциальных уравнений приводят многие задачи механики и техники, в частности, задачи анализа систем управления и навигации движущихся объектов. Для их успешного решения необходимы эффективные, удобные в применении методы исследования процессов, протекающих в нестационарных линейных системах. Требуется найти такие управляющие воздействия для системы квадратических дифференциальных уравнений, которые будут обеспечивать устойчивость на конечном отрезке времени положения равновесия системы. В статье получено управление такого вида, которое стабилизирует систему квадратических дифференциальных уравнений определенного вида на конечном отрезке времени. Для линейной нестационарной системы было построено управление стабилизирующее данную систему на конечном отрезке времени. Используя условия стабилизации движения было показано выполнения всех условий теоремы о стабилизации движения на конечном отрезке времени.

Ключевые слова: устойчивость движения, линейные нестационарные системы, конечный отрезок времени, фундаментальная матрица, квадратические дифференциальные уравнения, стабилизация движения.

Қ.С. Дальбекова¹, С.Б. Беркімбаева¹, Ф.Р. Гусманова^{2*}, Р.С. Аккозиева¹, А.К. Исакова¹

¹Халықаралық бизнес университеті, Алматы қ., Қазақстан

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

КВАДРАТТЫҚ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ ҚОЗҒАЛЫСЫН ШЕКТЕУЛІ УАҚЫТ АРАЛЫҒЫНДА ТҰРАҚТАНДЫРУ

Аңдатпа

Механика мен техниканың көптеген мәселелері қарапайым дифференциалдық теңдеулердің стационарлық емес сызықтық жүйелерін, атап айтқанда басқару жүйелерін талдау және қозғалатын объектілерді навигациялау мәселелерін зерттеуге әкеледі. Оларды сәтті шешу үшін стационарлық емес сызықтық жүйелерде жүретін үрдістерді зерттеудің тиімді, қолдануға оңай әдістері қажет. Шектеулі уақыт аралығында жүйенің тепе-теңдік жағдайының тұрақтылығын қамтамасыз ететін квадраттық дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін осындай басқару әрекеттерін табу керек. Мақалада белгілі бір типті квадраттық дифференциалдық теңдеулер жүйесін шектеулі уақыт аралығында тұрақтандыратын басқару элементін табу есебі қарастырылған. Сызықтық стационар емес жүйе үшін шектеулі уақыт аралығында берілген жүйені тұрақтандыратын басқару ққрылды. Қозғалысты тұрақтандыру шартын пайдалана отырып шектеулі уақыт аралығында қозғалысты тұрақтандыру туралы теореманың барлық шарттарының орындалатыны көрсетілді.

Түйін сөздер: қозғалыс тұрақтылығы, сызықтық стационарлық емес жүйелер, шектеулі уақыт аралығы, іргелі матрица, квадраттық дифференциалдық теңдеулер, қозғалысты тұрақтандыру.

K.S. Dalbekova¹, S.B. Berkimbaeva¹, F.R. Gusmanova^{2*}, R.S. Akkozieva¹, A.K. Iskakova¹

¹University of international business, Almaty, Kazakhstan

²al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

STABILIZATION OF MOTION OF QUADRATIC DIFFERENTIAL SYSTEMS ON A FINITE TIME PERIOD

Abstract

Many problems in mechanics and technology lead to the study of nonstationary linear systems of ordinary differential equations, in particular, problems in the analysis of control systems and navigation of moving objects. To solve them successfully, effective, easy-to-use methods for studying processes occurring in non-stationary linear systems are required. It is required to find such control actions for a system of quadratic differential equations that ensure stability of the equilibrium position of the system over a finite period of time. In the article, a control of this type is obtained that stabilizes a system of quadratic differential equations of a certain type over a finite period of time. For a linear non-stationary system, a control was constructed to stabilize this system over a finite period of time. Using the conditions for stabilizing motion, it was shown that all the conditions of the theorem on stabilizing motion are fulfilled over a finite period of time.

Keywords: motion stability, linear non-stationary systems, finite time interval, fundamental matrix, quadratic differential equations, motion stabilization.

Основные положения

При изучении различных процессов, происходящих в реальной действительности, приходится сталкиваться с одним из наиболее важных понятий - понятием об устойчивости движения. Основы теории устойчивости движения были разработаны в конце прошлого века русским ученым А.М. Ляпуновым. Им было предложено два метода решения задач устойчивости. Второй (или, как говорят прямой) метод Ляпунова является мощным строгим аналитическим и весьма эффективным методом при решении многих теоретических и прикладных вопросов устойчивости движения. Изложение и развитие этой теории полно освещены в известной монографии А.М.Ляпунова, а также в работах Н.Г. Четаева, Е.А. Барбашина, Н.Н. Красовского, В.И. Зубова, И.Г. Малкина, А.М. Летова, К.П. Персидского и других.

Введение

Как известно, устойчивость по Ляпунову рассматривается на бесконечном интервале времени, что является серьезным препятствием для многих приложений, так как большинство объектов исследования функционируют в течение конечного промежутка времени. В этой связи развитие метода функции Ляпунова применительно к исследованию устойчивости и стабилизации движения на "конечном отрезке времени представляется актуальной задачей.

К исследованию нестационарных линейных систем обыкновенных дифференциальных уравнений приводят многие задачи механики и техники. Они исследованы многими авторами (А.М. Ляпунов, Н.Г. Четаев, Н.П. Еругин, К.А. Абгарян и др.). Наличие зависимости коэффициентов системы от времени вносит принципиальные трудности в изучении структурных свойств системы (устойчивости, управляемости, и наблюдаемости). Исследование устойчивости линейных нестационарных систем на конечном отрезке времени, обеспечивающее точное попадание к началу координат за конечное время.

Методология исследования

Наличие зависимости коэффициентов системы от времени вносит принципиальные трудности в изучении структурных свойств системы (устойчивости, управляемости и наблюдаемости). В статье рассматривается задача исследования стабилизации движения квадратических дифференциальных систем на конечном отрезке времени, обеспечивающее точное попадание к началу координат на конечном интервале времени.

Теоретические исследования проводились на основе общей теории обыкновенных дифференциальных уравнений, теории матриц, теории устойчивости движения и теории управляемости.

Рассмотрим линейную нестационарную функцию

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x + B(t)u, \quad x(t_0) = x_0, \quad t \in [t_0, T], \quad (1)$$

где $A(t)$ и $B(t)$ – матрицы размерности $n \times n$, $n \times r$ соответственно, элементами которых являются кусочно-непрерывные действительные функции времени [1,2]. В частности, A и B могут быть постоянными матрицами или $A(t)x$ не имеет особую точку $(t, x) = (T, x(T) = 0)$ типа $\frac{0}{0}$.

Множество $U \in E^n$, то есть ограничение на управление отсутствует.

Пусть $\Phi(t)$ фундаментальная матрица решений системы

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x,$$

Тогда матрицу $\Phi(t)$ можно определить из матричного дифференциального уравнения [3]

$$\dot{\Phi}(t) = A(t)\Phi(t), \quad \Phi(t_0) = E_n$$

Составляем матрицу $\Phi(t, \tau) = \Phi(t)\Phi^{-1}(\tau)$, определяемую из матричного дифференциального уравнения вида

$$\frac{d}{dt}\Phi(t, \tau) = A(t)\Phi(t, \tau), \quad \Phi(t, t) = E_n$$

Результаты исследования

Справедлива следующая теорема:

Теорема 1. Управление вида

$$u_0(t, x) = -B^*(t)K(t)x, \quad t \in [t_0, T], \quad (2)$$

где

$$K(t) = W^{-1}(t, T), \quad t \in [t_0, T], \quad (3)$$

$$W(t, T) = \int_t^T \Phi(t, \tau)B(\tau)B^*(\tau)\Phi(t, \tau)d\tau,$$

$\Phi(t, \tau)$ является решением системы

$$\frac{d}{dt}\Phi(t, \tau) = A(t)\Phi(t, \tau), \quad \Phi(t, t) = E_n$$

$W(t, T)$, $\forall t \in [t_0, T)$ положительно-определенная матрица, осуществляет стабилизацию движения системы (1) на конечном отрезке времени [4].

Далее, рассмотрим уравнение возмущенного движения, описываемого системой квадратических дифференциальных уравнений:

$$\frac{dx}{dt} = a_i(t)x + x^*D_i(t)x + B_i(t)u, \quad (4)$$

$$t \in [t_0, T), \quad x(t_0) = x_0, \quad i = \overline{1, n}$$

где $a_i(t) = (a_{i1}(t), a_{i2}(t), \dots, a_{in}(t))$ – вектор-строка,

$D_i(t)$ – симметричная $n \times n$ – матрица,

$u = u(t)$ – скалярное управление, $B_i(t)$ – скалярная функция.

где $A(t) = (a_{ij}(t))$, $B(t) = colon (B_1(t), \dots, B_n(t))$

Тогда справедлива следующая теорема [5].

Теорема 2. Пусть выполняются все условия теоремы 1 для системы (1) и

$$u(t, x) = u^0(t, x) + v(t, x), \quad t \in [t_0, T) \quad (5)$$

где скалярная функция

$$v(t, x) = -\sum_{i=1}^n xR_i^*(t, x), \quad z_i = K_i(t) \quad (6)$$

$\dot{K}_i(t) = (K_{i1}(t), \dots, K_{in}(t))$ – i -ая строка матрицы $K(t)$, n – мерные векторы $R_i(t, x)$, $i = \overline{1, n}$

такие, что

$$KB(t)R_i^*(t, x) + R_i(t, x)B^*K = 2D_i(t), \quad i = \overline{1, n} \quad (7)$$

Тогда управление вида (5) разрешает задачу о стабилизации движения на конечном отрезке времени для системы (4)

Доказательство:

Рассмотрим функцию Ляпунова вида [6-8]:

$$V(t, x) = x^*K(t)x, \quad t \in [t_0, T),$$

Полная производная которой по времени в силу системы (4) имеет вид:

$$\begin{aligned} \dot{V}(t, x(t)) &= x^*K(t)x + 2 \sum_{i=1}^n K_i(t)x(a_i(t)x + x^*D_i(t)x + B_i(t)u) = \\ &= x^* \left(\dot{K} + KA(t) + A^*(t)K \right) x + 2x^* \left(\sum_{i=1}^n z_i D_i(t) \right) x + 2x^*KB(t)u(t, x) \end{aligned} \quad (8)$$

Если управление $u(t, x)$ будем определять из условия (5), то из (8) получим

$$\begin{aligned} \dot{V}(t, x(t)) &= x^* \left(\dot{K} + KA(t) + A^*(t)K - KB(t)B^*(t)K \right) x + \\ &+ 2x^* \left(\sum_{i=1}^n z_i D_i(t) \right) x - x^*KB(t)B^*(t) + 2x^*KB(t)v(t, x). \end{aligned}$$

Решение матричного дифференциального уравнения [9]

$$\dot{K} + KA + A^*K - KBV^*K = 0$$

имеет вид (3) и по условию теоремы получим неравенство

$$\dot{V}(t, x(t)) \leq 2x^* \sum_{i=1}^n z_i \left[D_i(t) - \frac{1}{2}KB(t)R_i^*(t) + R_i(t)B^*(t)K \right] x = 0$$

Согласно условиям теорем 1 и 2 можно показать выполнения всех условий теоремы о стабилизации движения на конечном отрезке времени [9, 10].

В качестве примера рассмотрим движение твердого тела с одной осью симметрии, управляемого двумя двигателями, которое описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -\alpha x_2 x_3 + u_1 \cos \omega t \\ \dot{x}_2 = -\alpha x_1 x_3 + u_1 \sin \omega t \\ \dot{x}_3 = u_2, \quad \alpha = \text{const} \end{cases} \quad (9)$$

где x_1, x_2, x_3 – проекции угловой скорости тела на оси, жестко связанные с ним; ω – угловая скорость вращения первого двигателя;

u_1 и u_2 – управляющие моменты.

Задача состоит в построении управления $u_1(t, x)$ и $u_2(t, x)$ переводящего тело из произвольного состояния $x(0) = x_0$ в точку 0 ($x_1 = x_2 = x_3 = 0$) за конечное время.

Дана система квадратических дифференциальных уравнений:

где

$$A = 0, \quad B = \begin{pmatrix} \cos \omega t & 0 \\ -\sin \omega t & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$D_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{\alpha}{2} \\ 0 & -\frac{\alpha}{2} & 0 \end{pmatrix}, \quad D_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{\alpha}{2} \\ 0 & -\frac{\alpha}{2} & 0 \end{pmatrix}$$

Используя теорему 2 управление будем искать в виде

$$u(t, x) = u^0(t, x) + v(t, x)$$

где $u^0(t, x) = -B^*K(t)x$ (по теореме 1), а

$$v(t, x) = - \sum_{i=1}^n z_i R_i^*(t, x)x, \quad z_i = K_i(t)x$$

Найдем $u^0(t, x)$. Для этого нам необходимо определить $K(t)$.

$K(t)$ находим из уравнения:

$$\dot{K} + KA + A^*K - KBV^*K = 0,$$

$$\dot{K} - KBV^*K = 0, \text{ так как } A = 0,$$

или, что то же самое, при $\det K(t) \neq 0$,

$$\frac{dK^{-1}}{dt} = -BV^*$$

Тогда

$$\frac{dK^{-1}}{dt} = - \begin{pmatrix} \cos \omega t & 0 \\ -\sin \omega t & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \omega t & -\sin \omega t & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} =$$

$$= - \begin{pmatrix} \cos^2 \omega t & -\cos \omega t \sin \omega t & 0 \\ -\cos \omega t \sin \omega t & \sin^2 \omega t & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$K_{11}^{-1} = \int_t^T \cos^2 \omega \tau d\tau = \frac{1}{2} \int_t^T (1 + 2 \cos \omega \tau) d\tau =$$

$$= \frac{1}{2} (T - t + \frac{1}{\omega} \sin \omega (T - t) \cos \omega (T + t));$$

$$K_{12}^{-1} = - \int_t^T \cos \omega \tau \sin \omega \tau d\tau = - \frac{1}{2} \int_t^T \sin 2\omega \tau d\tau =$$

$$= \frac{1}{4\omega} \cos 2\omega \tau \Big|_t^T = - \frac{1}{2\omega} \sin \omega (T + t) \sin \omega (T - t);$$

$$K_{22}^{-1} = - \int_t^T \sin^2 \omega \tau d\tau = \frac{1}{2} \int_t^T (1 - \cos 2\omega \tau) d\tau =$$

$$= \frac{1}{2} (T - t - \frac{1}{\omega} \sin \omega (T - t) \cos \omega (T + t));$$

$$K_{33}^{-1} = T - t.$$

$$\Delta = (T - t)^2 - \frac{1}{\omega^2} \sin^2 \omega (T - t)$$

Тогда матрица $K(t)$ будет иметь вид:

$$K(t) = \begin{pmatrix} \frac{2(T - t + \alpha)}{\Delta} & \frac{2\beta}{\omega\Delta} & 0 \\ \frac{2\beta}{\omega\Delta} & \frac{2(T - t + \alpha)}{\Delta} & 0 \\ 0 & 0 & T - t \end{pmatrix}$$

Следовательно, матрица $K^{-1}(t)$ имеет вид:

$$K^{-1}(t) = \begin{pmatrix} \frac{1}{2}(T - t + \alpha) & -\frac{\beta}{2\omega} & 0 \\ -\frac{\beta}{2\omega} & \frac{1}{2}(T - t + \alpha) & 0 \\ 0 & 0 & T - t \end{pmatrix}$$

где

$$\alpha = \frac{1}{2} \sin \omega(T-t) \cos \omega(T+t)$$

$$\beta = \sin \omega(T+t) \sin \omega(T-t).$$

Следовательно, управление $u^0(t, x)$ в силу формулы

$$u(t, x) = -B^*(t)K(t)x, \quad t \in [t_0, T)$$

будет иметь следующий вид:

$$u_1^0(t, x) = \frac{2}{\Delta} \left((T-t-\alpha) \cos \omega t - \frac{\beta}{2} \sin \omega t \right) x_1 + \\ + \frac{\beta}{\omega} \cos \omega t - (T-t+\alpha) \sin \omega t x_2 \\ u_2^0(t, x) = x_3(T-t).$$

Затем используя формулу (6) вычисляем $v(t, x)$

$$v(t, x) = -\sum_{i=1}^n z_i R_i^*(t, x), \quad t \in [t_0, T) \quad (10)$$

$$z_i = K_i(t)x,$$

где $K_i(t) = (K_{i1}(t), K_{i2}(t), \dots, K_{in}(t))$ i -ая строка матрицы $K_i(t)$

$$z_1 = -\frac{2}{\Delta} \left((T-t-\alpha)x_1 + \frac{\beta}{\omega} x_2 \right),$$

$$z_2 = -\frac{2}{\Delta} \left(\frac{\beta}{\omega} x_1 - (T-t+\alpha)x_2 \right),$$

$$z_3 = -x_3(T-t),$$

а $R_i(t, x)$, $i = \overline{1,3}$, такие, что

$$KBR_i^*(t, x) + R_i(t, x)B^*K = 2D_i(t), \quad i = \overline{1,3}.$$

Подставляя вместо $K(t)$, $B(t)$ и $D_i(t)$ данные, и решая это матричное уравнение получаем следующие $R_i(t, x)$, $i = \overline{1,3}$:

$$R_1(t, x) = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \frac{\alpha}{T-t} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad R_2(t, x) = \begin{pmatrix} 0 & \frac{\alpha}{T-t} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad R_3(t, x) = 0.$$

Следовательно, подставляя $R_i(t, x)$ в формулу (10) получим:

$$v_1(t, x) = 0,$$

$$v_2(t, x) = \frac{2}{\Delta T - t} \left(-\beta x_1^2 + \frac{\beta}{\omega} x_2^2 - 2\alpha x_1 x_2 \right).$$

Тогда стабилизирующее управление (5) для системы (9) получаем в виде:

$$u_1(t, x) = \frac{2}{\Delta} \left((T - t - \alpha) \cos \omega t - \frac{\beta}{\omega} \sin \omega t \right) x_1 + \left(\frac{\beta}{\omega} \cos \omega t - (T - t - \alpha) \sin \omega t \right) x_2,$$

$$u_2(t, x) = \frac{2}{\Delta T - t} \left(-\beta x_1^2 - 2\alpha x_1 x_2 + \frac{\beta}{\omega} x_2^2 \right) + x_3(T - t).$$

Дискуссия

Устойчивость по Ляпунову рассматривалась на бесконечном отрезке времени, это в свою очередь являлась серьезной проблемой при решении многих прикладных задач, так как большинство объектов исследования функционируют в течение конечного отрезка времени. Имеются также различные подходы к определению устойчивости на конечном отрезке времени (Н.Г. Четаев, Н.Д. Моисеев, Г.В. Каменков, А.А. Лебедев, К.А. Абгарян и др.).

Но ни одна из известных постановок об устойчивости на конечном отрезке времени не заняла до сих пор доминирующего положения.

При исследовании данной проблемы нами были получено стабилизирующее управление для квадратических дифференциальных систем уравнений на конечном отрезке времени.

Заключение

Для квадратической нестационарной системы вида (1) было построено управление вида (5) стабилизирующее данную систему на конечном отрезке времени. Используя условия теоремы 1 и теоремы 2 было показано выполнения всех условий теоремы о стабилизации движения на конечном отрезке времени, что доказывает о нахождении управления, которое стабилизирует движение рассматриваемой системы на конечном отрезке времени.

Список использованных источников

- [1] Алфутов Н.А., Колесников К.С. Устойчивость движения и равновесия// -М., МГТУ, 2003. – 256 с.
- [2] Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения. – М., Гостехиздат, 1950. – 473 с.
- [3] Меркин Д.Р. Введение в теорию устойчивости движения. – СПб. : Лань-Пресс, 2003.- 304 с.
- [4] Бияров Т.Н., Дальбекова К.С. Исследование устойчивости линейных и квадратических дифференциальных систем.-Монография,-Алматы:Қазақ университет, 2001.-114с.
- [5] Абгарян К.А. К проблеме устойчивости линейных нестационарных систем // Докл. АН СССР.-1989.-Т.308, вып.6. – С.1320-1321
- [6] Айсағалиев С.А. Анализ и синтез автономных нелинейных систем автоматического управления. – Алма-Ата, Наука КазССР, 1980.-244 с.
- [7] Айсағалиев С.А., Севрюгин И.В., Исаева З.Б., Игликова М.Н. Оптимальное управление линейных систем с ограничениями. // Известия НАН РК, КазНУ аль-Фараби, Серия «физика-математическая» – 2021. – 4(338). - С.118– 125 - <https://doi.org/10.32014/2021.2518-1726.73>
- [8] Малкин И.Г. Теория устойчивости движения. – Изд. 2-е, испр. – Москва : Наука, 1966. – 530 с.: ил. – Режим доступа: по подписке. – URL:<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=468145>
- [9] Дальбекова К.С., Гусманова Ф.Р., Беркимбаева С.Б., Искакова А.К. Проблемы устойчивости линейных нестационарных систем на конечном отрезке времени. // Вестник КазНПУ, Серия «Физико-математические науки». – 2020. -№4 (72). – С.52-58- <https://doi.org/10.51889/2020-3.1728-7901.07>
- [10] Косов А.А., Козлов В.М., Об асимптотической устойчивости однородных сингулярных систем с переключениям. // - Академиздатцентр «Наука» РАН. Автоматика и телемеханика. – 2019. – №3. С45-53. <https://doi.org/10.1134/S0005231019030036>

References

- [1] Alfutov N.A., Kolesnikov K.S. Alfutov N.A., Kolesnikov K.S. (2003) *Ustojchivost' dvizheniya i ravnovesiya [Stability of movement and balance].* М., MGTU, –256. (In Russian)
- [2] Lyapunov A.M. (1950) *Obshchaya zadacha ob ustojchivosti dvizheniya [General task of sustainable movement].* М., Gostekhizdat, 473. (In Russian)
- [3] Merkin D.R. (2003) *Vvedenie v teoriyu ustojchivosti dvizheniya. [Introduction to the theory of sustainable motion].* SPb. : Lan'-Press, 304 . (In Russian)
- [4] Biyarov T.N., Dal'bekova K.S. (2001) *Issledovanie ustojchivosti linejnyh i kvadraticeskikh differencial'nyh sistem [Investigation of stability of linear and quadratic differential systems] -Monografiya,* Almaty:Қазақ университет, 114. (In Kazakh)
- [5] Abgaryan K.A. (1989) *K probleme ustojchivosti linejnyh nestacionarnyh sistem [Linear non-stationary systems that are stable to this problem] Dokl. AN SSSR. T.308, vyp.6. 1320-1321.* (In Russian)
- [6] Ajsagaliev S.A. (1980) *Analiz i sintez avtonomnyh nelinejnyh sistem avtomaticheskogo upravleniya. [Analysis and synthesis of autonomous nonlinear systems of automatic control].* Alma-Ata, Nauka KazSSR, 244 s. (In Kazakh)
- [7] Ajsagaliev S.A., Sevryugin I.V., Isaeva Z.B., Iglukova M.N. (2021) *Optimal'noe upravlenie linejnyh sistem s ogranicheniyami. [Optimal control of linear systems with constraints] Izvestiya NAN RK, KazNU al-Farabi, Seriya «fizika-matematicheskaya». 4(338), 118–125.* (In Kazakh) <https://doi.org/10.32014/2021.2518-1726.73>
- [8] Malkin I.G. (1966) *Teoriya ustojchivosti dvizheniya [Theory of sustainable movement].* Izd. 2-e, ispr. Moskva: Nauka, 530: il. Rezhim dostupa: po podpiske. (In Russian) URL:<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=468145>
- [9] Dal'bekova K.S., Gusmanova F.R., Berkimbaeva S.B., Iskakova A.K. (2020) *Problemy ustojchivosti linejnyh nestacionarnyh sistem na konechnom otrezke vremeni.[The problem of stability of linear non-stationary systems on a finite segment of time] Vestnik KazNPU, Seriya «Fiziko-matematicheskie nauki». №4 (72). –52-58.* (In Kazakh) <https://doi.org/10.51889/2020-3.1728-7901.07>
- [10] Kosov A.A., Kozlov V.M. (2019) *Ob asimptoticheskoy ustojchivosti odnorodnyh singulyarnyh sistem s pereklyucheniyam [On the asymptotic stability of homogeneous singular systems with switches] Akademizdatcentr «Nauka» RAN. Avtomatika i telemekhanika. №3. 45-53.* (In Russian) <https://doi.org/10.1134/S0005231019030036>

L.U. Zhadraeva¹, M.K. Shuakayev¹, M.I. Yessenova^{1*}

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: esenova1947@gmail.com

To Memory Shaltay Smagulov

ABOUT SOLUTION OF SINGULAR BILINEAR STOCHASTIC SYSTEMS ON THE BASE SMAGULOV`S CONDITION

Abstract

This work considered class singular bilinear stochastic systems in Langevin's form. The authors presented the definition and application of apparatus, a class of pseudo-semi-inverse matrices, and, for the first time, included Sh.S. Smagulov's initial condition for the class of singular nonlinear stochastic systems in bilinear case. The article considers a system in the form Map «Input – Output» for a class with several inputs in the Langevin's form. On the base of connection between Langevin's form and Volterra's form are proved the theorem about the construction of Volterra's model for a class of singular nonlinear stochastic systems in bilinear case. Also, authors proved theorems about uniqueness, convergence and finitely (on the base class of nilpotent matrices of S. Li) for this Volterra's model in Ito's form in conception of describing the system in form Map «Input – Output» for the above class of systems, but with several inputs. As well known in the problem statement for solving the singular system, in other investigations, initial condition stated, in our view, is incorrect, or this condition is absent. Therefore due to Sh.S. Smagulov's initial condition and on the base apparatus R.S. Sudakov's class of pseudo-semi-inverse matrices and using Sh.L.Sobolev's annihilator can build solutions above named of a class of singular nonlinear stochastic systems in bilinear case.

Keywords: singular, nonlinear, stochastic systems, bilinear, initial condition, annihilator.

Л.У. Жадраева¹, М.К. Шуакаев¹, М.И. Есенова¹

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

Памяти Шалтая Смагулова

О РЕШЕНИИ СИНГУЛЯРНЫХ БИЛИНЕЙНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УСЛОВИЕМ СМАГУЛОВА

Аннотация

В данной работе рассматривается класс сингулярных билинейных стохастических систем в форме Ланжевена. Авторы представили определение и применение аппарата класса псевдо-полуобратных матриц и впервые ввели начальное условие Ш.С. Смагулова для класса сингулярных нелинейных стохастических систем в билинейном случае. В статье рассматривается система в виде отображения «Вход – Выход» для класса с несколькими входами в форме Ланжевена. На основе связи формы Ланжевена и формы Вольтерра доказывается теорема о построении модели Вольтерра для класса сингулярных нелинейных стохастических систем в билинейном случае. Также авторами доказаны теоремы об единственности, сходимости и конечности (на основе класса нильпотентных матриц С. Ли) для этой модели Вольтерра в форме Ито в концепции описания системы в отображения «Вход – Выход» для вышеупомянутого класса систем, но с несколькими входами. Как известно, в постановке задачи для решения сингулярных систем, в других исследованиях, начальное условие указано, на наш взгляд, неверно или это условие вообще отсутствует. Поэтому, благодаря начальному условию Ш.С. Смагулова и на основе аппарата псевдо-полуобратных матриц Р.С. Судакова и с применением аннулятора С.Л. Соболева можно построить решения для вышеназванного класса сингулярных нелинейных стохастических систем в билинейном случае.

Ключевые слова: сингулярные, нелинейные, стохастические системы, билинейные, начальное условие, аннулятор.

Л.У. Жадраева¹, М.Қ. Шуақиев¹, М.И. Есенова¹

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

Шалтай Смағұловты еске алу

СМАГУЛОВ ШАРТЫНДАҒЫ СИНГУЛЯРЛЫ БИСЫЗЫҚТЫ СТОХАСТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ШЕШУ ТУРАЛЫ

Аңдатпа

Жұмыста Ланжевен түріндегі сингулярлы бисызықты стохастикалық жүйелер класы қарастырылған. Авторлар псевдо-жартылай кері матрицалар класының аппаратының анықтамасы мен қолданылуын келтіреді және бисызықты жағдайдағы сингулярлы сызықты емес стохастикалық жүйелер класы үшін Ш.С. Смағұловтың бастапқы шартын алғаш рет енгізді. Мақалада «Кіру – Шығу» бейнелеу түріндегі Ланжевеннің бірнеше кіру формасындағы класы үшін жүйе қарастырылады. Ланжевен мен Вольтерра формалары арасындағы байланыс негізінде бисызықты жағдайдағы сингулярлы сызықты емес стохастикалық жүйелер класы үшін Вольтерра моделінің құрылуы туралы теорема дәлелденеді. Сондай-ақ, бірнеше кірудегі жоғарыда аталған жүйелерге «Кіру – Шығу» бейнелеу сипаттау концепциясында Ито түріндегі Вольтерраның осы моделі үшін бірегейлік, жинақтылық және ақырлылық (С. Лидің нильпотентті матрицалар класы негізінде) туралы түйіндер дәлелденіп беріледі. Белгілі болғандай, басқа зерттеулерде сингулярлы жүйелерді шешу есебінің қойылуында, біздің ойымызша, көрсетілген бастапқы шарты дұрыс емес немесе бұл шарт мүлде жоқ. Сондықтан, Ш.С. Смағұловтың бастапқы шарты арқылы, Р.С. Судаковтың псевдо-жартылай кері матрицалар аппараты негізінде және С.Л. Соболевтің аннуляторын пайдаланып, жоғарыда аталған бисызықты жағдайдағы сингулярлы сызықты емес стохастикалық жүйелер класының шешімдерін тұрғызуға болады.

Түйін сөздер: сингулярлы, сызықты емес, стохастикалық жүйелер, бисызықты, бастапқы шарты, аннуляторы.

Main provisions

In the work author stated of the initial condition of Sh.S. Smagulov in the form of a theorem. Also, in the article presented analytical solution of singular, deterministic, stochastic bilinear systems in Langevin's form based on applying a class of pseudo-semi-inverse matrices with the S.L. Sobolev's annulator used. The system's transition from Langevin's to Ito's form is based on transformation formulas. Solution of singular, deterministic, stochastic bilinear systems is constructed as Volterra's model based on the theory of Volterra's series. The research of Volterra's model is presented as an infinite series on finiteness properties based on applying a nilpotent class forming a Lie algebra. The uniqueness of the Volterra's series proved.

Introduction

The relevance of the research problem presented in this article lies in the fact that there are currently no:

1. Methods of analytical solution of classes of singular systems. However, the world solves the class mentioned above of systems by numerical methods depending on their class.

2. In many studies of classes of singular systems, the state vector is deterministic and singular systems practically lack an initial condition. However, due to the dynamism property, such an initial condition must necessarily be present. On the other hand, in many studies, the initial condition is present, but in our opinion, it is set incorrectly, due to the active action of the matrix (our operator, representing a degenerate or rectangular shape on the system, automatically generates its actions on the initial condition. The correct setting of initial conditions is crucial for the accurate analysis and control of singular systems, a point we will further elaborate on in this article.

Based on the above, this paper's research topics are very relevant.

The research presented in this article aims to develop a new analytical method for solving classes of deterministic, stochastic bilinear systems with the properties of singularity (descriptor) and non-

incorrectness based on the initial condition of Sh.S. Smagulov, apparatus of pseudo–semi–inverse matrices, and theory of Volterra's series.

Research methodology

The problem of analytically solving singular, deterministic, stochastic bilinear systems rests on the solution of the following tasks.

1. The initial condition setting for this class of systems needs to be more correct.
2. Properties of the singularity of the system automatically determine properties of the incorrectness of this system.

In connection with the above, we can state that the methodology of solving problems formulated in this work is divided into two stages. The first stage eliminates the disadvantages of setting the initial condition, which is generally absent, or the authors ignore the properties of the systems dynamism. The second stage of the study consists of the following sequences of steps.

Step 1. Analytical solution of singular, deterministic, stochastic bilinear systems, Langevin's formula presented.

Step 2. The system transition mentioned above from Langevin's form to Ito's form.

Step 3. Constructing solutions of singular, deterministic, stochastic bilinear systems in the form of Volterra's model.

Step 4. A study of Volterra's model presented as an infinite series on finiteness properties.

Step 5. A study of Volterra's model presented as an infinite series on uniqueness properties.

Results of the study

As previously noted, the methodology for solving the problems formulated in this work is divided into two stages.

In the first stage, the initial condition of Sh.S. Smagulov formulated in the form of a theorem of the same name. In the second stage, at the first step, the analytical solution of singular, deterministic, stochastic bilinear systems presented in Langevin's form based on applying a class of pseudo-semi-inverse matrices with the S.L. Sobolev's annular used. The system's transition from Langevin's to Ito's form in the second step is based on transformation formulas. In the third step, the solution of singular, deterministic, stochastic bilinear systems is constructed as Volterra's model based on the theory of Volterra's series. In the fourth step, the study of Volterra's model is presented as an infinite series on finiteness properties based on applying a nilpotent class forming a Lie algebra. In the fifth step, the uniqueness of the Volterra's series proved.

The device pseudo inverse Moore – Penrose's matrices were presented for the first time in [1]. In [2], Sobolev's matrices are given, and S.L. Sobolev's theorem for the solution of systems of algebraic equations, which was also used in [1]. In [3], the theory of the class mentioned above of nonlinear pseudo–semi–inverse matrices for the first time presented matrices of R.S. Sudakov and her application to problems of an assessment of the reliability of systems. In [3], the remark is made that pseudo the return matrices; it is difficult to use the theory in several tasks from linear algebra.

The definition of Drazin matrices in [4] introduced a unique class of matrices, characterized by their nilpotent structure. Their application to the solution of nonlinear singular differential equations, using the theorem of S. L. Sobolev, was also discussed. It's important to note that the Drazin matrices form a distinct and narrow class with properties that are not commutative, as mentioned in [3] for pseudo-inverse matrices.

Now, we present an analysis of Stochastic Realization Methods. From it [4,5] came a great idea "to formulate the realization theory of stochastic processes in the same natural way as it is done in the case of deterministic systems. "In this direction, one of the most profound studies of linear discrete stochastic implementation problems was done in [6]. The first stage of the algorithm for solving this problem is to solve the well-known problem of linear deterministic implementation [7] for the case when parameters are set in the "weighting function". In the second step, we solve the problem of

spectral factorization, which is completed by solving the algebraic Riccati equation. You can specify a number of papers that have used this idea [8,9]; however, in the studies mentioned above.

In [10], the control problem of switched singular systems was investigated, with the aim of compressing their inconsistent state jumps when a switch occurs between two different singular subsystems. In [11], a definition of a transform was presented, which reformulates a system with delays into a singular linear system of differential equations. This transform is significant as it introduces non-square constant matrices with a greater number of columns than rows. In engineering applications, the complexity increase implies that the accuracy of these systems cannot be adequately described by linear singular systems, posing a significant challenge that this research aims to address.

Proving the results valid for complex-valued functions could be considered to be a future problem. Moreover, as done in [11], we can consider analyzing a system with delay by reformulating it into a singular linear system of differential equations as future work. We believe that the results of this paper are of great significance for the relevant community and can be used, for instance, to investigate switched singular time-delay systems. The authors explored the singular system within a category of DEs with multiple delays in his work documented in [11].

It [12] was developed and summarizes the results of previous studies for non-stationary time-continuous linear stochastic systems. The focus is on the probabilistic aspects, the conclusion of the natural representation of the process state as the state of the stochastic limited "input-output" display, and the implementation as a "representation of the update release".

Imposed on the process conditions, it may be time-dependent and can lead to realization of larger dimensions. Classes of fixed order models ("guaranteed models") were defined as having a common correlation matrix of combined vector's outputs in the range of determination greater than or equal to the correlation matrix of the process. This approach is not just theoretical, but also applied in the practical problem of detecting the smallest order models of high-order correlation matrices in numerical form, making it highly relevant to real-world problems.

Wiener's theory was used to prove the theorem of stochastic nonlinear realization existence in Hilbert's space. Its analysis critically depends on the assumption that Volterra's kernels are set to update the representation of the output process, as the problem of definition of these kernels is non-trivial.

It [13] presented the initial condition for the Aver-Stokes equation. These ideas were developed further [14-18].

Discussion

The basic definitions of the theory of pseudo- semi-inverse matrices.

Definition 1. For the matrix E of dimension m by n , the matrix E^c is called a pseudo semi-inverse matrix if the following relationship

$$E = EE^cE, \tag{1}$$

Definition 2. Matrix R is called left S. L. Sobolev's annihilator, if

$$R = I - EE^c$$

In presented algorithms for finding the pseudo semi-inverse matrices, but not the only way.

Mathematical formulation of the problem

Consider the Singular Bilinear Stochastic System of the Langevin's form

$$\begin{aligned} Ex(t) &= Ax(t) + Bx(t)U(t) \\ Ex(t_0) &= Ex_0 \end{aligned} \tag{2}$$

$$y(t) = Vx(t) \tag{3}$$

where A, B – square matrices, dimensional $m \times n$, $x(t)$ – n -dimensional vector-column, C – the row of identical dimensionalities, $U(t)$ – standard Wiener process. For system (2)- (3) required to find the Map "Input-Output". Input $U(t)$ and Output $Y(t)$ can be measured at any moment of time.

$$\det(E) = 0.$$

It is supposed, that processes $x(t)$ is independent for all t, t_0, t_1 and the matrix $Q = Ex_0x_0^T$
Sh.S. Smagulov's Theorem 1 Initial condition for class of singular deterministic and stochastic systems presented by formula (2).

Proof: We use properties of action singular operator on system.

Theorem 1 is proved.

Definition 3. Condition (2) called Sh.S. Smagulov's initial condition for singular systems.

Theorem 2. For Singular Bilinear Stochastic Systems (2) – (3) with n there exists mathematical model by following form:

$$x(t) = A_1\tilde{x}(t) + B_1\tilde{x}U(t) + B_2V(\xi) \quad (4)$$

Where

$$A_1 = E^c \cdot A, \quad B_1 = E^c \cdot B, \quad B_2 = I - E^c \cdot E \quad (5)$$

E^c – Pseudo-semi-inverse matrix;

$V(\xi)$ – constant vector,

If and only if

$$E \cdot E^c(Ax(t) + B_1xU(t)) = Ax(t) + BxU(t) \quad (6)$$

Proof:

Suppose, that (4) is true. Multiplying of both parts of equation (4) in left on matrix E , we have

$$Ex(t) = E(A_1x(t) + B_1x(t)U(t)) + E(I - E^cE)$$

or

$$Ex(t) = EE^c(Ax(t) + Bx(t)U(t)) + E - EE^cE$$

Since

$$E = EE^cE$$

According to condition (6), we obtain following equation

$$Ex(t) = Ax(t) + Bx(t)U(t)$$

Theorem 2 is proved.

On the basis of Theorem 2, we use the representation of the system (2) as (4).

Problem state

Required to find the solution of system (2) - (3) in Langevin's form with several inputs due to the transformation we can receive in the form of Volterra's stochastic series in Ito's form or receive Map «input-output» and investigate its uniqueness, convergence and finite properties.⁴

Central to our analysis are one-dimensional centered random variables, which we consider as the norm for convergence in our study.

$$\|\xi\| = \sqrt{E\xi^2} \quad \text{The convergence of } n\text{-dimensional variables}$$

$$\eta = (\eta_1, \dots, \eta_n)$$

is defined by norm

$$\|\eta\| = \sqrt{\sum_{i=1}^m \eta_i^2}$$

norm of matrix random variables

$$\xi = (\xi_{ij})$$

is defined as operaturny norm of the type:

$$\|\xi\| = \sup_{g \neq 0} \frac{\|I g\|}{g} .$$

Where

$$I = (\|\xi_{ij}\|)$$

On the basis of Theorem 1, we use the representation of the system (2) as (4).

Problem state

It is required to find the solution of system (4) - (3) in the form of Volterra's stochastic series or receive Map «input-output» and investigate its uniqueness, convergence and finite properties.

The solution to the problem is not just a mere result but a profound revelation, as it follows from the following theorem.

Theorem 3. For the stochastic bilinear system (2) - (3) in Langevin's form with several inputs there is only unique solution presented in the form of Volterra`s series: in Ito`s form

$$y(t) = ce^{At}x_0 + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^m \dots \sum_{p=1}^m \int_0^t \int_0^{e_1} \int_0^{e_{i-1}} ce^{A(t-e_1)} B_j e^{A(e_1-e_2)} B_p e^{A(e_{i-1}-e_1)} \quad (7)$$

$$x_0 dW_j(e_1) \dots dW_p(e_1) + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^m \int_0^t \int_0^{e_1} \int_0^{e_{i-1}} ce^{A(t-e)} B_j e^{A(e_1-e_2)} B_j \dots e^{A(e_{i-1}-e_1)} \cdot x_0 dW_j(e_1) \dots dW_j(e_1)$$

which uniformly converges under a sufficient condition: for any matrices $A, B_1 (i = 1, \dots, m), x_0$ and any fixed t , exists $\varepsilon > 0$, and that at any $B_1 (i = 1, \dots, m)$:

$$\|B_i\| < \varepsilon, (i = 1, \dots, m), \quad (8)$$

which is finite, if the set of matrices is nilpotent (Lie`s algebra).

Proof analogously as proof for deterministic bilinear systems (See [14]).

Proof: We consider system in form Map «Input – Output» for class of systems, but with several inputs in the Langevin's form. Using connection between Langevin's form and Volterra's form. (See [14]).

The construction of Volterra's model.

Applying Ito's formula of stochastic differentiation we have:

$$dd(e^{-At}x(t)) = e^{-At}dt - Ae^{-At}x(t)dt = e^{-At}(dx - Axdt) = e^{-A(t)}(\sum_{i=1}^N B_i x(t)dW_i(t)) \quad (9)$$

Integrating both parts, we obtain:

$$e^{-At}x(t) - x_0 = \sum_{i=1}^N \int_0^t e^{-Ae} B_i x(e)dW_i(e) \quad (10)$$

From here

$$x(t) = e^{-At}x_0 + \sum_{i=1}^N \int_0^t e^{A(t-e)} B_i x(e) dW_i(e) \quad (11)$$

The right-hand part of the integral equation (10) denoted through \hat{G} where the operator \hat{G} – acts from the space of all Gaussian processes with the norm $\sup \|x(\varepsilon)\|$ on the interval $(0,t)$ in himself. For the solution of the equation (11) we write it in a recurrent form:

$$x^{(k+1)}(t) = e^{At}x_0 + \sum_{i=1}^N \int_0^t e^{A(t-e)} B_i x^{(k)}(e) dW_i(e) \quad (12)$$

To the equation (12) we apply the method of consecutive approximation, and then we obtain:

$$x^{(1)}(t) = e^{At}x_0 + \sum_{i=1}^N \int_0^t e^{A(t-e)} B_i x_0 dW_i(e)$$

$$x^{(2)}(t) = e^{At}x_0 + \sum_{i=1}^N \int_0^t e^{A(t-e)} B_i x^{(1)}(e) dW_i(e) = e^{At}x_0 + \sum_{i=1}^N \int_0^t e^{A(t-e)} B_i e^{Ae_1} x_0 dW_i(e)$$

$$+ \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^N \int_0^t \int_0^e \int_0^e e^{A(t-e_1)} B_j e^{A(e_1-e_2)} \cdot B_j x_0 dW_i(e_2) dW_i(e_1)$$

Finally directing $k \rightarrow \infty$, we have:

$$x(t) = ce^{At}x_0 + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^N \dots \sum_{p=1}^N \int_0^t \int_0^{t_1} \dots \int_0^{t_{i-1}} e^{A(t-e_1)} B_j e^{A(e_1-e_2)} \quad (13)$$

$j \neq \dots \neq p$

$$B_p e^{A(e_{i-1}-e_j)} x_0 dW_i(e_1) \dots dW_p(e_p) + \dots$$

$$+ \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^N \int_0^t \int_0^{e_1} \int_0^{e_{i-1}} e^{A(t-e_1)} B_i e^{A(e_1-e_2)} B_i \dots e^{A(e_{i-1}-e_i)} x_0 dW_j(e_1) \dots dW_j(e_i)$$

From here we have (8).

Notation. Representation (13) contains from real and stochastic of parts. However, in this case, members obtained by way of conversion from Langevin's form to Volterra's form are contained in real part of formula (13). Likewise, we use formulas (5).

Uniqueness

To prove the uniqueness, we address the operator equation (11).

If the coefficients of the equation (11) are measurable functions on a Hilbert space and the fact that:

$$E \|n_2(t) - n_1(t) - \| \leq c \int_{t_0}^t \| \xi_2(e) - \xi_1(e) \|^2 de$$

where

$$\| \xi \|^2 = \sup^Y \| \xi^0 \|^2,$$

we have:

$$E \| \hat{G}(x_2)(t) - \hat{G}(x_1)(t) \|^2 \leq c \int_{t_0}^t E \| x_2(e) - x_1(e) \|^2 de$$

Integrating this assessment, we have:

$$E\|\hat{G}^2(x_2)(t) - \hat{G}^2(x_1)(t)\|^2 \leq \int_{t_0}^t E\|\hat{G}(z_2)(e) - \hat{G}(z_1)(e)\|^2 de \\ \leq c^2 \int_{t_0}^t de_1 \int_{t_0}^t E\|x_2(e) - x_1(e)\|^2 de \leq \frac{c^2(\tau - t_0)^r}{r!} \|x_2 - x_1\|^2$$

And then by induction:

$$\|\hat{G}^r(x_2)(t) - \hat{G}^r(x_1)(t)\|^2 \leq \frac{c^r(\tau - t_0)^r}{r!} \|x_2 - x_1\|^2$$

Thus, for sufficiently large r the inequality is:

$$\frac{c^r(\tau - t_0)^r}{r!} < I,$$

then the corresponding map \hat{G}^r is squeezing. This implies the existence of a unique fixed point \hat{G} of the map that is unique (if we identify processes and, that is stochastically equivalent processes).

Conclusion

On the results of this work, we can present the following conclusions:

1. We considered bilinear stochastic singular systems in Langevin's form, which is very ineffective for investigating deterministic nonlinear singular systems.
2. In this work, authors presented the definition and application of apparatus, a new class of pseudo-semi-inverse matrices.
3. As is well known, in the problem statement for solving singular systems, the initial condition stated in our view is noncorrect, or this condition is absent. For the first time, including Sh. S. Smagulov's initial condition for a class of singular nonlinear stochastic systems in bilinear case.
4. This work considered a system as a Map «Input - Output» for a class of systems but with several inputs in Langevin's form.
5. We considered the connection between Langevin's form and Volterra's form.
6. In a bilinear case, we proved the theorem about constructing Volterra's model for a class of singular nonlinear stochastic systems.
7. Also, the authors proved theorems about uniqueness, convergence, and finiteness (on the class of nilpotent matrices of S. Li) for Volterra's models in Ito's form in conception of describing a system in form Map «Input - Output» for the aforementioned class of systems, but with several inputs.
8. Due to Sh. S. Smagulov's initial and on-the-base apparatus R.S. Sudakov's class of pseudo-semi-inverse matrices and use S. L. Sobolev's annihilator, we can construct solutions above the name of a class of singular nonlinear stochastic systems in bilinear case.
9. In future, we can solve problems realization, identification, and deterministic and stochastic nonlinear singular systems.

References

- [1] Albert A. (1977) *Regressija, psevdoinversija i rekurrentnoe ocenivanie [Regression, pseudoinversion and recurrent estimation]*. Moskva: «Nauka», 224.
- [2] Sobolev S.L. (1962) *Vvedenie v teoriju kubaturnyh formul [Introduction to the theory of cubature formulas]*. Moskva: «Nauka», 808.
- [3] Sudakov R.S. (1981) *Teorija psevdopoluobratnyh matric i ejo primenenie k zadacham ocenki nadjozhnosti system [The theory of pseudo-semi-inverse matrices and its application to problems of assessing the reliability of systems]*. Moskva: «Znanie», 72.
- [4] Campbell S.L. (1982) *Singular system of differential equations 2*. San Francisco: Pitman, 1982. Griepentrog.

- [5] Kalman R.E. (1965) *Irascible Realizations and of the Degree of Rational Matrix*. SIAM J. 13, 520 – 544.
- [6] Dorissen H.T. (1990) *A Method for Bilinear Systems Identification*. – XI IFAC World Congress., Tallin., v.3. p.p. 186 – 191.
- [7] Grouch P. and Collingwood P. (1987) *The Observation Space and Realizations Finite Volterra Series.*, SIAM J. Contr. And Opt., v.25, n.2, March, 316 – 333.
- [8] Kalman R.E., Fal b P., Arbib M. (1971) *Ocherki po matematicheskoj teorii system [Essays on mathematical systems theory]*. Mir, 125.
- [9] Kalman R.E. (1979) *On Partial Realizations, Transfer Function and Canonical Forms*. – Acta Polytechnica Scandinavica, 31, p.p. 9 – 32.
- [10] Dassios, I., Tzounas, G., & Milano, F. (2020) *Generalized fractional controller for singular systems of differential equations*. Journal of Computational and Applied Mathematics, 378, 112919, [CrossRef]
- [11] Dassios, I., & Milano, F. *Singular dual systems of fractional-order differential equations*. Mathematical <https://doi.org/10.1002/mma.7584>
- [12] *Methods in the Applied Sciences, 1-18*, (2021). [CrossRef] *Modelling, Identification and Robust Control* (edited by Byrnes C.I., Lindquist A.) North. Holland, Amsterdam, 1986. <https://archive.org/details/modellingidentif0000unse/mode/2up>
- [13] Danaev N.T., Smagulov Sh.S. (1995) *Nekotorye chislennyye metody reshenija uravnenij Nav'e –Stoksa dlja neszhimaemoj zhidkosti [Some numerical methods for solving the Navier–Stokes equations for an incompressible fluid]*. g. Almaty, 19 str. (Preprint IA RK, №11)
- [14] Asaubayev K.Sh., Shuakayev M.K. (1993) «*Rjady Vol'terra i teorija upravlenija*» ["*Volterra Series and Control Theory*"]. tom 1, Alma - Ata, 167.
- [15] Francesco Carravetta, Alfredo Germani, Marat K. Shuakayev «*A New Suboptimal Approach to the Filtering Problem for Bilinear Stochastic Differential Systems*», SIAM J. Control Optim. Vol.38, No.4, pp. 1171 – 1203 USA.
- [16] Zhiguang Fenh, Jiangrong Li, Peng Shi, Haiping Du, Zhengyi Jiand (2021) «*Analysis and Synthesis of Singular*», *Emerging Methodologies and Applications in Modelling, Identification and Control*, pages 1-19, 2021.
- [17] Zhiguang Fenh, Jiangrong Li, Peng Shi, Haiping Du, Zhengyi Jiand (2020) «*Analysis and Synthesis of Singular*», *Emerging Methodologies and Applications in Modelling, Identification and Control*, 1st Edition November 4. <https://www.amazon.com/Synthesis-Methodologies-Applications-Modelling-Identification/dp/0128237392>
- [18] El-Ajou A, Al-ghananeem H, Saadeh R, Qazza A and Oqielat MN (2023) «*A modern analytic method to solve singular and non-singular linear and non-linear differential equations*», 17 April. <https://www.frontiersin.org/journals/physics/articles/10.3389/fphy.2023.1167797/full>

Список использованных источников

- [1] Алберт А. *Регрессия, псевдоинверсия и рекуррентное оценивание*. – Москва: «Наука», 1977. 224с.
- [2] Соболев С.Л. *Введение в теорию кубатурных формул [Introduction to the theory of cubature formulas]*. – Москва: «Наука», 1974.-808 с.
- [3] Судаков П.С. *Теория псевдополубратных матриц и её применение к задачам оценки надёжности систем*. – Москва: «Знание», 1981.- 72 с.
- [4] Campbell S.L. *Singular system of differential equations 2*. San Francisco: Pitman, 1982. Griepentrog. p.167-171.
- [5] Kalman R.E. *Irascible Realizations and of the Degree of Rational Matrix*. – SIAM J. 13 (1965), p.p.520 – 544.
- [6] Dorissen H.T. *A Method for Bilinear Systems Identification*. – XI IFAC World Congress., Tallin, 1990. v.3. p.p. 186 – 191.
- [7] Grouch P. and Collingwood P. *The Observation Space and Realizations Finite Volterra Series.*, SIAM J. Contr. And Opt., 1987, v.25, n.2, March, p.p. 316 – 333.
- [8] Калман Р.Е., Фал б П., Арбиб М. *Очерки по математической теории систем*. – Мир, 1971.-125с.
- [9] Kalman R.E. *On Partial Realizations, Transfer Function and Canonical Forms*. – Acta Polytechnica Scandinavica, 31 (1979), p.p. 9 – 32.

[10] Dassios, I., Tzounas, G., & Milano, F. *Generalized fractional controller for singular systems of differential equations*. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 378, 112919, (2020). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377042720302107>

[11] Dassios, I., & Milano, F. *Singular dual systems of fractional-order differential equations*. <https://doi.org/10.1002/mma.7584>

[12] *Methods in the Applied Sciences*, 1-18, (2021). [CrossRef] *Modelling, Identification and Robust Control* (edited by Byrnes C.I., Lindquist A.) North. Holland, Amsterdam, 1986. <https://archive.org/details/modellingidentif0000unse/mode/2up>

[13] Данаев Н.Т., Смагулов Ш.С. - *Некоторые численные методы решения уравнений Навье – Стокса для несжимаемой жидкости*. - г. Алматы, 1995 г. – 19 стр. – (Препринт ИА РК, №11)

[14] Асаубаев К.Ш., Шуакаев М.К. «Ряды Вольтерра и теория управления». – том 1, Алма - Ата, 1993 г. -167 с.

[15] Francesco Carravetta, Alfredo Germani, Marat K. Shuakayev « *A New Suboptimal Approach to the Filtering Problem for Bilinear Stochastic Differential Systems*», *SIAM J. Control Optim.* Vol.38, No.4, pp. 1171 – 1203 USA.

[16] Zhiguang Fenh, Jiangrong Li, Peng Shi, Haiping Du, Zhengyi Jiand «*Analysis and Synthesis of Singular*», *Emerging Methodologies and Applications in Modelling, Identification and Control*, pages 1-19, 2021.

[17] Zhiguang Fenh, Jiangrong Li, Peng Shi, Haiping Du, Zhengyi Jiand «*Analysis and Synthesis of Singular*», *Emerging Methodologies and Applications in Modelling, Identification and Control*, 1st Edition – November 4, 2020. <https://www.amazon.com/Synthesis-Methodologies-Applications-Modelling-Identification/dp/0128237392>

[18] El-Ajou A, Al-ghananeem H, Saadeh R, Qazza A and Oqielat MN «*A modern analytic method to solve singular and non-singular linear and non-linear differential equations*», 17 April, 2023. <https://www.frontiersin.org/journals/physics/articles/10.3389/fphy.2023.1167797/full>

Ұ.Р. Көшербаева^{1*}, С.А. Алтынбек²

¹әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана қ., Қазақстан

*e-mail: ulbyke1970@gmail.com

ШЕКТЕЛМЕГЕН ОБЛЫСТА ПОЛЯРЛЫҚ ЕРЕКШЕЛІГІ БАР БЕЛЬТРАМИ ТЕҢДЕУІ ҮШІН ҚОЙЫЛҒАН БАСТАПҚЫ- ШЕКАРАЛЫҚ ЕСЕП ТУРАЛЫ

Аңдатпа

Сингулярлы коэффициенттері бар бірінші ретті дербес дифференциалдық теңдеулер жүйелеріне қойылған шекаралық есептерді зерттеу екі бағытта қарастырылады. Біреуінің коэффициенттерінде сингулярлық нүкте бар, ал екіншісінде сингулярлы сызықтар бар. Бұл жұмыста ақырсыз облыста берілген полярлық ерекше нүктесі бар Бельтрами теңдеуі үшін қойылған бастапқы-шекаралық есеп шешілген. Қарастырылған теңдеудің коэффициенттерінің координаталар бас нүктесінде бірінші ретті полюстері бар және олар $L_2(G)$ класында жатпайды. Сондықтан И.Н.Векуаның аналитикалық аппаратымен қамтылмаған және жеке зерттеуді қажет етеді. Есептің шешімін табу үшін функционалдық анализ және комплекс айнымалыға байланысты функциялар теориясының әдістерімен ұштастыра жасалған Ә.Б.Тунғатаровтың зерттеу әдістемесі пайдаланылды. Нәтижесінде полярлық ерекшелігі бар Бельтрами теңдеуіне қойылған бастапқы-шекаралық есептің шешімінің бар болу шарттары табылды және үзіліссіз шешімдері айқын түрде құрылды.

Түйін сөздер: Бельтрами теңдеуі, полярлық ерекшелігі бар теңдеу, бастапқы-шекаралық есеп.

У.Р. Көшербаева¹, С.А. Алтынбек²

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

²Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, г.Астана, Казахстан

О НАЧАЛЬНО-КРАЕВОЙ ЗАДАЧЕ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ БЕЛЬТРАМИ С ПОЛЯРНОЙ ОСОБЕННОСТЬЮ В НЕОГРАНИЧЕННОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация

Исследования по краевым задачам для систем уравнений в частных производных первого порядка с сингулярными коэффициентами развивались в двух направлениях, в одном из которых объектами изучения являлись коэффициенты с сингулярными точками, в другом – с сингулярными линиями. В данной работе решена начально-краевая задача для уравнения Бельтрами с полярной особенностью в неограниченной области. Коэффициенты рассматриваемого уравнения имеют полюс первого порядка в начальной точке координат и не принадлежат даже классу $L_2(G)$. По этой причине, несмотря на свой специфический вид это уравнение не охватывается аналитическим аппаратом И.Н. Векуа и нуждается в самостоятельном исследовании. Для нахождения решения задачи использована методика разработанная А.Б.Тунгатаровым в сочетании с методами теорий функций комплексного переменного и функционального анализа. Устранена зависимость условий малости коэффициентов уравнений от области G , уравнения изучались только в окрестности сингулярных точек. В результате данной работы найдено достаточное условие разрешимости начально-краевой задачи для системы Бельтрами с полярной особенностью.

Ключевые слова: уравнение Бельтрами, уравнение с полярной особенностью, начально-краевая задача.

U. Kusherbayeva¹, S. Altynbek²

¹al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

²K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan

ON THE INITIAL BOUNDARY VALUE PROBLEM FOR THE BELTRAMI EQUATION WITH POLAR SINGULARITY IN AN UNBOUNDED REGION

Abstract

Research on boundary value problems for systems of first-order partial differential equations with singular coefficients developed in two directions, in one of which the objects of study were coefficients with singular points, in the other - with singular lines. In this paper, the problem for the Beltrami equation with a polar singularity in an unbounded domain is solved. The coefficients of the equation have a first-order pole at $z = 0$ and do not even belong to the class $L_2(G)$. For this reason, despite its specific form, this equation is not covered by the analytical apparatus of I.N. Vekua and needs to be independently studied. To find a solution to the problem, the method developed by A.B. Tungatarov in combination with the methods of theories of functions of complex variable and functional analysis was used. The dependence of the conditions of smallness of the coefficients of the equations on the area G was eliminated; the equations were studied only in the neighborhood of singular points. As a result of this work, a sufficient condition for solvability of the initial boundary value problem for the Beltrami system with polar singularity is found.

Keywords: Beltrami equation, equation with polar singularity, initial boundary value problem.

Кіріспе және негіздері

Риман беттерін, Тейхма Мюллер кеңістіктерін, Клейн топтарын, мераморф функцияларды зерттегенде, Клиффорд талдауында, тығыздық нүктесі бар қисықтығы оң ақырсыз аз иілетін беттер теориясында және тығыздық нүктесі бар қисықтығы оң беттерде изометриялы түйіндес координаттарды құрастыру үшін бірінші ретті сызықтық дифференциалдық теңдеуді

$$\partial_{\bar{z}}f = \mu(z)\partial_zf, \quad z \in U \subseteq \mathbb{C}$$

пайдаланады. Осы теңдеуді *Бельтрами теңдеуі (жүйесі)* деп атайды.

Егер $\mu(z)$ Гельдер бойынша үзіліссіз болса, онда U тұйық облысты өзіне көшіретін гомеоморфизм табылатынын И.Н.Векуа [1] дәлелдеді. Ал, Б.В.Боярский [2] бұл нәтижені кез келген өлшемді және шектелген $\mu(z)$ коэффициенті үшін кеңейтті. Осылайша, Бельтрами жүйесінің аналитикалық функциялар арқылы берілген шешімі табылған. Бұл нәтижелер төмендегідей формуламен берілген жалпы эллиптикалық теңдеулер үшін де орындалады:

$$\partial_{\bar{z}}f + \mu_1(z)\partial_zf + \mu_2(z)\overline{\partial_zf} + af + b\bar{f} = 0$$

Мұнда μ_1, μ_2 – өлшемді және шектелген функциялар

$$|\mu_1| + |\mu_2| \leq \mu_0 = \text{const} < 1$$

теңсіздігін қанағаттандырады. Ал, $a, b \in L_p(U)$, $p > 2$.

Теориялық пайымдаулар мен практикалық қажеттіліктер И.Н. Векуаның [3] жалпыланған аналитикалық функциялар теориясын $p < 2$ жағдайға кеңейту қажеттілігіне әкелді. Бұл мәселені Н.Қ. Блиев [4] $B_{p,\theta}^\alpha(U)$ Никольский – Бесов кеңістігі тұрғысынан шешті.

Мұнда U – комплекс жазықтықтағы шекарасы жеткілікті тегіс, шектелген облыс, $1 < p < 2$, $0 < \alpha < 1$, $\theta \geq 1$. Айта кету керек, $1 < p < 2$, $\alpha = 2p - 1$ болғанда $B_{p,\theta}^\alpha(U) \subset L_2(U)$ бірақ, $B_{p,\theta}^\alpha(U) \not\subset L_q(U)$, $q > 2$. Ә.Б. Түнғатаров [5] теңдеуді зерттеу үшін жаңа аналитикалық аппаратты пайдаланды. Ол теңдеудегі коэффициенттерге қойылатын шартты облыстан аластады. Яғни, теңдеу тек сингулярлық нүктенің маңайында қаралады. [1] жұмыстың нәтижелеріне сүйене отырып, тығыздық нүктесі бар қисықтығы оң беттерде изометриялы түйіндес координаттарды тұрғызу Бельтрами теңдеуінің гомеоморфты шешімдерін табумен бірдей екенін З.Д.Усманов [6,7] дәлелдеді.

Д.Б. Кац [8] Бельтрами тендеуінің дербес жағдайы үшін секіріс есебін қарастырды. Д.Қ. Ахмед-Заки [9] сингулярлы түзуі бар бірінші ретті дербес туындылы тендеулер жүйесіне қойылған Дирихле, Нейман, Робин есептерінің үзіліссіз шешімдерін алды. Бұл жұмыстың мақсаты - полярлық ерекшелігі бар Бельтрами тендеуіне қойылған бастапқы-шекаралық есептің шешімінің бар болу шарттарын табу және үзіліссіз шешімдерін айқын түрде құру.

Зерттеу әдіснамасы

Есептің қойылуы Айталық, $\nu > 1$ нақты сан, b_0 –комплекс сан, $k = [\nu]$ болсын. Мұнда $[a]$ – a -ң бүтін бөлігін білдіреді. $R > 0$ және $G = \{z = re^{i\phi}: 0 \leq r < R, 0 \leq \phi \leq 2\pi\}$ болсын.

$$\partial_{\bar{z}}V - \beta e^{2i\phi} \partial_z V + \frac{a(\phi)}{2\bar{z}} V + \frac{b(\phi)}{2z} \bar{V} = 0, \quad (1)$$

Мұнда $0 \leq \beta < 1$ – эллиптикалық шарт, $a(\phi), b(\phi) \in C[0, 2\pi], a(\phi + 2\pi) = a(\phi), b(\phi + 2\pi) = b(\phi)$.
 G облысында (1) тендеудің

$$C(G) \cap W_p^1(G), 1 < p < 2 \quad (2)$$

класта жататын және

$$\frac{\partial^n V}{\partial r^n}(0, \phi) = 0 \quad (n = \overline{1, (k-1)}) \quad (3)$$

$$|V(r, \phi)| = O(r^k), r \rightarrow \infty \quad (4)$$

$$V(r, 0) = V(r, 2\pi) = b_0 r^{\frac{\nu}{1-\beta}}, 0 \leq r < \infty \quad (5)$$

шарттарды қанағаттандыратын шешімін табу керек. Мұнда $k > 1$ бүтін сан.

Есептің шешуі [10] жұмыстың нәтижесінде (1) тендеудің (2) кластағы шешімінің

$$V_\nu(r, \phi) = r^{\frac{\nu}{1-\beta}} \left(\bar{c}_\nu P_{\nu,1}(\phi) + c_\nu P_{\nu,2}(\phi) \right) \times \exp \left(\frac{i}{1+\beta} (\nu\phi + B(\phi)) \right) \quad (6)$$

түрі алынған. Мұнда

$$B(\phi) = \int_0^\phi a(\gamma) d\gamma, \quad A_\nu(\phi) = \frac{i}{1+\beta} b(\phi) \exp \left(-\frac{2i}{1+\beta} (\nu\phi + \operatorname{Re} B(\phi)) \right),$$

$$P_{\nu,1}(\phi) = \sum_{k=1}^\infty I_{\nu,2k-1}(\phi), \quad P_{\nu,2}(\phi) = 1 + \sum_{k=1}^\infty I_{\nu,2k}(\phi),$$

$$I_{\nu,1}(\phi) = \int_0^\phi A_\nu(\gamma) d\gamma, \quad I_{\nu,k}(\phi) = \int_0^\phi A_\nu(\gamma) \overline{I_{\nu,k-1}(\gamma)} d\gamma, (k = \overline{2, \infty}),$$

$$c_\nu = \begin{cases} d, & \Delta_1(\nu) = \Delta_2(\nu) = 0, \\ \Delta_1(\nu)d \cdot \overline{\Delta_2(\nu)} \cdot \bar{d}, & |\Delta_1(\nu)| = |\Delta_2(\nu)| \neq 0 \end{cases} \quad (7)$$

$\Delta_1(\nu) = P_{\nu,1}(2\pi), \quad \Delta_2(\nu) = P_{\nu,2}(2\pi) - \exp \left(-\frac{2\pi i}{1+\beta} (\nu + a_1) \right), \quad a_1 = \frac{B(2\pi)}{2\pi}, \quad d$ – кез келген комплекс сан.

Кез келген бүтін k үшін

$$|\Delta_1(v)| = |\Delta_2(v)| \quad (8)$$

теңдігін қанағаттандыратын v саны $[k, k + 1]$ аралықтан әруақытта табылатыны [10] жұмыста дәлелденген. Сондықтан мұндай v - лер үшін $V_v(r, 0) = V_v(r, 2\pi)$ теңдігі орындалады.

(6) формуламен анықталған $V(r, \phi)$ функция (1) теңдеудің (2) класта жататын және (3), (4) шарттарды және (5) шарттың $V(r, 0) = V(r, 2\pi)$ сол жақ бөлігін қанағаттандыратын шешімі болады.

Енді (7) формуладағы d коэффициентті (5) шарттың оң жақ бөлігін қанағаттандыратындай етіп таңдаймыз. Ол үшін (7) теңдікті (5)-ке апарып қоямыз. (8) теңдік орындалатын жағдайларды қарастырайық.

1) $\Delta_1(v) = \Delta_2(v) = 0$ орындалса, онда $c_v = d$ болғандықтан

$$V_v(r, \phi) = r^{\frac{v}{1-\beta}} \left(\overline{d}P_{v,1}(\phi) + dP_{v,2}(\phi) \right) \times \exp\left(\frac{i}{1+\beta}(v\phi + B(\phi))\right) \quad (9)$$

Демек, есептің (5) шартты қанағаттандыратын (9) формуламен табылатын жалғыз шешімі болады. Бұл шешім $v + \beta \geq 1$ орындалғанда $C^1(G)$ класта жатады, ал $v + \beta < 1$ орындалғанда $C(\overline{G}) \cap W_p^1(G)$ класта жатады, мұнда $1 < p < \frac{2(1-\beta)}{1-v-\beta}$.

2) $|\Delta_1(v)| = |\Delta_2(v)|$, $\Delta_1(v) \neq 0$ орындалатын бірнеше жағдай бар.

2а) $\Delta_1(v) = \Delta_2(v)$, $\Delta_1(v) \neq 0$ болсын.

Онда $Re(b_0 \overline{\Delta_1(v)}) = 0$ орындалғанда есептің (5) шартты қанағаттандыратын (9) формуламен табылатын жалғыз шешімі болады. Бұл шешім

$v + \beta \geq 1$ орындалғанда $C^1(G)$ класта жатады, ал $v + \beta < 1$ орындалғанда $C(\overline{G}) \cap W_p^1(G)$ класта жатады, мұнда $1 < p < \frac{2(1-\beta)}{1-v-\beta}$.

2ә) $\Delta_1(v) = -\Delta_2(v)$, $\Delta_1(v) \neq 0$ болсын.

Онда $Im(b_0 \overline{\Delta_1(v)}) = 0$ орындалғанда есептің (5) шартты қанағаттандыратын (9) формуламен табылатын жалғыз шешімі болады. Бұл шешім

$v + \beta \geq 1$ орындалғанда $C^1(G)$ класта жатады, ал $v + \beta < 1$ орындалғанда $C(\overline{G}) \cap W_p^1(G)$ класта жатады, мұнда $1 < p < \frac{2(1-\beta)}{1-v-\beta}$.

2б) $|\Delta_1(v)| = |\Delta_2(v)|$, $\Delta_1(v) \neq 0$, $\Delta_1(v) \neq \Delta_2(v)$, $\Delta_1(v) \neq -\Delta_2(v)$ болсын.

Онда $\overline{\Delta_1(v)}b_0 + \Delta_2(v)\overline{b_0} = 0$ орындалғанда есептің (5) шартты қанағаттандыратын (9) формуламен табылатын жалғыз шешімі болады. Бұл шешім $v + \beta \geq 1$ орындалғанда $C^1(G)$ класта жатады, ал $v + \beta < 1$ орындалғанда $C(\overline{G}) \cap W_p^1(G)$ класта жатады, мұнда $1 < p < \frac{2(1-\beta)}{1-v-\beta}$.

Нәтижесінде $\Delta_1(v) \neq 0$ болса, онда

$$Re(\Delta_1(v) - \Delta_2(v))Red - Im(\Delta_1(v) + \Delta_2(v))Imd = Reb_0,$$

$$Im(\Delta_1(v) - \Delta_2(v))Red + Re(\Delta_1(v) + \Delta_2(v))Red = Imb_0$$

теңдеулер жүйесін және $\Delta_1(v) \neq -\overline{\Delta_2(v)}$ болса, онда $d = b_0$ аламыз.

Теңдеулер жүйесінің анықтаушы нөлге тең болғандықтан $b_0 \neq 0$ болса, шешім болмайды. $b_0 = 0$ болғанда соңғы теңдеулер жүйесінің шешімін (6) –ға қойсақ, онда $c_\nu = 0$ аламыз.

Зерттеу нәтижелері

Теорема 1. Егер $\Delta_1(\nu) = \Delta_2(\nu) = 0$ орындалса, онда есептің (6) формуламен табылатын жалғыз шешімі болады, мұнда $c_\nu = b_0$.

Бұл шешім $\nu + \beta \geq 1$ орындалғанда $C^1(G)$ класта жатады, ал $\nu + \beta < 1$ орындалғанда $C(\overline{G}) \cap W_p^1(G)$ класта жатады, мұнда $1 < p < \frac{2(1-\beta)}{1-\nu-\beta}$.

Теорема 2. Айталық, $\Delta_1(\nu) \neq -\overline{\Delta_2(\nu)}$, $\Delta_1(\nu) \neq 0$, $\nu - (8)$ теңдеудің шешімі болсын. Онда $b_0 \neq 0$ болса, есептің шешімі жоқ, $b_0 = 0$ болса есептің шексіз көп шешімі бар.

Бұл шешімдер (6) формуламен табылады, мұнда $c_\nu = i\alpha \text{Im}(\Delta_1(\nu) \cdot \Delta_2(\nu))$, α -кез келген нақты сан.

Дискуссия

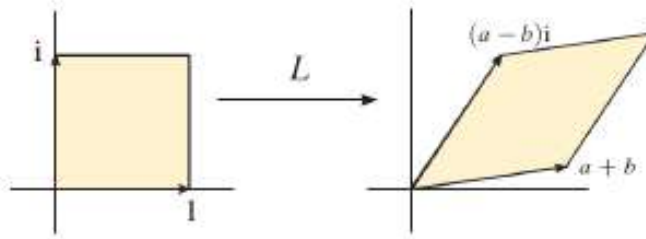
Айталық, \mathbb{C} комплекс жазықтық болсын, әдеттегідей, оң бағытталған стандарт базис $\{1; i\}$. Координат ретінде (x, y) немесе (z, \bar{z}) пайдаланамыз, $z = x + iy$, $\bar{z} = x - iy$.

Сызықтық карта $L: \mathbb{C} \rightarrow \mathbb{C}$ төмендегідей түрде

$$L(z) = az + b\bar{z}$$

жазылады, мұнда $a, b, z \in \mathbb{C}$.

1 және i арқылы тұрғызылған бірлік шаршыны L карта $a + b$ және $ai - bi$ арқылы тұрғызылған параллелограммға бейнелейді. (1-сурет)



Сурет 1. Бірлік шаршының $\{a + b; (a - b)i\}$ параллелограммға бейнесі

Параллелограмның ауданы L -ң анықтаушының абсолют шамасына тең, яғни $\det(L) = |a|^2 - |b|^2$.

Біз бағытты сақтайтын және инверсияланған карта қарастырамыз. Сондықтан $|a| > |b|$ болады.

L үшін Бельтрами коэффициенті етіп $\mu(L) := \frac{b}{a}$ санын аламыз және $\mu(L)$ санының аргументінің жартысын $\theta \in \mathbb{R} \setminus (\pi\mathbb{Z})$ деп белгілейік.

Сонда

$$\mu(L) = \left| \frac{b}{a} \right| e^{i2\theta}$$

Көңіл аударатын жағдай: L бағытты сақтаса, онда $\mu(L) \in D$, D – бірлік дөңгелек. Сондай-ақ, L голоморфты сонда, тек қана сонда егер $b = 0$ немесе $\mu(L) = 0$ болса.

Енді

$$E(L) := L^{-1}(D)$$

деп алайық. Егер $\mu(L) = 0$ болса, онда $E(L)$ эллипс, дербес жағдайда дөңгелек болады. $E(L)$ эллипсті анықтау үшін $a = |a|e^{i\alpha}$, $\alpha \in \mathbb{R} \setminus (2\pi\mathbb{Z})$, $\mu = \mu(L)$ деп алып, L -н түрін қайта жазайық:

$$L(z) = |a|e^{i\alpha}z + |\mu a|e^{i \arg(\mu\alpha)}\bar{z} = |a|e^{i\alpha}(z + |\mu|e^{i2\theta}\bar{z})$$

Осылайша, L – бұл

$$S(z) = |a|e^{i\alpha}(z + |\mu|e^{i2\theta}\bar{z})$$

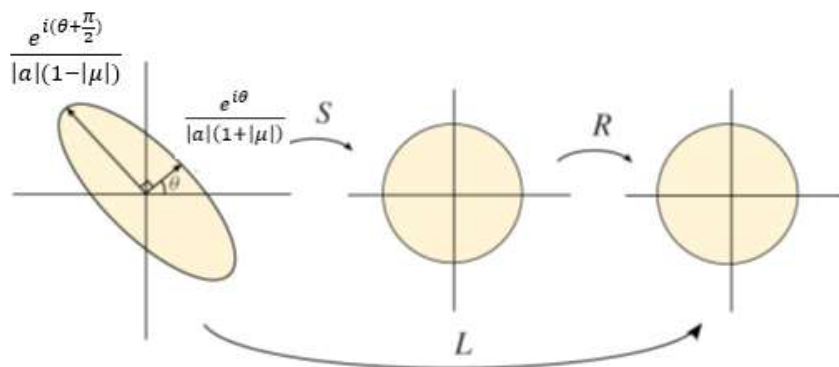
сызықтық картаның $R(z) = e^{i\alpha}z$ айналу көмегімен құрастырылған. $\{1; i\}$ базис бойынша S матрицаның түрі мынадай болады:

$$Mat_{\{1; i\}}(S) = \begin{pmatrix} |a|(1 + |\mu|\cos(2\theta)) & |a||\mu|\sin(2\theta) \\ |a||\mu|\sin(2\theta) & |a|(1 - |\mu|\cos(2\theta)) \end{pmatrix}$$

Дербес жағдайда бұл матрица симметриялы болатыны анық. Сондықтан L –ді өзара түйіндес сызықтық түрлендіру және ортогональ түрлендіру деп екіге бөлуге болады. Осылайша, S –н екі нақты меншікті мәндері бар және егер $b \neq 0$ болса, онда олардың сәйкес меншікті векторлары ортогональ болады.

Матрицаның анықтаушысын есептеу арқылы $|a|(1 + |\mu|)$, $|a|(1 - |\mu|)$ меншікті мәндеріне сәйкес $e^{i\theta}$ және $e^{i(\theta + \frac{\pi}{2})}$ меншікті векторларын аламыз.

Осылайша, $E(S)$ эллипс болады, оның үлкен жарты өсі $e^{i(\theta + \frac{\pi}{2})}$ бағыты бойынша $\frac{1}{|a|(1 - |\mu|)}$ тең, кіші жарты өсі $e^{i\theta}$ бағыты бойынша $\frac{1}{|a|(1 + |\mu|)}$ тең. $E(L)$ эллипсі $E(S)$ эллипсі болады, себебі $R(z) = e^{i\alpha}z$ айналдыруда бірлік шеңбер сақталады (2-сурет).



Сурет 2. $E(S) = E(L)$ эллипс

Үлкен өстің кіші өске қатынасын L кеңею деп атап, $K(L)$ деп белгілейік:

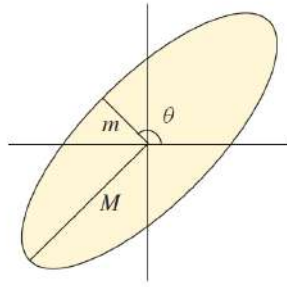
$$K(L) = \frac{1 + |\mu|}{1 - |\mu|} = \frac{|a| + |b|}{|a| - |b|}$$

L –дің күрделі кеңеюін $\mu(L)$ Бельтрами коэффициенті арқылы анықтаймыз. $K(L)$ кеңею эллипстің тек масштабын анықтайды, ал $\mu(L)$ эллипстің масштабы мен қоса өстердің бағытын да анықтайды.

Және керісінше, егер E эллипс берілсе, онда Бельтрами коэффициенті төмендегідей

$$\mu(E) = (M + m)/(M - m)e^{i2\theta}$$

формула арқылы табылады. Мұнда M, t - E эллипстің сәйкес үлкен және кіші жарты өстері, θ - кіші жарты өстің бағытының $[0; \pi)$ аралықтан алынған аргументі (3-сурет).



Сурет 3. E эллипс берілсе, онда Бельтрами коэффициенті M, t арқылы табылады; көңіл бөліңіз: θ аргументі $[0; \pi)$ аралықтан алынады

Айталық, $U \subset \mathbb{C}$ және $TU = \bigcup_{u \in U} T_u U$ - бұл $u \in U$ нүктелеріндегі жанама кеңістіктердің жиынтығы болсын. Олардың әрқайсысын \mathbb{C} кеңістіктегі вектордың көшірмесі деп қарауға болады. Басқа сөзбен айтқанда әрбір $u \in U$ нүкте үшін белгілі масштабқа дейін анықталған $E_u \subset T_u U$ эллипс табылады, оның картасы

$$\mu: \quad \begin{aligned} U &\rightarrow D \\ u &\mapsto \mu(u) \end{aligned}$$

Мұнда $\mu(u)$ арқылы E_u - дағы эллипстің Бельтрами коэффициенті белгіленген (E_u Лебег бойынша өлшемді болады). Әрбір шексіз аз эллипс $T_u U$ - да $\sigma(u)$ конформдық құрылымды анықтайды, яғни, $T_u U$ жанама кеңістікті \mathbb{C} сызықты векторлық кеңістікке айналдырады. Егер комплекс құрылымды σ деп алсақ, онда

$$K(\sigma) = \operatorname{ess\,sup}_{u \in U} K(u), \quad K(u) = \frac{1+|\mu(u)|}{1-|\mu(u)|}$$

E_u - ң кеңеюін береді. $K(\sigma) \in [1; \infty)$ екені анық.

Енді белгілі бір шарттарды қанағаттандыратын карталар арқылы комплекс құрылымды қалай алуға болатынын қарастырайық. Ол үшін $U, V \subset \mathbb{C}$ және $f: U \rightarrow V$ бағыт сақтайтын, үзіліссіз функциялардың класын - $D^+(U, V)$ қарастырамыз. Бұл функциялар барлық жерде дерлік дифференциалданады, әрі сингулярлы емес дифференциал $D_u f: T_u U \rightarrow T_{f(u)} V$ барлық жерде дерлік өлшемді. Біз жанама кеңістікпен жұмыс жасайтын болғандықтан шексіз аз $dz, d\bar{z}$ координаттарды пайдаланамыз. Сонда дифференциалды былай жазуға болады:

$$D_u f = \partial_z f(u) dz + \partial_{\bar{z}} f(u) d\bar{z},$$

Мұнда

$$\partial_{\bar{z}} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial}{\partial x} + i \frac{\partial}{\partial y} \right), \quad \partial_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial}{\partial x} - i \frac{\partial}{\partial y} \right).$$

Дифференциалдық геометрияның, механиканың (беттер теориясы, квазиконформды бейнелеулер, қабықшалар теориясы, газ динамикасы) кейбір есептері осы дифференциалмен тығыз байланыста. Бұл жұмыста қарастырылған тендеудің коэффициенттерінің координаттар бас нүктесінде бірінші ретті полюстері бар. Сондықтан $L_p(U)$, $p > 2$ класында жатпайды. Бұл тендеулердің дифференциалдық геометрияда маңызды қолданыстары бар болғандықтан өзектілігі күмәнсіз. Зерттеу нәтижелері дифференциалдық тендеулер және математикалық физиканың заманауи бағыттары арнасында.

Қорытынды

Бұл жұмыста тығыздық нүктесі бар қисықтығы оң ақырсыз аз ілетін беттер теориясында және тығыздық нүктесі бар қисықтығы оң беттерде изометриялы түйіндес координаттарды құрастыруда туындайтын Бельтрами теңдеуі үшін қойылған шекаралық есеп қарастырылды. Дәлірек айтқанда, $G = \{z = re^{i\phi}: 0 \leq r < R, 0 \leq \phi \leq 2\pi, R > 0\}$ облыста берілген

$$\partial_{\bar{z}}V - \beta e^{2i\phi} \partial_z V + \frac{a(\phi)}{2\bar{z}} V + \frac{b(\phi)}{2\bar{z}} \bar{V} = 0$$

теңдеудің $C(G) \cap W_p^1(G)$, $1 < p < 2$ класта жататын және

$$\frac{\partial^n V}{\partial r^n}(0, \phi) = 0 \quad (n = \overline{1, (k-1)})$$

$$|V(r, \phi)| = O(r^k), \quad r \rightarrow \infty$$

$$V(r, 0) = V(r, 2\pi) = b_0 r^{\frac{\nu}{1-\beta}}, \quad 0 \leq r < \infty$$

шарттарды қанағаттандыратын үзіліссіз шешімі Ә.Б. Тунғатаровтың зерттеу әдісіне сүйеніп табылды.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

[1] Векуа И. Н. *Обобщенные аналитические функции*. М.: Наука, 1988, 512с. <https://urss.ru/cgi-bin/db.pl?lang=Ru&blang=ru&page=Book&id=275914>

[2] Боярский Б. В. // *Обобщенные решения системы дифференциальных уравнений первого порядка эллиптического типа с разрывными коэффициентами*, Матем. сб., 43(85) (1957), с.451–503. <https://www.mathnet.ru/rus/sm5093>

[3] Векуа И. Н. *Системы дифференциальных уравнений эллиптического типа и граничные задачи с применением к теории оболочек* // Матем. сб.- 1952. –Т.31(73), № 2, с.234-314. <https://www.mathnet.ru/rus/sm5531>

[4] Блиев Н.К. *Обобщенные аналитические функции в дробных пространствах*, –Алма-Ата. Наука, 1985, С.159 https://books.google.com/books/about/Obobshchennye_analiticheskie_funksii_v.html?id=LsWzZgEACAAM

[5] Тунғатаров А.Б. *Об одном способе построения непрерывных решений уравнения Карлемана-Векуа с сингулярной точкой* //Дифференциальные уравнения. -1992. Т.28, №8, с.1427–1434. <https://www.mathnet.ru/rus/de7889>

[6] Усманов З. Д. *О бесконечно малых изгибаниях поверхностей положительной кривизны с изолированной точкой уплощения* // Матем.сб.- 1970. –Т.83(125):4(12), с.596-615. <https://www.mathnet.ru/sm3531>

[7] Усманов З.Д. *Бесконечно малые изгибания поверхностей положительной кривизны с точкой уплощения* <https://bibliotekanauki.pl/articles/719678.pdf>

[8] Кац Д.Б. *Показатели Марцинкевича и задача о скачке для уравнения Бельтрами* // Известия вузов. Математика 2017, № 6, с. 44–51 <http://kpfu.ru/science/nauchnye-izdaniya/ivrm>

[9] Akhmed-Zaki D.K., Danaev N.T., Tungatarov A. *Elliptic systems in the plane with singular coefficients along lines* // TWMS Journal of Pure and Applied Mathematics. –Azerbaijan. – 2012. –Vol. 3. –№ 1. – P. 3 - 10. <https://www.naturalspublishing.com/download.asp?ArtCID=17372>

[10] Kuserbayeva, U., Abduakhitova, G. *On continuous solutions of the homogeneous Beltrami equation with a polar singularity* // Complex Variables and Elliptic Equations, Pub Date: 2023-01-16, <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17476933.2023.2164886>

References

- [1] Vekua *Ī. N.* (1988) *Obobshchennye analiticheskie funktsii [Generalized Analytic Functions]*. M.: Nauka, 512. (In Russian) <https://urss.ru/cgi-bin/db.pl?lang=Ru&blang=ru&page=Book&id=275914>
- [2] Boyarskii *B. V.* (1957) *Obobshchennye resheniya sistemy differentsialnyh uravnenii pervogo poryadka ellipticheskogo tipa s razryvnymi koeffitsientami [Generalized solutions of a system of first-order differential equations of elliptic type with discontinuous coefficients]*, *Matem. sb.*, 43(85) (1957), 451–503. (In Russian) <https://www.mathnet.ru/rus/sm5093>
- [3] Vekua *Ī. N.* (1952) *Sistemy differentsialnyh uravnenii ellipticheskogo tipa i granichnye zadachi s primeneniem k teorii obolochek [Systems of differential equations of elliptic type and boundary value problems with application to shell theory]*. *Matem. sb.*- 1952. T.31(73), № 2, 234-314. (In Russian) <https://www.mathnet.ru/rus/sm5531>
- [4] Blied *N.K.* (1985) *Obobshchennye analiticheskie funktsii v drobnnyh prostranstvakh [Generalized analytic functions in fractional spaces]*, Alma-Ata. Nauka, 159 (In Russian) https://books.google.com/books/about/Obobshchennye_analiticheskie_funktsii_v.html?id=LsWzgzEACAAJ
- [5] Tungatarov *A.B.* (1992) *Ob odnom sposobe postroeniya nepreryvnyh reshenii uravneniya Karlemana-Vekua s singulyarnoi tochkoi [On a method for constructing continuous solutions of the Carleman-Vekua equation with a singular point]*. *Differentsialnye uravneniya*. 28, №8, 1427–1434. (In Russian) <https://www.mathnet.ru/rus/de7889>
- [6] Usmanov *Z.D.* (1970) *O beskonechno malyyh izgibaniyakh poverhnosti polozhitelnoi krivizny s izolirovannoi tochkoi uploshheniya [On infinitesimal bendings of surfaces of positive curvature with an isolated point of flattening]*. *Matem.sb.* T.83(125):4(12), 596-615. (In Russian) <https://www.mathnet.ru/sm3531>
- [7] Usmanov *Z.D.* *Beskonechno malyye izgibaniya poverhnosti polozhitelnoi krivizny s tochkoi uploshheniya [Infinitely small bendings of surfaces of positive curvature with a flattening point]*. (In Russian) <https://bibliotekanauki.pl/articles/719678.pdf>
- [8] Kats *D.B.* (2017) *Pokazateli Martsinkevicha i zadacha o skachke dlya uravneniya Beltrami [Marcinkiewicz exponents and the jump problem for the Beltrami equation]*. *Izvestiya vuzov. Matematika*, № 6, 44–51 (In Russian) <http://kpfu.ru/science/nauchnye-izdaniya/ivrm>
- [9] Akhmed-Zaki *D.K.*, Danaev *N.T.*, Tungatarov *A.* (2012) *Elliptic systems in the plane with singular coefficients along lines // TWMS Journal of Pure and Applied Mathematics. –Azerbaijan. – 2012. –Vol. 3. –№ 1. – P. 3 - 10.* <https://www.naturalspublishing.com/download.asp?ArtcID=17372>
- [10] Kuserbayeva, *U.*, Abduakhitova, *G.* (2023) *On continuous solutions of the homogeneous Beltrami equation with a polar singularity // Complex Variables and Elliptic Equations*, Pub Date: 2023-01-16, <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17476933.2023.2164886>

Б.С. Кошкарлова^{1*}, С.К. Бургумбаева¹, О.М. Жолымбаев²

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

²Университет им. Шакарима г. Семей, Казахстан

*e-mail: b-koshkarova@yandex.kz

СВОЙСТВА ИНТЕГРАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ T_1 И Π_1 В ВЕСОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ ЛЕБЕГА

Аннотация

Исследование свойств различного рода интегральных операторов в функциональных пространствах представляет собой интерес как с практической точки зрения в связи с многочисленными приложениями в физике, механике, гидродинамике, акустики и т.д., так и с теоретической точки зрения в связи с развитием таких областей математики, как теория функций и функциональный анализ, теория обобщенных аналитических функций, теория интегральных уравнений. В данной работе мы исследуем свойства двух интегральных операторов $T_1 f$ и $\Pi_1 f$, заданных в единичном круге комплексной плоскости \mathbb{R}^2 , где $f(z)$ комплекснозначная функция комплексной переменной $z = x + iy$, в весовом пространстве Лебега. Интегральный оператор $T_1 f$ потенциальный, а $\Pi_1 f$ – сингулярный оператор. Подобного рода интегральные операторы возникают в различных задачах гидродинамики. Для доказательства использовались методы теории функций и функционального анализа. Полученные утверждения расширяют ранее известные результаты.

Ключевые слова: интегральные операторы, весовое пространство Лебега, потенциальный оператор, сингулярный оператор.

Б.С. Кошкарлова¹, С.К. Бургумбаева¹, О.М. Жолымбаев²

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

²Шәкәрім атындағы Семей университеті, Қазақстан

ЛЕБЕГ КЕҢІСТІГІНДЕ T_1 ЖӘНЕ Π_1 ИНТЕГРАЛДЫҚ ОПЕРАТОРЛАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІ

Аңдатпа

Функциялық кеңістіктердегі интегралдық операторлардың әртүрлі түрлерінің қасиеттерін зерттеу физика, механика, гидродинамика, акустика және тағы басқа көптеген қолданыстарымен байланысты практикалық тұрғыдан да, сонымен қатар, функциялар теориясы және функционалдық анализ, жалпыланған аналитикалық функциялар теориясы, интегралдық теңдеулер теориясы сияқты салаларының дамуымен байланысты теориялық тұрғыдан да қызығушылық тудырады. Бұл жұмыста біз \mathbb{R}^2 комплексті жазықтықтың бірлік шеңберінде анықталған $T_1 f$ және $\Pi_1 f$ екі интегралдық оператордың қасиеттерін салмақты Лебег кеңістігінде зерттейміз, мұндағы $f(z)$ $z = x + iy$ комплексті айнымалыдан тәуелді комплексмәнді функция болып табылады. $T_1 f$ интегралдық оператор потенциалды, ал $\Pi_1 f$ – сингулярлы оператор. Мұндай типті интегралдық операторлар гидродинамикадағы әртүрлі есептерде пайда болуы мүмкін. Дәлелдеу үшін функциялар теориясы және функционалдық анализ әдістері қолданылды. Алынған тұжырымдар бұрын белгілі нәтижелерді кеңейтеді.

Түйін сөздер: интегралдық операторлар, салмақты Лебег кеңістігі, потенциалдық оператор, сингулярлы оператор.

B.S. Koshkarova¹, S.K. Burgumbaeva¹, O.M.Zholymbayev²
¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
²Shakarim University, Semei, Kazakhstan

PROPERTIES OF INTEGRAL OPERATORS T_1 AND Π_1 IN WEIGHTED LEBEGUE SPACE

Abstract

The study of the properties of various kinds of integral operators in function spaces is the interest both from a practical point of view in connection with numerous applications in physics, mechanics, hydrodynamics, acoustics, etc., and from a theoretical point of view in connection with the development of such areas of mathematics as theory of functions and functional analysis, theory of generalized analytic functions, theory of integral equations. In this work we study the properties of two integral operators $T_1 f$ and $\Pi_1 f$, defined in the unit disk of the complex plane \mathbb{R}^2 , where $f(z)$ is a complex-valued function of the complex variable $z = x + iy$, in the weighted Lebesgue space. The integral operator $T_1 f$ is potential, and $\Pi_1 f$ is a singular operator. Integral operators of this kind arise in various problems of hydrodynamics. For the proof, methods of function theory and functional analysis were used. The obtained statements extend previously known results.

Keywords: integral operators, weighted Lebesgue space, potential operator, singular operator.

Введение и основные положения

В данной работе мы рассматриваем интегральные операторы вида:

$$T_1 f(z) = -\frac{1}{\pi} \iint_G \frac{\overline{f(\zeta)}}{1 - \bar{\zeta}z} d\xi d\eta, \tag{1}$$

$$\Pi_1 f(z) = -\frac{1}{\pi} \iint_G \frac{\overline{f(\zeta)}}{(1 - \bar{\zeta}z)^2} d\xi d\eta, \tag{2}$$

где $f(z)$ комплекснозначная функция комплексной переменной $z = x + iy$, G - круг единичного радиуса с центром в начале координат комплексной плоскости $E = \mathbb{R}^2$.

Интегральные операторы типа (1) и (2) могут возникнуть в различных задачах гидродинамики. К примеру, в результате применения методов конформных отображений и теории обобщенных аналитических функций краевая задача со свободной границей, описывающая соударение двух струй идеальной несжимаемой жидкости различных радиусов и общей осью симметрии, приводит к эквивалентному интегральному уравнению вида

$$\rho(w) = \frac{\overline{\Pi\rho - \Pi_1\rho}}{D\rho + \sqrt{(D\rho)^2 + |\overline{\Pi\rho - \Pi_1\rho}|^2}} (\Pi\rho - \Pi_1\rho) + T_1\rho - 2\overline{T_1\rho} - \overline{\Phi'_0(w)},$$

правая часть которого содержит интегральные операторы $T_1 f$ и $\Pi_1 f$ [1].

Цель нашего исследования: изучить свойства интегральных операторов $T_1 f$ и $\Pi_1 f$ в пространствах Лебега $L_p(\bar{G}, \rho^\alpha)$ с весом при различных соотношениях между параметрами p и α .

Исследование свойств различных интегральных операторов в функциональных пространствах представляет собой интерес, во-первых, с необходимостью использования их в многочисленных приложениях в механике, гидродинамике, физике и т.д., а во-вторых, с теоретической точки зрения для развития многих областей математики, таких как, теория функций и функциональный анализ, теория обобщенных аналитических функций, теория интегральных уравнений [2-6].

Как известно, интегральные операторы вида

$$Tf(z) = -\frac{1}{\pi} \iint_G \frac{f(\zeta)}{\zeta - z} d\xi d\eta,$$

$$\text{Pf}(z) = -\frac{1}{\pi} \iint_G \frac{f(\zeta) d\xi d\eta}{(\zeta - z)^2},$$

заданные в некоторой области G комплексной плоскости, хорошо изучены. Оператор Tf является потенциальным оператором, а Pf – сингулярным оператором, они играют основополагающую роль в теории обобщенных аналитических функций и ее приложениях.

Основные свойства данных операторов в обычных классах $L_p(\bar{G})$, $C^\alpha(\bar{G})$ были установлены И.Н. Векуа [7]. Н.К. Блиев обобщил результаты И.Н. Векуа на функции дробного пространства О.В. Бесова $B_{p,\theta}^\alpha$ при определенных соотношениях между параметрами p, α, θ , причем $1 < p \leq 2$ [8].

А. Игликов в работе [1] исследовал данные операторы в весовых пространствах Лебега $L_p(\bar{G}, \rho^\alpha)$ и Гельдера $C_{k,\lambda}^{m,\mu}(\bar{G})$ и получил теоремы, также обобщающие результаты И.Н. Векуа.

М. Отелбаев в работе [9] показал, что самым широким пространством, на которое может быть распространена теория И.Н. Векуа, является $\mathbb{P}_1(\cdot)$, а среди всех симметричных пространств – пространство $\mathcal{L}(2,1)$ Лоренца.

Свойства интегральных операторов (1), (2) были ранее изучены Б.С. Кошкаровой в весовых пространствах Гельдера и в дробных пространствах О.В. Бесова [10].

Методология исследования

Для доказательства основных результатов мы используем методы теории функций и функционального анализа.

В данном разделе мы введем определение весового пространства $L_p(\bar{G}; \rho^\alpha)$, введем весовую функцию и необходимые оценки и утверждения.

Определение [1]. Обозначим через $L_p(\bar{G}; \rho^\alpha)$ банахово пространство комплекснозначных функций $f(z)$, в котором норма элемента определяется равенством

$$\|f\|_{L_p(\bar{G}; \rho^\alpha)} \equiv \|f\|_{p,\rho} = \left(\iint_G \rho^\alpha |f(\zeta)|^p d\xi d\eta \right)^{\frac{1}{p}} < \infty, \quad (3)$$

где весовая функция $\rho(\zeta, D)$ есть неотрицательная непрерывная функция, обращающаяся в нуль на некотором множестве D точек области \bar{G} .

Поскольку норма (3) для различных весов ρ эквивалентны между собой, то, без потери общности, можно в качестве весовой функции взять, например,

$$\rho(\zeta) \equiv \rho_t(\zeta) \equiv \rho(\zeta, t) = \inf |\zeta - t|, \zeta \in \bar{G}, t \in D. \quad (4)$$

Если $D = \emptyset$ – пустое множество, то будем считать, что $\rho(\zeta) \equiv 1$. В (3) α – некоторое постоянное действительное число. Для нас важен случай $0 < \alpha \leq 1$, что и будем предполагать.

Отметим, что если $f(\zeta) \in L_p(\bar{G}; \rho^\alpha)$, то $\varphi(\zeta) = \rho^{\frac{\alpha}{p}} f(\zeta)$, $f(\zeta) \in L_p(\bar{G})$ т.е. $f(\zeta)$ можно представить в виде

$$f(\zeta) = \rho^{-\frac{\alpha}{p}} \varphi(\zeta), \varphi(\zeta) \in L_p(\bar{G}). \quad (5)$$

причем

$$\|f\|_{p,\rho} = \|\varphi\|_p. \quad (6)$$

В процессе доказательства основных результатов мы будем опираться на различные оценки тех или иных интегралов по двумерной области.

Лемма 1 [7]. Если $\alpha < 2, \beta < 2$, то справедлива оценка

$$J(\alpha, \beta) = \frac{1}{\pi} \iint_G |\zeta - z|^{-\alpha} |\zeta - z_1|^{-\beta} dG_\zeta \leq \begin{cases} M'_{\alpha, \beta} |z - z_1|^{2-\alpha-\beta}, \alpha + \beta > 2 \\ M''_{\alpha, \beta}(G) + 8 \ln \|z - z_1\|, \alpha + \beta = 2 \\ M'''_{\alpha, \beta} d^{2-\alpha-\beta}, \alpha + \beta < 2 \end{cases} \quad (7)$$

Лемма 2 [7]. Пусть неотрицательные числа $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ удовлетворяют неравенствам $\lambda_j < 2, f = 1, 2, 3$ и $\lambda_1 + \lambda_3 < 2, \lambda_2 + \lambda_3 < 2$. Тогда справедлива оценка (G – ограниченная область)

$$I(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = \iint_G |\zeta - z_1|^{-\lambda_1} |\zeta - z_2|^{-\lambda_2} |\zeta - z_3|^{-\lambda_3} dG_\zeta \leq \begin{cases} M'(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) |z_1 - z_2|^{2-\lambda_1-\lambda_2-\lambda_3}, \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 > 2, \\ M''(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, C) \ln \|z_1 - z_2\|, \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 2, \\ M'''(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, G), \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 < 2. \end{cases} \quad (8)$$

где $z_1, z_2, z_3, z_1 \neq z_2$, – произвольные точки конечной части плоскости, постоянная M' зависит только от $\lambda_j, j = 1, 2, 3$, а M'' – еще от области G .

Пусть $f(z) \in L_p(\bar{G}, \rho^\alpha), 1 < p < \infty, 0 \leq \alpha < 1, G$ – ограниченная область комплексной плоскости. Тогда с помощью неравенства Гельдера имеем

$$\begin{aligned} \iint_G |f(z)|^{p_1} dG_z &= \iint_G (\rho^\alpha(z) |f(z)|^p)^{\frac{p_1}{p}} (\rho(z))^{-\frac{\alpha p_1}{p}} dG_z \leq \\ &\leq \left[\iint_G \rho^\alpha(z) |f(z)|^p dG_z \right]^{\frac{p_1}{p}} \left[\iint_G (\rho(z))^{-\frac{\alpha p_1}{p-p_1}} dG_z \right]^{\frac{p-p_1}{p}} \leq \\ &\leq M(p, p_1, \alpha, G) \|f\|_{p, \rho^\alpha}^{p_1}. \end{aligned}$$

Отсюда видно, что $f(z) \in L_{p_1}(\bar{G})$, если числа p, α, p_1 связаны соотношением

$$0 \leq \frac{\alpha p_1}{p - p_1} < 2 \text{ или } p_1 < \frac{2p}{2 + \alpha}.$$

Если $p > 1 + \frac{\alpha}{2}$, то всегда можно взять $p_1 > 1$.

Имеют место следующие утверждения.

Теорема А [1]. Если $f(z) \in L_p(\bar{G}, \rho^\alpha)$ и $p > 1 + \frac{\alpha}{2}, 0 \leq \alpha < 1, G$ – ограниченная область, то функция $T(f/z)$ имеет обобщенные производные по z и \bar{z} , причем

$$\frac{\partial T f}{\partial \bar{z}} = f(z), \frac{\partial T f}{\partial z} = P f.$$

Теорема В [1]. Пусть $f(z) \in L_p(\bar{G}, \rho^\alpha)$ и $p > 1 + \frac{\alpha}{2}, 0 \leq \alpha < 1, G$ – ограниченная область. Тогда $P f$ является линейным ограниченным оператором в пространстве $L_p(\bar{G}, \rho^\alpha)$ и отображает это пространство в себя.

Результаты исследования

Теорема 1. Пусть функция $f(z) \in L_p(\bar{G}, \rho^\alpha)$, $1 < p < \infty$ и $0 \leq \alpha < 1$. Тогда

а) если $2 + \alpha > p$, то оператор $T_1 f \in L_{p_1}(\bar{G}, \rho^\beta)$, где $1 \leq p_1 < \infty$, а параметр β удовлетворяют соотношению

$$\frac{\beta + 2}{p_1} > \frac{2 + \alpha}{p} - 1;$$

б) если $2 + \alpha = p$, то оператор $T_1 f \in L_{p_1}(G)$, где $1 \leq p_1 < \infty$;

в) если $2 + \alpha < p$, то $T_1 f \in L_{p_1}(G)$.

Теорема 2. Пусть $f(z) \in L_p(\bar{G}, \rho^\alpha)$, и $p > 1 + \frac{\alpha}{2}$, $0 \leq \alpha < 1$. Тогда $\Pi_1 f$ является линейным ограниченным оператором в пространстве $L_p(\bar{G}, \rho)$ и отображает это пространство в себя.

Дискуссия

Доказательство теорем. Доказательство теоремы 1.

В качестве весовой функции возьмем

$$\rho(\zeta, t) = |\zeta - t|. \quad (9)$$

Оператор $T_1 f$ представляет собой аналитическую в G и непрерывную в \bar{G} функцию, поэтому применяя принцип максимума модуля для аналитических функций, а также используя равенства (5), (6) и неравенство Гельдера, находим

$$\begin{aligned} |T_1 f| &= \frac{1}{\pi} \left| \iint_G \frac{\overline{f(\zeta)}}{1 - \zeta z} d\xi d\eta \right| \leq \frac{1}{\pi} \max_{z \in \Gamma} \left| \iint_G \frac{\overline{f(\zeta)}}{z \left(\frac{1}{z} - \zeta \right)} d\xi d\eta \right| = \frac{1}{\pi} \max_{z \in \Gamma} \left| \iint_G \frac{\overline{zf(\zeta)}}{z - \zeta} d\xi d\eta \right| \leq \\ &\leq \frac{1}{\pi} \max_{z \in \Gamma} \iint_G \frac{\rho^{-\frac{\alpha}{p}} |\varphi(\zeta)|}{|z - \zeta|} d\xi d\eta \leq \frac{1}{\pi} \left(\iint_G |\varphi(\zeta)|^p d\xi d\eta \right)^{\frac{1}{p}} \left(\iint_G \frac{d\xi d\eta}{|\zeta - t|^{\frac{\alpha q}{p}} |\zeta - z|^q} \right)^{\frac{1}{q}} = \\ &= \frac{1}{\pi} \|\varphi\|_{L_p} \left(J \left(\frac{\alpha q}{p}, q \right) \right)^{\frac{1}{q}} = \frac{1}{\pi} \|f\|_{L_{p,p}} \left(J \left(\frac{\alpha q}{p}, q \right) \right)^{\frac{1}{q}}, \end{aligned} \quad (10)$$

где $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1$, а интеграл J оценивается на основании (7) следующим образом [3]

$$J(\mu, \nu) \leq M \begin{cases} |z - t|^{2 - \mu - \nu} & \text{при } \mu + \nu > 2, \\ \ln |z - t| & \text{при } \mu + \nu = 2, \\ 1 & \text{при } \mu + \nu < 2. \end{cases} \quad (11)$$

Положим $\mu = \frac{\alpha q}{p}$, $\nu = q$, тогда

$$2 - \mu - \nu = 2 - \frac{\alpha q}{p} - q = 2 - \frac{\alpha p}{p(p-1)} - \frac{p}{p-1} = \frac{p-2-\alpha}{p-1} \text{ и } \left(2 - \frac{\alpha q}{p} - q\right) / q = \frac{p-2}{p}.$$

Подставляя в (10) оценку (11), получим

$$|T_1 f| \leq \frac{M}{\pi} \|f\|_{L_{p,\rho}} \begin{cases} |z-t|^{\frac{p-2-\alpha}{p}} & \text{при } 2+\alpha > p, \\ \ln|z-t| & \text{при } 2+\alpha = p, \\ 1 & \text{при } 2+\alpha < p, \end{cases} \quad (12)$$

где постоянная M зависит от p и α только в первом случае. Отсюда при $2+\alpha > p$ имеем

$$\left(\iint_G \rho^\beta |T_1 f|^{p_1} dx dy \right)^{\frac{1}{p_1}} \leq C_1 \|f\|_{L_{p,\rho}} \left(\iint_G |z-t|^\beta |z-t|^{\frac{p_1(p-2-\alpha)}{p}} dx dy \right)^{\frac{1}{p_1}}. \quad (13)$$

Здесь интеграл будет конечен, если

$$\beta + \frac{p_1(p-2-\alpha)}{p} < -2,$$

$$\beta p + p_1(p-2-\alpha) + 2p < 0,$$

$$p(\beta+2) < p_1(p-2-\alpha),$$

$$\frac{\beta+2}{p_1} < \frac{p-2-\alpha}{p},$$

$$\frac{\beta+2}{p_1} < 1 - \frac{2+\alpha}{p},$$

т.е. при выполнении соотношения между параметрами

$$\frac{\beta+2}{p_1} > \frac{2+\alpha}{p} - 1, \quad (14)$$

тогда

$$\|T_1 f\|_{L_{p_1,\rho}} \leq C_1 \|f\|_{L_{p,\rho}}, \quad (15)$$

где C_1 по-прежнему зависит только от p и α .

Пусть теперь $2+\alpha = p$, тогда, учитывая оценку (12), получим

$$\begin{aligned} \left(\iint_G |T_1 f|^{p_1} dx dy \right)^{\frac{1}{p_1}} &\leq \frac{M}{\pi} \|f\|_{L_{p,\rho}} \left(\iint_G (\ln|z-t|)^{p_1} dx dy \right)^{\frac{1}{p_1}} \leq \\ &\leq \frac{M}{\pi} \ln 2 \|f\|_{L_{p,\rho}} \left(\iint_G dx dy \right)^{\frac{1}{p_1}} = C_1 \|f\|_{L_{p,\rho}}. \end{aligned} \quad (16)$$

т.е. оператор $T_1 f \in L_{p_1}(\bar{G})$.

При $2 + \alpha < p$, выполнение оценки (16) очевидно.

Таким образом, теорема 1 доказана полностью.

Доказательство теоремы 2.

Здесь, как и при доказательстве теоремы 1, воспользуемся принципом максимума модуля для аналитических функций, а также равенством (6).

$$\begin{aligned} |\Pi_1 f| &= \frac{1}{\pi} \left| \iint_G \frac{\overline{f(\zeta)}}{(1-\bar{\zeta}z)^2} d\xi d\eta \right| \leq \frac{1}{\pi} \max_{z \in \Gamma} \left| \iint_G \frac{\overline{f(\zeta)}}{z^2 \left(\frac{1}{z^2} - 2\frac{\bar{\zeta}}{z} + \bar{\zeta}^2 \right)} d\xi d\eta \right| = \\ &= \frac{1}{\pi} \max_{z \in \Gamma} \left| \iint_G \frac{z^2 \overline{f(\zeta)}}{(z-\zeta)^2} d\xi d\eta \right| = \frac{1}{\pi} \max_{z \in \Gamma} \left| \iint_G \frac{z^2 \varphi(\zeta)}{|\zeta-t|^{\frac{\alpha}{p}} (z-\zeta)^2} d\xi d\eta \right| = \\ &= \frac{1}{\pi} \max_{z \in \Gamma} \left| \frac{z^2}{|z-t|^{\frac{\alpha}{p}}} \left[\iint_G \frac{\varphi(\zeta) \left(|z-t|^{\frac{\alpha}{p}} - |\zeta-t|^{\frac{\alpha}{p}} \right)}{|\zeta-t|^{\frac{\alpha}{p}} (\zeta-z)^2} d\xi d\eta + \iint_G \frac{\varphi(\zeta)}{(\zeta-z)^2} d\xi d\eta \right] \right| = \\ &= \frac{1}{\pi} \max_{z \in \Gamma} \left| \frac{z^2}{|z-t|^{\frac{\alpha}{p}}} [S\varphi + \Pi\varphi] \right|, \end{aligned} \quad (17)$$

где

$$S\varphi = \frac{1}{\pi} \iint_G \frac{\varphi(\zeta) \left(|z-t|^{\frac{\alpha}{p}} - |\zeta-t|^{\frac{\alpha}{p}} \right)}{|\zeta-t|^{\frac{\alpha}{p}} (\zeta-z)^2} d\xi d\eta,$$

$$\Pi\varphi = \frac{1}{\pi} \iint_G \frac{\varphi(\zeta)}{(\zeta-z)^2} d\xi d\eta.$$

Оценка $S\varphi$ была получена в [4]

$$\iint_G |S\varphi|^p dK_z \leq M_1 \iint_G |\varphi(\zeta)|^p |z-t|^\gamma \left(|z-t|^{\frac{a}{q}-(a+\gamma)} |\zeta-z|^{-2+\frac{a}{p}} dK_\zeta \right) dK_\zeta$$

выбирая γ так, чтобы $0 < \gamma < 2(p-1)$ и с помощью неравенства (2.6)

$$\iint_G |S\varphi|^p dK_z \leq M_1^2 \iint_G |\varphi(\zeta)|^p dK_\zeta = M_1^2 \|\varphi\|_p^p$$

где постоянная $M_1 = M_1(a, p, \gamma)$ и не зависит от G и f .

Вернемся к (17)

$$\left(\iint_G |\Pi_1 f|^p |z-t|^\alpha d\xi d\eta \right)^{\frac{1}{p}} \leq \frac{1}{\pi} \left(\iint_G (|S\varphi| + |\Pi\varphi|)^p d\xi d\eta \right)^{\frac{1}{p}}.$$

Далее воспользуемся неравенством Минковского и (6)

$$\begin{aligned} \|\Pi_1 f\|_{L_p(\kappa, \rho^\alpha)} &\leq \frac{1}{\pi} \left(\iint_G (|S\varphi| + |\Pi\varphi|)^p d\xi d\eta \right)^{\frac{1}{p}} \leq \\ &\leq \frac{1}{\pi} \left(\iint_G |S\varphi|^p d\xi d\eta \right)^{\frac{1}{p}} + \frac{1}{\pi} \left(\iint_G |\Pi\varphi|^p d\xi d\eta \right)^{\frac{1}{p}} = \\ &= \frac{1}{\pi} \|S\varphi\|_{L_p} + \frac{1}{\pi} \|\Pi\varphi\|_{L_p} \leq \\ &\leq M_1 \|\varphi\|_{L_p} + M_2 \|\varphi\|_{L_p} = (M_1 + M_2) \|\varphi\|_{L_p} = M_3 \|f\|_{L_p(\bar{G}, \rho^\alpha)}, \end{aligned}$$

т.е. $\Pi_1 f$ - линейный ограниченный оператор, отображающий $L_p(\bar{G}, \rho^\alpha)$ в себя, что и требовалось доказать.

Заключение

Доказанные утверждения расширяют результаты А. Игликова, полученные им при исследовании операторов Tf и Πf , и могут быть использованы в теории интегральных уравнений, например, при исследовании разрешимости интегральных уравнений в весовых пространствах суммируемых функций, содержащих подобного рода интегральные операторы, а также в различных приложениях краевых задач для уравнений гидродинамики, акустики и т.д.

Список использованной литературы

- [1] Игликов А., Кошкарлова Б.С. Краевые задачи со свободной границей для систем уравнений движения несжимаемой идеальной жидкости. Вихревые кольца. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2022. – 270 с.
- [2] Сетуха А.В. Метод интегральных уравнений в математической физике: учебное пособие. – Москва : Издательство Московского университета, 2023. – 316 с. – ISBN 978-5-19-011915-2 (e-book).
- [3] Astala K. Elliptic partial differential equations and quasiconformal mappings in the plane / K. Astala, G. Iwaniec, T. Martin. – Princeton University press, 2009. – 696 p. DOI: 10.1515/9781400830114
- [4] Bliev N.K. Generalized analytic functions in fractional Spaces. – CRC Press, 1997. – 160 p.

- [5] Bojarski B. *General Beltrami equations and BMO* / B. Bojarski, V. Gutlyanski, V. Ryazanov // *Ukrainian Math. Bull.* – 2008. – Vol. 5, No. 3. – P. 305-326. DOI: 10.1080/17476930903030069
- [6] Monakhov V.N., Gubkina E.V. *Solvability of nonlinear boundary value problems in fluid dynamics* // *Doklady Mathematics.* – 2007. – Vol. 76 (1). – P. 611-613. <https://doi.org/10.1134/S1064562407040333>
- [7] Векуа И.Н. *Обобщенные аналитические функции.* – М: Наука, 1988. – 512 с.
- [8] Блиев А.К. *Обобщенные аналитические функции в дробных пространствах.* – Алматы: Наука, 1985. – 160 с.
- [9] Отелбаев М.О. *К теории обобщенных аналитических функций Векуа.* – В сб. «Применение методов функционального анализа к задачам математической физики и вычислительной математики». – Новосибирск, 1979. – С. 80-99.
- [10] Кошкарлова Б.С. *Краевая задача со свободной границей для вырождающейся эллиптической системы уравнений гидродинамики* / Дисс. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук. – Караганда: КарГУ им. Е.А. Букетова, 2004. – 96 с.

References

- [1] Iglikov A., Koshkarova B.S. (2022) *Boundary value problems with a free boundary for systems of equations of motion of an incompressible ideal fluid. Vortex rings.* [Boundary value problems with a free boundary for a system of equations of motion of an incompressible ideal fluid. Vortex rings LAP LAMBERT Academic Publishing, 270 с. (In Russian)
- [2] Setukha A.V. (2023) *The method of integral equations in mathematical physics: a textbook.* [Method of integral equations in mathematical physics: textbook]. Moscow: Moscow University Press, 316 p. (In Russian)
- [3] Astala K. *Elliptic partial differential equations and quasiconformal mappings in the plane* / K. Astala, G. Iwaniec, T. Martin. – Princeton University press, 2009. – 696 p. DOI: 10.1515/9781400830114
- [4] Blied N.K. *Generalized analytic functions in fractional Spaces.* CRC Press, 1997. 160 p.
- [5] Bojarski B. *General Beltrami equations and BMO* / B. Bojarski, V. Gutlyanski, V. Ryazanov // *Ukrainian Math. Bull.* – 2008. – Vol. 5, No. 3. – P. 305-326. DOI: 10.1080/17476930903030069
- [6] Monakhov V.N., Gubkina E.V. *Solvability of nonlinear boundary value problems in fluid dynamics* // *Doklady Mathematics.* – 2007. – Vol. 76 (1). – P. 611-613. <https://doi.org/10.1134/S1064562407040333>
- [7] Vekua I.N. (1988). *Generalized analytical functions* [Generalized analytical functions]. Moscow: Nauka, 512. (In Russian)
- [8] Blied A.K. (1985) *Generalized analytical functions in fractional spaces.* [Generalized analytical functions in small spaces]. Almaty: Nauka, 160. (In Russian)
- [9] Otelbaev M.O. (1979) *On the theory of generalized analytical functions of Vekua.* [K theory of generalized analytic functions Vekua]. In the collection "Application of functional analysis methods to problems of mathematical physics and computational mathematics". Novosibirsk, 80-99. (In Russian)
- [10] Koshkarova B.S. (2004) *Kraevaja zadacha so svobodnoj granicej dlja vyrozhdajushhejsja jellipticheskoj sistemy uravnenij gidrodinamiki* [Boundary value problem with a free boundary for a degenerate elliptic system of equations of hydrodynamics]. Diss. on the job. learned. step. Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Karaganda: E.A. Buketov KarSU, 96. (In Russian)

ФИЗИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР МЕН МЕХАНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
MODELING OF PHYSICAL PROCESSES AND MECHANICAL SYSTEMS

ГТАХР 29.05.15

10.51889/2959-5894.2024.86.2.008

Т.Б. Қоштыбаев¹, М. Е. Алиева^{2*}, А.М. Татенов¹

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

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: moldir-2008@mail.ru

КВАНТТЫҚ-МЕХАНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕМЕСІ

Аңдатпа

Мақалада жарықтың толқындық және бөлшектік қасиеттеріне жауапты параметрлердің (физикалық шамалардың) мағыналары мен ролі кеңінен баяндалып, олардың арасындағы байланыстар жүйеленіп көрсетілген. Есептеулерді жүргізу ыңғайлы болу үшін және формулаларды ықшамдап жазу мақсатында қосымша тұрақтылар енгізілген. Электромагниттік сәулелер мен олардың фотондары үшін бөлшектік және толқындық параметрлердің сандық мәндері есептеліп, параметрлер арасындағы байланыстар енгізілген жаңа тұрақтылар арқылы жазылып көрсетілген. Жарыққа бөлшектік-толқындық принциптің классикалық үлгісі тұрғысынан қарай отырып оған классикалық электромагниттік толқындар түрінде тарайтын фотондар ағыны деп баға берілген. Толқындық және бөлшектік қасиеттердің бір-бірін толықтыратынының дәлелі ретінде фотонның бөлшектік қасиетіне сәйкес келетін шама оның толқындық қасиетін көрсететін шама арқылы анықталатын тұстары көрсетілген. Жарық табиғатының екі жақтылық қасиеттерінің қалыптасу, бәсекелестік және теория ретінде өмір сүру кезеңдері туралы да айтылған. Кванттық механикалық жүйелердің корпускулалық және толқындық концепциясы арқылы микробөлшектер әлеміндегі құбылыстардың идеялық мазмұны айқындала түседі. Ол кванттық және толқындық қасиетке жауапты параметрлерінің Планк тұрақтысы арқылы байланысқан қатынастар арқылы іске асырылады. Бұлардың ішіндегі басты шама энергия мен жиілік арасындағы байланыс.

Түйін сөздер: корпускула, масса, энергия, жарық, жиілік, импульс, фотон, толқын.

Т.Б. Қоштыбаев¹, М. Е. Алиева², А.М. Татенов¹

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

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстаны

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОСНОВА КВАНТОВОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аннотация

В данной статье изложены смысл и роль, а так же системная связь параметров (физических величин) ответственных за волновые и корпускулярные свойства света. Для удобства вычислений и упрощения записей формул введены дополнительные постоянные. Вычислены численные значения волновых и корпускулярных параметров для электромагнитных излучений и их фотонов, показаны связь этих параметров с применением новых постоянных. С точки зрения классической позиций корпускулярно-волнового принципа свет – это поток фотонов распространяющихся в виде электромагнитных волн. В доказательство, что оба свойства света взаимно дополняют друг-друга, показаны соотношения, где корпускулярные величины определяются через величины, соответствующих волновому свойству фотона. Изложены периоды формирования, конкурирования и существования его как теория. Благодаря корпускулярной и волновой концепции квантово-механических систем становится яснее

идейное содержание явлений в мире микрочастиц. Он реализуется через отношения, связанные постоянной Планка параметров, ответственных за квантовое и волновое свойство. Главной величиной среди них является связь между энергией и частотой.

Ключевые слова: корпускула, масса, энергия, частота, импульс, фотон, волна.

T. Koshtybayev², M. Aliyeva², A. Tatenov¹

¹Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

MATHEMATICAL BASIS OF QUANTUM MECHANICAL SYSTEMS

Abstract

This article outlines the meaning and role, as well as the systemic relationship of parameters (physical quantities) responsible for the wave and corpuscular properties of light. For convenience of calculations and simplification of formula entries, additional constants have been introduced. Numerical values of wave and corpuscular parameters for electromagnetic radiation and their photons are calculated, and the relationship of these parameters with the use of new constants is shown. From the point of view of the classical position of the particle-wave principle, light is a stream of photons propagating in the form of electromagnetic waves. To prove that both properties of light complement each other, the relations are shown, where the corpuscular quantities are determined through the quantities corresponding to the wave property of the photon. The periods of its formation, competition and existence as a theory are described. Thanks to the corpuscular and wave concepts of quantum mechanical systems, the ideological content of phenomena in the world of microparticles becomes clearer. It is implemented through relations related to the Planck constant of the parameters responsible for the quantum and wave properties. The main value among them is the relationship between energy and frequency.

Keywords: corpuscle, mass, energy, frequency, pulse, photon, wave.

Негізгі ережелер

Кванттық-механикалық жүйелерді қарастыру барысындағы басты ұстаным ретінде қарастырылатын нысанның екі жақтылық қасиет көрсетуінде болып отыр. Кванттық бөлшектердің сипаттамалары да осындай екі топқа бөлінгенімен, олардың арасын байланыстыратын белгі бір тұрақтылар бар. Осылармен бірге, кванттық жүйелердегі бөлшектің күйі белгілі бір толқындық функциялармен сипатталып, оның модулінің квадраты амплитуда рөлін атқарады. Бұл деген сөз бөлшектің кеңістіктік жағдайы ықтималдылықтар теориясына негізделетінін білдіреді.

Кіріспе

Жарықтың табиғаты туралы ең алғашқы түсініктер мен ұғымдар ежелгі грек ойшылдары мен египеттік зерттеушілердің жазбаларында бар болатын. Параболалық айна, микроскоп, көру түтіктері сияқты оптикалық құралдардың пайда болуы мен олардың жетілдірілуі жарық табиғат жөніндегі пікірлердің ауқымы кеңейе түсті. XVII ғасырда жарықтың табиғаты жөніндегі өзара кереғар екі теория қатар өмір сүрді. Оның бірі Пьер Гассенди мен Исаак Ньютон ұсынған *корпускулалық (бөлшектік)* теория болса, екіншісі – Христиан Гюйгенс ұсынған *толқындық* теория. Алғашқы теория бойынша жарық жарқырап тұрған денелерден ұсақ бөлшектер (корпускулалар) түрінде жан-жақ тарайды және мұндай корпускулалардың қозғалысы механика заңдарына бағынады деген идеяны ұстанды. Жарықтың шағылуына серпімді шардың жазық беттен кері ыршып серпілуі секілді деп қараса, жарықтың сынуы бір ортадан екінші бір ортаға өткен корпускулалар жылдамдықтарының өзгерісімен түсіндірілді [1-3]. Екінші теория жарыққа механикалық толқындар деп қарады. Жарық табиғатының бір-біріне ұқсамайтын екі теориясы XVIII ғасырдың басынан аяғына дейін өзара тартыста (қайшылықты) өмір сүрді. Алайда, XIX ғасырдың бас кезеңінде әлемдік ғылыми орта жарықтың корпускулалық теориясынан бас тартқан еді, осының салдарынан толқындық теория үстемдік құра бастады. Оның дәлелі ретінде ағылшын физигі Т. Юнг пен француздық физик О. Френель ашқан интерференция және дифракция құбылыстарын келтіруге болады.

Бұл құбылыстар тек толқындық теориямен ғана түсіндіріле алатын еді. Ж. Фуко мен А. Физо жарықтың судағы жылдамдығын өлшеу арқылы толқындық теорияның басымдылығын арттыра түсті. XIX ғасырдың 60-жылдары Максвелл электромагниттік өрістің жалпылама заңдылықтарын бекіте келе жарықты *электромагниттік толқындар* деп атады. Г. Герцтің тәжірибелерінен кейін жарықтың электромагниттік табиғатының беделі одан сайын арта түскен болса, XX ғасырдың бас кезінде П. Лебедев жарық қысымын өлшеу арқылы оның айғақтылығын (шыншылдығын) мойындатты. Бірақ, XX ғасырда пайда болған жарықтың қысымы, фотоэффект, Комптон эффекті, жылулық сәуле шығару секілді құбылыстарды түсіндіруге жарықтың толқындық теориясы қауқарсыз болды. Керісінше, аталған құбылыстардың табиғаты жарықтың корпускулалық теориясымен жақсы түсіндірілді. Осыдан кейін жарық бөлшектерінің беделінің артқаны сонша Макс Планк оларды *жарық кванттары*, ал Альберт Эйнштейн – *фотондар* деп атады. Осылайша жарық құбылыстарының бір тобы толқындық теориямен, ал екінші бір тобы фотондық теориямен түсіндіріліп жүрді. Ғалымдар өзара қайшылықтағы екі теорияның қайсысы басымдақта екендігін шеше алмайтын жағдайға тап болды. Бұл даулы мәселенің шешімін кванттық физика ғана таба білді, яғни ол жарықтың табиғатына арналған екі теорияға бір-бірін теріске шығарушы көзқарасында емес, керісінше бірін-бірі толықтырушылар ретінде қарау керектігін ұсынды. 1924 жылы француз физигі Луи де Бройль материяның кез-келген түрі корпускулалық және толқындақ қасиетке ие болады деген табиғаттың жалпы заңын аша отырып толқындық механиканы жасаушылардың бірі ретінде физика тарихында қалды. Ол өзінің «Жарық және материя» атты еңбегінде толқындық және корпускулалық қасиеттер жарыққа ғана емес барлық материяға (электрондар, протондар, атомдар, молекулалар, барлық макроденелер) қатысты деген болжамын ұсынған болатын. 1926 жылы австриялық физик Э. Шредингер материя толқынына арналған теңдеуді тапқан болса, ағылшын физигі П. Дирак оны жалпылама түрде жазып көрсетті [4-7]. Материя толқындарын неміс физигі М. Борн «Ықтималдылықтар толқыны» деп атады. 1927 жылы американдық физиктер К. Дэвисон мен Л. Джермер электрондардың дифракциясын бақылады және бұл жағдай Луи де Бройль болжамының дәлелдемесі ретінде қабылданды. 1678 жылы голландия физигі Христиан Гюйгенс толқындық процеске қатысып жатқан әрбір кеңістік нүктесі сфералық толқын көзінің рөлін атқарады деген принцип ұсынды. Ал 1815 жылы француз физигі Огюстен Жан Френель ұсақ толқындардың когеренттілігі мен интерференциясын енгізу арқылы Гюйгенс принципін толықтырды.

Зерттеудің өзектілігі. Материяның бір көрінісі ретінде қалыптасып қалған жарық пен кез-келген бөлшектік нысанның бір мезгілде екі түрлі қасиет көрсетуі жағдайын математикалық есептеулер арқылы дәлелдеу жолы ұсынылған. Есептеулер кезінде жеке-жеке қолданылып жүрген жарық жылдамдығы мен Планк тұрақтысын басқа бір тұрақтыға біріктірілген. Бұл қалыптасып қалған формулаларды ықшамды түрде қолдануға мүмкіндік жасайды. Толқындық және бөлшектік параметрлердің динамикасын арнайы сандық жүйеде кестелер арқылы көрсету жолы ұсынылған. Мақалада келтірілген барлық есептеу нәтижелері мен әдістері кванттық физика мен кванттық механика үшін алғашқы алғашарттар болып табылады. Толқындық және бөлшектік параметрлер арасындағы байланыстарды жүйелеу мәселесі әрқилы тәсілдермен іске асырылып келе жатыр, осыған байланысты мақаладағы келтірілген тұжырымдамаларды аталған мәселенің өзектілігіне қатысы бар деп қабылдауға болады.

Материалдар мен әдістер. Материялық микроскоптық нысандар бірдей жағдайларда классикалық толқын қасиетін, ал өзара бірдей жағдайларда—классикалық бөлшек қасиетін көрсете алу мүмкін. Корпускулалық—толқындық екі жақтылық қасиет көрсете алатын нысанның мысалы ретінде электрондар мен жарықты алуға болады. Бұл принцип аса ірі көлемді нысандар үшін де орындала береді десек те, нысанның массасы артқан сайын оның толқындық қасиетінің көріну ықтималдылығы азая беретінін ескерген жөн. Корпускулалық—толқындық екі жақтылық идеясы кванттық механика теориясында микроәлемденгі

құбылыстардың мағыналарын классикалық концепциялар қырынан қарау үшін қажет болды. Бұл идея дами келе өрістердің кванттық теориясына ұласты.

Негізгі ойлар. де Бройль ұсынған идеяға сәйкес кез-келген микроскоптық нысанның корпускулалық сипаттамаларына оның энергиясы мен импульсін алсақ, ал толқындық сипаттамаларына жиілігі мен толқын ұзындығы жатқызамыз. Аталған принциптің нақты, әрі тыңғылықты түрдегі көрінісін Шредингердің толқындық механикасы арқылы көрсетуге болады. Бұл механика кейіннен кванттық механика деп аталып кетті. Электромагниттік толқын деп қарастырылып жүрген жарық– корпускулалар (фотондар) ағыны, ал дифракция және интерференция құбылыстары кезінде жарық өзін толқын түрінде көрсетті. Қосарланған саңылаулардан өткен жекедара фотондар экранда интерференциялық көрініс береді. Алайда, көптеген тәжірибелер фотонның электромагниттік сәуленің қысқа ғана импульстері емес екендігін дәлелдеп берді. Ол атом ядроларынан шығатын және соларда жұтылатын электрон секілді нүктелік бөлшек болып табылады. Электромагниттік сәуленің толқын ұзындығы аз болған сайын фотонның энергиясы мен импульсі көп бола береді де, оның толқындық қасиетінің біліну деңгейі төмендей беретін болады.

Зерттеудің әдіснамасы

Зерттеу кезінде дәстүрлі қолданылып келген Планк тұрақтысы мен жарық жылдамдығының көбейтіндісі мен қатынасын жаңа бір тұрақтыларға айналдырылып, осы арқылы есептеу жұмыстарының жеңілдеуі мен кванттық-механикалық формулалардың жазылу үлгісінің ықшамдалуына жол ашылды. Әрбір заңдылық сандық көрсеткіштер арқылы сипатталып, сәйкес кестелер арқылы түсіндірілді. Ең бастысы кванттық бөлшектің екі жақтылық қасиеттері жан-жақты ашылып көрсетілді.

Зерттеу нәтижелері

Кванттық-механикалық жүйелердің математикалық негіздемесі жүйенің толқындық-бөлшектік екіжақтылық сипатына құрылған физикалық тұрақтылар мен кванттық шамалар арасындағы тәуелділік заңдылықтары арқылы көрсетілді. Жиіліктер мен толқын ұзындықтардың, жылдамдықтың, энергия мен импульстің заңдылықтары жаңа тұрақтылар арқылы жазылды. Әрбір сәуленің түріне қарай сандық өлшемдер көрсетілді. Кванттық механикалық жүйелердің корпускулалық және толқындық концепциясы арқылы микробөлшектер әлеміндегі құбылыстардың идеялық мазмұны шамаладрыңшамаларың сан мәндері мен өлшем бірліктері арқылы айқындала түсті.

Негізгі бөлім. Гюйгенс жарықты көлденең монохроматты электромагниттік толқындар жиынтығы деп көрсетсе, Максвелл бұл тұжырымның теориялық дәлелін келтірді. Электромагниттік сәулелердің (толқындардың) ν ГЦ – тербеліс жиіліктері (1 секундта жасалатын тербелістер саны) және T с. ішінде жасалған 1 тербелістің λ м ұзындықтары (толқын ұзындықтары) 1-кестеде келтірілген. t секунд ішінде N тербеліс жасалуы үшін 1 секундта ν тербеліс жасалуы тиіс:

$$\nu = \frac{N}{t} \quad (1)$$

1 тербеліс жасалған T с уақыт тербеліс периоды деп аталады. ν және λ шамалары өзара кері байланыста: $\lambda \sim \frac{1}{\nu}$, яғни 1 с ішінде жасалатын тербелістер саны (ν) көп болған сайын 1 тербелістің ұзындығы (λ) аз болады (қысқа толқынды сәулелер). Керісінше 1 секундтағы тербелістер саны аз болса, онда әрбір тербелістің ұзындығы көп болады (ұзын толқынды сәулелер). Қысқа толқынды сәулелердің 1 тербелісіне де аз уақыт жұмсалады (кіші периодты толқындар), ал 1 тербелістің ұзындығы көп болған сайын оған жұмсалатын уақыт та ұзағырақ болады (үлкен периодты толқындар). Олай болса, сәуленің (толқынның) периоды мен толқын

ұзындығы оның жиілігіне тікелей байланысты болады екен: $(T, \lambda) \sim \frac{1}{\nu}$. Электромагниттік сәулелердің таралу жылдамдығы вакуумде $c = 3 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$ немесе $c = 300000 \frac{км}{с}$ (жарық жылдамдығы):

$$c = \lambda \cdot \nu \quad (2)$$

Макс Планк жылулық сәулелер кванттар (энергияның ең аз порциясы) түрінде шығарылады және жұтылады деп болжау арқылы жарықтың қосарланған толқындық–кванттық (бөлшектік) түр-сипатын белгілеп берді. Әрбір квант энергиясын таситын әрі толқын түрінде таралатын бөлшек фотон (жарық бөлшегі) деп аталады. Фотон зарядталған бөлшектердің үдемелі қозғалысынан, зарядталған бөлшектердің тежелісінен, атомдар мен молекулалардың үлкен энергиялық (қоздырылған) күйден кіші энергиялық (стационар) күйге өтуі кезінде пайда болады.

Кванттық механика (фотондардың қозғалыс теориясы) жасалған тұста жарықтың қос қасиеттілігі мен микроәлемді классикалық көзқарастар тұрғысымен байланыстыра қарастыру идеясы микробөлшектерге арналған Э. Шредингердің теңдеуінде көрініс тапты [8-10]. Бұл теңдеудің классикалық механикадағы Ньютонның 2-ші заңы мен электромагниттік толқындарға арналған Максвелл теңдеулері сияқты өзіндік алатын орны (маңызы) бар. Алайда, кванттық объектілер классикалық толқындарға да, бөлшектерге де ұқсамайды. Олар де Бройль толқындары түрінде таралады. Фотон–бір жағынан импульсі P , энергиясы E , массасы m және жылдамдығы c болатын бөлшек болса, екінші жағынан ол жиілігі ν Гц және бір тербелісінің ұзындығы λ м болатын толқын. Олай болса, P , E және m шамалары жарықтың кванттық қасиеттерін сипаттаушы параметрлер, ал ν , λ шамалары толқындық қасиеттеріне тән параметрлер болып табылады екен. Алайда, бұлар бір объектіге (жарыққа) тиісті (қатысты) болғандықтан, екі табиғатты параметрлердің арасында міндетті түрде байланыстар болуы тиіс. Бұл мәселені неміс физигі Макс Планк $h = 6,67 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ коэффициентін енгізу арқылы шешті, яғни Планк тұрақтысы деп аталатын бұл коэффициент кванттық және толқындық параметрлерді байланыстырушы рөлін атқаратын болады. Төмендегі 1-кестеде электромагниттік сәулелердің таралу жылдамдықтары мен олардың фотондарының қозғалу жылдамдықтары көрсетілген, яғни оларды бір ұғым деп қарау керек.

Кесте 1. Электромагниттік сәулелердің жиіліктері мен толқын ұзындықтары

Электромагниттік сәулелер	Жиілігі ν , Гц	Толқын ұзындығы λ , м
Радиотолқындар	$3 \cdot 10^7$	10
Инфрақызыл сәулелер	$2 \cdot 10^{13}$	$15 \cdot 10^{-6}$
Көрінетін жарық	$4 \cdot 10^{14}$	$7,5 \cdot 10^{-7}$
Ультракүлгін сәулелер	$6 \cdot 10^{15}$	$5 \cdot 10^{-8}$
α -сәулелері	$3 \cdot 10^{16}$	$10 \cdot 10^{-9}$
Рентген сәулелері	$2 \cdot 10^{19}$	$15 \cdot 10^{-12}$

Электромагниттік сәулелер мен олардың фотондарының (2)-формула бойынша анықталған жылдамдық мәндері төмендегі 2-кесте арқылы көрсетілген.

Планк тұрақтысы жарықтың бөлшектік және толқындық параметрлерінің арасын байланыстырушы екендігі айтылды. Бұл жағдайдың қалай іске асатынына тоқталайық.

Кесте 2. Электромагниттік сәуле бөлшектерінің таралу жылдамдықтары

Электромагниттік сәулелер бөлігі (фотоны)	Электромагниттік сәулелердің таралу (олардың фотондарының қозғалыс) жылдамдығы: $c = \lambda \nu \left(\frac{m}{c} \right)$
Радиотолқындар фотоны	$c = 10 \cdot 3 \cdot 10^7 = 3 \cdot 10^8$
Инфрақызыл сәулелер фотоны	$c = 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^{13} = 3 \cdot 10^8$
Көрінетін жарық фотоны	$c = 0,75 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{14} = 3 \cdot 10^8$
Ультракүлгін сәулелер фотоны	$c = 5 \cdot 10^{-8} \cdot 0,6 \cdot 10^{16} = 3 \cdot 10^8$
α -сәулелер фотоны	$c = 10 \cdot 10^{-9} \cdot 0,3 \cdot 10^{17} = 3 \cdot 10^8$
Рентген сәулелер фотоны	$c = 15 \cdot 10^{-12} \cdot 0,2 \cdot 10^{20} = 3 \cdot 10^8$

Фотонның E Дж энергиясын ν мен λ арқылы анықтау мәселесіне келгенде Планк тұрақтысы–жарық толқынының ν Гц жиілігінің әрбір герціне келетін энергия болып табылады:

$$h = 6,67 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot c = 6,67 \cdot 10^{-34} \frac{\text{Дж}}{\text{Гц}} = 6,67 \cdot 10^{-34} \frac{\text{Дж}}{\frac{1}{c}}$$

ν Гц жиілікпен тербелетін фотонның энергиясы

$$h \frac{\text{Дж}}{\text{Гц}} \cdot \nu \text{ Гц} = E \text{ Дж} \quad (3)$$

Өлшем бірліктері қысқарғаннан кейінгі түрі

$$E = h\nu \quad (3A)$$

1 с ішінде көп тербеліс жасайтын (ν –көп) фотонның энергиясы да үлкен болады және керісінше фотон 1 с ішінде аз тербелістер жасаса (ν –аз), онда мұндай фотонның энергиясы да аз болады. 3-кестеде электромагниттік сәулелер фотондарының энергиясын оның жиілігі арқылы есептеу нәтижелері көрсетілген. (2)-теңдіктен:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

сонда (3)-пропорция мынадай формада жазылады:

$$h \frac{\text{Дж}}{\text{Гц}} \cdot \frac{c}{\lambda} \text{ Гц} = \frac{hc}{\lambda} \text{ Дж} = E \text{ Дж}$$

осыдан

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (4)$$

Бұл бір тербелісінің ұзындығы λ м болатын фотонның энергиясы. Көріп отырғанымыздай, фотонның энергиясы оның толқын ұзындығына кері тәуелді, яғни бір тербелісінің ұзындығы.

Кесте 3. Электромагниттік сәулелер бөліктерінің энергиясының жиілік арқылы анықталған мәндері

Электромагниттік сәулелер бөлігі (фотоны)	Электромагниттік сәулелер фотондарының энергиясы: $E = h\nu$ (Дж)
Радиотолқындар фотоны	$E = 6,67 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^7 = 20,01 \cdot 10^{-27}$
Инфрақызыл сәулелер фотоны	$E = 6,67 \cdot 10^{-34} \cdot 2 \cdot 10^{13} = 13,34 \cdot 10^{-21}$
Көрінетін жарық фотоны	$E = 6,67 \cdot 10^{-34} \cdot 4 \cdot 10^{14} = 26,68 \cdot 10^{-20}$
Ультракүлгін сәулелер фотоны	$E = 6,67 \cdot 10^{-34} \cdot 6 \cdot 10^{15} = 40,02 \cdot 10^{-19}$
α -сәулелер фотоны	$E = 6,67 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{16} = 20,01 \cdot 10^{-18}$
Рентген сәулелер фотоны	$E = 6,67 \cdot 10^{-34} \cdot 2 \cdot 10^{19} = 13,34 \cdot 10^{-15}$ Дж

(λ) көп фотонның энергиясы аз, ал λ -сы аз фотон көп энергияға ие болады. (4)-формуламен есептеулер жүргізген кезде h пен c тұрақтыларының мәндерін жеке-жеке қоймас үшін екеуінің m көбейтіндісінен жаңа θ тұрақтысына ауысамыз:

$$\theta = hc = 6,67 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 = 20,01 \cdot 10^{-26} \approx 2 \cdot 10^{-25} \text{ Дж} \cdot \text{м}$$

(4)-қатынасты осы жаңа тұрақты арқылы жазсақ:

$$E = \frac{\theta}{\lambda} \tag{4A}$$

За-кестеде (4A)-қатынасын қолданып фотонның энергиясын толқын ұзындығы арқылы анықтау үшін жасалған есептеулер ұсынылған.

Кесте 3а. Электромагниттік сәуле бөліктерінің энергиясының толқын ұзындығы арқылы есептелінген мәндері

Электромагниттік сәулелердің бөлігі (фотоны)	Электромагниттік сәулелер фотондарының энергиясы: $E = \frac{\theta}{\lambda}$ (Дж)
Радиотолқындар фотоны	$E = \frac{2 \cdot 10^{-25}}{10} \approx 20 \cdot 10^{-27}$
Инфрақызыл сәулелер фотоны	$E = \frac{2 \cdot 10^{-25}}{1,5 \cdot 10^{-5}} \approx 13 \cdot 10^{-20}$
Көрінетін жарық фотоны	$E = \frac{2 \cdot 10^{-25}}{0,75 \cdot 10^{-6}} \approx 26 \cdot 10^{-20}$
Ультракүлгін сәулелер фотоны	$E = \frac{2 \cdot 10^{-25}}{5 \cdot 10^{-8}} \approx 40 \cdot 10^{-19}$
α -сәулелер фотоны	$E = \frac{2 \cdot 10^{-25}}{10 \cdot 10^{-9}} \approx 20 \cdot 10^{-18}$
Рентген сәулелер фотоны	$E = \frac{2 \cdot 10^{-25}}{15 \cdot 10^{-12}} \approx 13 \cdot 10^{-15}$

Классикалық механикада массасы m кг және жылдамдығы $v \frac{M}{c}$ материялық (немесе макробөлшектің) толық энергиясы $W = mv^2$. Осыны фотон үшін жазсақ: $E = mc^2$. Классикалық бөлшектің P импульсі

$$P = mv = \frac{mvv}{v} = \frac{mv^2}{v} = \frac{W}{v} \quad (5)$$

Осыдан мынадай тұжырым шығады: бөлшектің импульсі – оның $v \frac{M}{c}$ жылдамдығының әрбір $1 \frac{M}{c}$ -не келетін P Дж энергия:

$$W \text{ Дж} = P \frac{\text{Дж}}{\frac{M}{c}} \cdot v \frac{M}{c} = P \cdot v \text{ Дж}$$

(5)-импульстің өрнегін фотон үшін жазайық:

$$P = \frac{E}{c} \quad (6)$$

осыдан

$$E = P \cdot c \quad (6A)$$

немесе

$$\text{Дж} = P \frac{\text{Дж}}{\frac{M}{c}} \cdot c \frac{M}{c} = P \cdot c = P \cdot c \text{ Дж}$$

Бұл импульсі $P \frac{\text{Дж}}{\frac{M}{c}}$ фотонның энергиясы немесе $3 \cdot 10^8 \frac{M}{c}$ жылдамдықпен қозғалатын фотонда $(P \cdot c)$ Дж -ға тең энергия бар деп есептеледі. Олай болса, (6A)-теңдігінен мынадай тұжырым жасауға болады екен: фотонның $3 \cdot 10^8 \frac{M}{c}$ жылдамдығының әрбір $1 \frac{M}{c}$ -не келетін энергия көп (P көп) болса, онда фотонның толық E энергиясы да көп болады. (6)-ға (3A)-теңдігін қолдансақ, онда ν Гц жиілікпен тербелетін фотонның импульсі $(1 \frac{M}{c})$ жылдамдыққа келетін энергиясы):

$$P = \frac{h\nu}{c} \quad (7)$$

Осы теңдіктен мынадай қорытынды жасауға болады: фотонның 1 секунд ішінде жасайтын тербелістері көп болған сайын (ν көп) әрбір 1 м/с жылдамдыққа келетін энергия аз (P аз) болады. (7)-формуласымен есептеулер жүргізген кезде h пен c тұрақтыларын жеке-жеке қоя бермес үшін екеуінің $(\frac{h}{c})$ қатынасынан жаңа ψ тұрақтысына өтеміз:

$$\psi = \frac{h}{c} = \frac{6,67 \cdot 10^{-34}}{3 \cdot 10^8} = 2,2233 \cdot 10^{-42} \approx 2 \cdot 10^{-42} \frac{\text{Дж} \cdot \text{с}^2}{\text{м}}$$

(7)-қатынасты осы жаңа тұрақты арқылы жазсақ:

$$P = \psi \cdot \nu \quad (7A)$$

4-кестеде электромагниттік сәулелер фотондарының импульстерін (7A)-формуласының көмегімен жүргізген есептеулерінің нәтижелері көрсетілген.

Кесте 4. Электромагниттік сәуле фотонының импульсінің жиілік арқылы анықталған сандық мәндері

Электромагниттік сәулелердің бөлішегі (фотоны)	Электромагниттік сәулелер фотондарының импульсі: $P = \psi \nu \left(\frac{\text{Дж} \cdot \text{с}}{\text{м}} \right)$
Радиотолқындар фотоны	$P = 2 \cdot 10^{-42} \cdot 3 \cdot 10^7 \approx 6 \cdot 10^{-35}$
Инфрақызыл сәулелер фотоны	$P = 2 \cdot 10^{-42} \cdot 2 \cdot 10^{13} \approx 4 \cdot 10^{-29}$
Көрінетін жарық фотоны	$P = 2 \cdot 10^{-42} \cdot 4 \cdot 10^{14} \approx 8 \cdot 10^{-28}$
Ультракүлгін сәулелер фотоны	$P = 2 \cdot 10^{-42} \cdot 6 \cdot 10^{15} \approx 12 \cdot 10^{-27}$
α -сәулелер фотоны	$P = 2 \cdot 10^{-42} \cdot 3 \cdot 10^{16} \approx 6 \cdot 10^{-26}$
Рентген сәулелер фотоны	$P = 2 \cdot 10^{-42} \cdot 2 \cdot 10^{19} \approx 4 \cdot 10^{-23}$

Егер, (6)-ға (4)-формуланы қолдансақ, нәтижеде бір тербелісі λ м болатын фотонның импульсін аламыз:

$$P = \frac{h}{\lambda} \square \frac{1}{\lambda} \quad (8)$$

Бұл теңдіктен мынадай қорытынды шығады: фотонның бір тербелісі неғұрлым ұзын болған сайын (λ көп) әрбір 1 м/с жылдамдыққа келетін энергия аз (P аз) болады. 4а-кестеде электромагниттік сәулелер фотондарының импульстерін (8)-формуламен жүргізген есептеулерінің нәтижелері ұсынылған.

Кесте 4а. Электромагниттік сәуле фотонының импульсінің толқын ұзындығы арқылы анықталған сандық мәндері

Электромагниттік сәулелердің бөлішегі (фотоны)	Электромагниттік сәулелер фотондарының импульсі: $P = \frac{h}{\lambda} \left(\frac{\text{Дж} \cdot \text{с}}{\text{м}} \right)$
Радиотолқындар фотоны	$P = \frac{6,67 \cdot 10^{-34}}{10} \approx 7 \cdot 10^{-35}$
Инфрақызыл сәулелер фотоны	$P = \frac{6,67 \cdot 10^{-34}}{15 \cdot 10^{-6}} \approx 4 \cdot 10^{-29}$
Көрінетін жарық фотоны	$P = \frac{6,67 \cdot 10^{-34}}{7,5 \cdot 10^{-7}} \approx 9 \cdot 10^{-28}$
Ультракүлгін сәулелер фотоны	$P = \frac{6,67 \cdot 10^{-34}}{5 \cdot 10^{-8}} \approx 13 \cdot 10^{-27}$
α -сәулелер фотоны	$P = \frac{6,67 \cdot 10^{-34}}{10 \cdot 10^{-9}} \approx 7 \cdot 10^{-26}$

(5)-теңдікпен берілген классикалық бөлшектің $P = mv$ импульсін фотон үшін жазайық: $P = mc$. Осыны (7)-ге қойсақ:

$$mc = \frac{h\nu}{c}$$

осыдан ν жиілікпен тербелетін фотонның массасы

$$m = \frac{h\nu}{c^2} \quad (9)$$

Осы өрнекті түрлендіре отырып ψ тұрақтысы арқылы жазамыз:

$$m = \frac{h}{c} \cdot \frac{\nu}{c} = \frac{\psi\nu}{c} \quad (9A)$$

5-кестеде электромагниттік сәулелер фотондарының массаларын (9A)-формуласымен есептеудің нәтижелері көрсетілген. $P = mc$ теңдігін (8)-ге қойсақ: $mc = \frac{h}{\lambda}$ осыдан бір тербелісінің ұзындығы λ болатын фотонның массасы:

$$m = \frac{h}{\lambda c} \quad (10)$$

Бұл теңдікті ψ арқылы жазсақ:

$$m = \frac{\psi}{\lambda} \quad (10A)$$

Кесте 5. Электромагниттік сәуле фотонының массасын бөлшектің жиілігі арқылы анықтау нәтижелері

Электромагниттік сәулелердің бөлігі (фотоны)	Электромагниттік сәулелер фотондарының массасы: $m = \frac{\psi\nu}{c}$ (кг)
Радиотолқындар фотоны	$m = \frac{2 \cdot 10^{-42} \cdot 3 \cdot 10^7}{3 \cdot 10^8} = 2 \cdot 10^{-43}$
Инфрақызыл сәулелер фотоны	$m = \frac{2 \cdot 10^{-42} \cdot 2 \cdot 10^{13}}{3 \cdot 10^8} = 1,3 \cdot 10^{-37}$
Көрінетін жарық фотоны	$m = \frac{2 \cdot 10^{-42} \cdot 4 \cdot 10^{14}}{3 \cdot 10^8} = 2,7 \cdot 10^{-36}$
Ультракүлгін сәулелер фотоны	$m = \frac{2 \cdot 10^{-42} \cdot 6 \cdot 10^{15}}{3 \cdot 10^8} = 4 \cdot 10^{-35}$
α -сәулелер фотоны	$m = \frac{2 \cdot 10^{-42} \cdot 3 \cdot 10^{16}}{3 \cdot 10^8} = 2 \cdot 10^{-34}$
Рентген сәулелер фотоны	$m = \frac{2 \cdot 10^{-42} \cdot 2 \cdot 10^{19}}{3 \cdot 10^8} = 1,3 \cdot 10^{-31}$

6-кестеде электромагниттік сәулелер фотондарының массаларын (10A)-формуласымен есептеудің нәтижелері берілген. (9)-өрнектен фотонның массасы тербеліс жиілігіне тура тәуелді болатынын байқауға болады, яғни жиілігі көп (периоды аз) фотондардың массасы үлкен болады.

Кесте 6. Электромагниттік сәуле фотонының массасын бөлшектің толқын ұзындығы арқылы анықтау нәтижелері

Электромагниттік сәулелердің бөлігі (фотоны)	Электромагниттік сәулелер фотондарының массасы : $m = \frac{\psi}{\lambda}$ (кг)
Радиотолқындар фотоны	$m = \frac{2 \cdot 10^{-42}}{10} = 2 \cdot 10^{-43}$
Инфрақызыл сәулелер фотоны	$m = \frac{2 \cdot 10^{-42}}{15 \cdot 10^{-6}} = 1,3 \cdot 10^{-37}$
Көрінетін жарық фотоны	$m = \frac{2 \cdot 10^{-42}}{7,5 \cdot 10^{-7}} = 2,7 \cdot 10^{-36}$
Ультракүлгін сәулелер фотоны	$m = \frac{2 \cdot 10^{-42}}{5 \cdot 10^{-8}} = 4 \cdot 10^{-35}$
α -сәулелер фотоны	$m = \frac{2 \cdot 10^{-42}}{10 \cdot 10^{-9}} = 2 \cdot 10^{-34}$
Рентген сәулелер фотоны	$m = \frac{2 \cdot 10^{-42}}{15 \cdot 10^{-12}} = 1,3 \cdot 10^{-31}$

Ал (10А)-қатынасында фотонның массасы толқын ұзындығына кері тәуелді болады, яғни қысқа толқынды (λ аз) фотондардың массасы көп, ал ұзын толқынды (λ көп) фотондардың массасы аз болып келеді. Сонымен, фотонның бөлшектік қасиетіне жауапты P , E , m және c параметрлерінің өзара байланысын көрсететін теңдіктер жүйесін тағы бір жазып өтейік:

$$E = mc^2, \quad E = P \cdot c, \quad E = P \cdot c, \quad P = mc, \quad c = \lambda \nu$$

Осыған дейін біз бұл параметрлердің толқындық параметрлер (ν мен λ) арқылы анықталуын қарастырдық. Ендігі жерде біз кері байланыстың іске асырылуына тоқталмақпыз.

Нақты айтар болсақ, фотонның толқындық қасиеттеріне жауапты ν және λ шамалары P , E , m және c параметрлері арқылы қалай анықталатынын көрсетеміз. (2)-теңдіктен

$$\lambda = \frac{c}{\nu}, \quad \nu = \frac{c}{\lambda}$$

(3А)-теңдіктен: $\nu = \frac{E}{h}$, ал (4А)-теңдігінен: $\lambda = \frac{\theta}{E}$. (7А)-өрнегінен: $\nu = \frac{P}{\psi}$, ал (8)-

формуладан: $\lambda = \frac{h}{P}$. (9А)-теңдігінен:

$$\nu = \frac{mc}{\psi}$$

(10А)-теңдігінен:

$$\lambda = \frac{\psi}{m}$$

Осы келтірілген қатынастар 7-кестеде жүйеленіп көрсетілген.

Кесте 7. Фотонның корпускулалық және толқындық параметрлерінің арасындағы байланыстарды көрсететін қатынастар

	ν	λ	m	P	E
E	$h\nu$	$\frac{\theta}{\lambda}$	mc^2	Pc	
P	$\psi\nu$	$\frac{h}{\lambda}$	mc		$\frac{E}{c}$
m	$\frac{\psi\nu}{c}$	$\frac{\psi}{\lambda}$		$\frac{P}{c}$	$\frac{E}{c^2}$
ν		$\frac{c}{\lambda}$	$\frac{mc}{\psi}$	$\frac{P}{\psi}$	$\frac{E}{h}$
λ	$\frac{c}{\nu}$		$\frac{\psi}{m}$	$\frac{h}{P}$	$\frac{\theta}{E}$

Дискуссия

Осы кезге дейін өзектілігін жоймаған кванттық-механикалық жүйелердің қос қасиеттілігін ашып көрсететін математикалық аппаратта Планк тұрақтысы мен жарық жылдамдығы бір мезгілде қолданылып келді. Практикалық есептеулер кезінде олардың әрқайсысының сан мәні жеке-жеке қойылатын. Осы зерттеуімізде олардың көбейтіндісі мен қатынасы жаңа бір тұрақтыларға айналып, есептеу жұмыстарын жеңілдетуге мүмкіндік жасалды. Осы жаңа тұрақтылар арқылы фотонның бөлшектік және толқындық қасиеттерін сипаттайтын заңдылықтар да жаңа, әрі ықшамды сипатқа енді. Бұл айтылғандар кванттық теорияның математикалық аппаратын ұтымды қолдануға жағдай жасайды.

Қорытынды

Бөлшектік-толқындық принциптің классикалық үлгісі тұрғысынан қарағанда жарықты өздерін классикалық электромагниттік толқындар сияқты сезінетін бөлшектер (фотондар) ағыны деуге болады. Дифракция және интерференция құбылыстарында жарық толқындық қасиет көрсетеді. Жалғыз фотонның өзі қосарланған саңылаудан өткенде экраннан интерференциялық бейнені көруге болады, бұл жағдай Максвелл теңдеулері арқылы анықталады. Егер фотонды өзінің толқын ұзындығынан әлде қайда аз болатын нысандар (мысалы атом ядросы) шығаратын (жұтатын) болса, онда оны бөлшек ретінде қарастыруға болады. Электромагниттік сәуленің толқын ұзындығы неғұрлым азайған сайын фотонның энергиясы мен импульсі соғұрлым көбейе түседі де ((4),(8)) бұл сәуленің бөлшектік қасиетін байқау қиындай береді.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

- [1] Stephane A., Florence B. *Electron Mass Predicted From Substructure Stability in Electrodynamical Model* // *Frontiers in Physics*. – 2020. – 8. DOI 10.3389/fphy. 2020.00213
- [2] Ольчак А.С. *О связи квантовой неопределенности и классических сил.* // *Вестник НИЯУ МИФИ*. 2021. № 6. С. 505-508. <https://doi.org/10.56304/S2304487X21060079>
- [3] Давыдов А.П., Злыднева Т.П. *Интерференция электромагнитных волн с точки зрения волновой функции фотона в координатном представлении.* // *Электромагнитные волны и электронные системы*. 2018. № 8. С. 27-40. DOI: 10.18127/j15604128-201808-04
- [4] Белинский А.В. *Квантовая неопределенность и контрпример нелокального классического "реализма".* // *Оптика и спектроскопия*. 2017. № 3. С. 393-399. DOI: 10.7868/S0030403417090070
- [5] Лошак Ж. *Геометризация физики.* – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2019. – 280 с.

[6] Лантухов А.И. Электродинамика фотона и его структура как сгустка одного из многих возможных состояний электромагнитного поля. // Журнал технической физики. 2017. № 10. С. 1466-1474. <https://doi.org/10.21883/JTF.2017.10.44988.2204>

[7] Журавлев В.М. Принцип материальности пространства и фундаментальные поля. // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. 2020. № 3. С. 37-57. DOI: 10.17238/issn2226-8812.2020.3.37-57

[8] Krasovsky V.L. Calculation of the electron distribution function in a weakly ionized plasma in an electric field / V. L. Krasovsky // Doklady Physics. – 2020. – 65. – No. 4. – P. 136-141. doi:10.1134/s1028335820040072

[9] Лукашевия С.А., Садовский А.А. Определение фундаментальных понятий физики через законы. // Эпохи науки. 2020. № 22. С. 56–61. DOI 10.24411/2409–3203–2020–12274.

[10] Карканица И.А. Фотон как основа материального мира. // General question of world science. 2017. С. 5-20. DOI:10.18411/GQ-30-11-2017-01

References

[1] Stephane, A. (2020) Electron Mass Predicted From Substructure Stability in Electrodynamical Model. *Frontiers in Physics*. № 8. DOI 10.3389/fphy. 2020.00213

[2] Ol'chak A.S. (2021) O svyazi kvantovoj neopredelennosti i klassicheskikh sil [On the connection between quantum uncertainty and classical forces]. *Vestnik nacional'nogo issledovatel'skogo jadernogo universiteta Moskovskij inzhenerno-fizicheskij institut*. № 6, 505-508. (In Russian) <https://doi.org/10.56304/S2304487X21060079>

[3] Davydov A.P., Zlydneva T.P. (2018) Interferenciya jelektromagnitnyh voln s tochki zrenija volnovoju funkcii fotona v koordinatnom predstavlenii [Interference of electromagnetic waves from the point of view of the photon wave function in the coordinate representation]. *Jelektromagnitnye volny i jelektronnye sistemy*. №8, 27-40. (In Russian) DOI: 10.18127/j15604128-201808-04

[4] Belinskij A.V. (2017) Kvantovaja neopredelennost' i kontrprimer nelokal'nogo klassicheskogo "realizma" [Quantum uncertainty and a counterexample of non-local classical "realism"]. *Optika i spektroskopija*. №3, 393-399. (In Russian) DOI: 10.7868/S0030403417090070

[5] Loshak Zh. (2019) Geometrizacion fiziki [Geometrization of physics]. M.: Izhevsk: NIC «Reguljarnaja i haoticheskaja dinamika», 280. (In Russian)

[6] Laptuhov A.I. (2017) Jelektrodinamika fotona i ego struktura kak sgustka odnogo iz mnogih vozmozhnyh sostojanij jelektromagnitnogo polja [The electrodynamics of a photon and its structure as a cluster of one of the many possible states of the electromagnetic field]. *Zhurnal tehnicheckoj fiziki*. № 10, 1466-1474. (In Russian) <https://doi.org/10.21883/JTF.2017.10.44988.2204>

[7] Zhuravlev V.M. (2020) Princip material'nosti prostranstva i fundamental'nye polja [The principle of the materiality of space and fundamental fields]. *Prostranstvo, vremja i fundamental'nye vzaimodejstvija*. № 3, 37-57. (In Russian) DOI: 10.17238/issn2226-8812.2020.3.37-57

[8] Krasovsky V.L. (2020). Calculation of the electron distribution function in a weakly ionized plasma in an electric field. *Doklady Physics*, 65, 4, 136-141. doi:10.1134/s1028335820040072

[9] Lukashevija S.A., Sadovskij A.A. (2020) Opredelenie fundamental'nyh ponjatij fiziki cherez zakony [Defining fundamental concepts of physics through laws]. *Jepohi nauki*, № 22, 56–61. DOI 10.24411/2409–3203–2020–12274. (in Russian)

[10] Karkanica I.A. (2017) Foton kak osnova material'nogo mira [The photon as the basis of the material world.]. // General question of world science. 5-20. DOI:10.18411/GQ-30-11-2017-01 (in Russian)

Т.Х. Садыков¹, К.М. Мукашев^{2*}, А.Х. Аргынова¹, О.А. Новолодская¹, Х. Махмет^{1,3}

¹Satbayev University, Физико-технический институт, г.Алматы, Казахстан

²Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, Казахстан

³Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

*e-mail: mukashev.kms@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЯ СТВОЛОВ ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ С ПОМОЩЬЮ ВЫСОКОГОРНОГО ИОНИЗАЦИОННОГО КАЛОРИМЕТРА

Аннотация

В работе представлены первые экспериментальные результаты исследований стволов широких атмосферных ливней (ШАЛ) с помощью высокогорного ионизационного калориметра «Адрон-55» площадью 55 м² и толщиной около 6 (шесть) пробегов протонов до взаимодействия. Проведены расчеты по моделированию развития ШАЛ от протонов, ядер и гипотетических странглетов – частиц странной кварковой материи (СКМ), входящих, вероятно, в состав первичных космических излучений (ПКИ), используя пакет CORSIKA. Разыграны процессы прохождения стволов ШАЛ через калориметр «Адрон-55», используя пакет Geant-4. Проводимые исследования направлены на изучение адронной компоненты стволов ШАЛ для выяснения природы проникающих или слабовзаимодействующих частиц, зарегистрированных в калориметре «Адрон-55».

Ключевые слова: космические лучи, широкие атмосферные ливни, ионизационно-нейтронный калориметр, сцинтилляционный детектор, адронный каскад.

Т.Х. Садыков¹, К.М. Мұқашев², А.Х. Аргынова¹, О.А. Новолодская¹, Х. Махмет^{1,3}

¹Сәтбаев университеті, Физика-техникалық институты, Алматы қ., Қазақстан

²Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан

³әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

БИІК ТАУЛЫ ИОНИЗАЦИЯЛАУШЫ КАЛОРИМЕТРМЕН КЕҢ АУҚЫМДЫ АТМОСФЕРАЛЫҚ НӨСЕР ШОҒЫРЫН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа

Жұмыста биік таулы «Адрон-55» ионизациялаушы калориметрдің көмегімен кең ауқымды атмосфералық нөсер шоғырын зерттеудің алғашқы нәтижелері қарастырылады. Калориметрдің ауданы 55 м², ал қалыңдығы энергетикалық протондардың материалда әсерлесуге дейінгі еркін жүру жолының 6 (алты) ендігіне сәйкес келеді. Программалаушы CORSIKA пакетін пайдаланып, бастапқы ғарыш сәулелерінің құрамына кіруі ықтимал протондар мен ядролардың және гипотетикалық странглеттердің – кварк тектес ғажайып материялардың әсерлесуіне байланысты туындайтын кең ауқымды атмосфералық нөсерлердің даму дәрежесін моделдеу нәтижелері келтірілген. Сонымен қатар, Geant-4 пакетінің көмегімен кең ауқымды атмосфералық нөсер шоғырының ионизациялаушы «Адрон-55» калориметрі арқылы өту процесі де зерделенеді. Яғни, зерттеу жұмыстарының түпкі мақсаты - кең ауқымды атмосфералық нөсер шоғырының адрондық құраушыларына талдау жүргізу арқылы «Адрон-55» калориметрімен тіркелген, өтімділік қабылеті жоғары немесе әсерлесу мүмкіндігі төмен бөлшектердің табиғатын анықтау.

Түйін сөздер: ғарыш сәулелері, ионизациялаушы-нейтрондық калориметр, сцинтилляциялаушы детектор, адрондар каскады, кең ауқымды атмосфералық нөсерлер.

Т.КН. Sadykov¹, К.М. Mukashev², А. Kh. argynova¹, О.А. Novolodskaya¹, КН. Makhmet^{1,3}
¹Satbayev University, Institute of Physics and Technology, Almaty, Kazakhstan
²Almaty University of Energy and Communications, Almaty, Kazakhstan
³al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

STUDIES OF EXTENSIVE ATMOSPHERIC SHOWERS USING A HIGH ALTITUDE IONIZATION CALORIMETER

Abstract

The paper presents the first experimental results of studying the trunks of extensive air showers (EAS) using the high-mountain ionization calorimeter "Hadron-55" with an area of 55 m² and a thickness of about 6 (six) proton paths before interaction. Calculations were carried out to simulate the development of EAS from protons, nuclei and hypothetical strangelets - particles of strange quark matter (SQM), probably included in the composition of primary cosmic radiation (PCR), using the CORSIKA package. The processes of passage of EAS trunks through the Hadron-55 calorimeter were played out using the Geant-4 package. The ongoing research is aimed at studying the hadronic component of EAS trunks to clarify the nature of penetrating or weakly interacting particles recorded in the Hadron-55 calorimeter.

Keywords: cosmic rays, ionization-neutron calorimeter, scintillation detector, hadron cascade, extensive air showers (EAS).

Основные положения

В высокогорных экспериментах по исследованиям центральных стволов ШАЛ при $E_0 \geq 10^{16} \text{ eV}$ ($\sqrt{s} \geq 5 \text{ TeV}$) с помощью рентген-эмульсионных камер и ионизационных калориметров наблюдались такие явления, как компланарность прихода наиболее энергичных частиц в центральной области суперсемейств γ -квантов и адронов и так называемый Тянь-Шаньский эффект (слишком медленное поглощение каскадов, инициированных адронами высоких энергий в калориметре). Эти эффекты не удалось воспроизвести в рамках теоретических моделей 80 -- 90-х годов. Компланарность объясняется процессом компланарной генерации наиболее энергичных вторичных частиц при взаимодействии адронов сверхвысоких энергий с ядрами атомов воздуха. Второе явление, возможно, объясняется высоким сечением генерации очарованных адронов в области фрагментации. Для исследования этих явлений разработан новый комплекс детекторов, включающий в себя самый высокогорный в мире ионизационный калориметр Адрон-55 для изучения стволов ШАЛ. Представлены первые экспериментальные результаты.

Введение

Хотя в экспериментах с космическими лучами одновременно используется несколько моделей взаимодействия адронов высоких энергий с ядрами атомов воздуха и последующего развития широкого атмосферного ливня (ШАЛ) в атмосфере, ни одна из них не может точно воспроизвести всю совокупность экспериментально наблюдаемых характеристик ШАЛ. Кроме того, до сих пор не объяснены некоторые результаты, накопленные в высокогорных и баллонных рентгеноэмульсионных камерах (РЭК). Около пятидесяти лет назад при исследовании ШАЛ на Тянь-Шанской высокогорной научной станции (3340 м н.у.м.) было обнаружено уменьшение скорости поглощения адронных каскадов высокой энергии ($\geq 10 \text{ ТэВ}$) в т.н. Большом ионизационном калориметре (БИК), который имел свинцовый поглотитель толщиной 850 г/см², (около пяти длин среднего свободного пробега до взаимодействия протонов в свинце). Было обнаружено, что длина поглощения $L(E_h)$ адронной компоненты в стволах ШАЛ растет с увеличением энергии адронов E_h в калориметре. После открытия очарованных частиц было показано, что описанный выше эффект можно объяснить, предполагая, что в адронных взаимодействиях сечение рождения таких частиц, уносящих значительную долю энергии взаимодействующих адронов, достигает $\sim 30\%$ неупругого сечения протон-ядро [1,2]. Ионизационный калориметр с толщиной порядка шести (или более)

длин свободного пробега взаимодействия адронов может помочь в изучении этих очень интересных эффектов.

В высокогорных экспериментах с РЭК Памира (4300 м н.у.м.) [3] и Mt.Kanbala [4] коллабораций была обнаружена тенденция к компланарному приходу наиболее высокоэнергетичных частиц или узких электромагнитных подкаскадов с энергиями $E \gtrsim 10$ ТэВ в т.н. гамма-адронных суперсемействах с энергиями $\sum E_\gamma > 700$ ТэВ вблизи осей относительно «молодых» ШАЛ, не достигнувших максимума своего развития к моменту регистрации на наблюдательном уровне. Эти ливни в основном инициируются протонами и ядрами гелия первичного космического излучения (ПКИ).

Общую картину дополняют два суперсемейства со сверхвысокими энергиям ($\sum E_\gamma > 1$ ПэВ) и очень высокой компланарностью наиболее энергичных частиц, обнаруженные с помощью эмульсионной методики на больших высотах в стратосфере (где характеристики ливней гораздо более чувствительны к параметрам первых взаимодействий частиц первичного космического излучения в атмосфере) на борту воздушного шара («Страна» [5]) и реактивного самолета «Concorde» (JF2af2 [6]). Вероятность получить всю совокупность этих экспериментальных результатов слишком мала ($\lesssim 10^{-10}$) [6, 7], чтобы объяснить этот результат каскадными флуктуациями.

В целом можно сделать вывод, что: 1) это явление связано с наиболее энергичными частицами, генерируемыми во взаимодействиях на ранней стадии развития ШАЛ; 2) этот процесс не воспроизводится моделированием в рамках моделей на основе КХД и КГС, применяемых в физике космических лучей высоких энергий; 3) сечение компланарной генерации частиц (КГЧ) относительно велико.

Теоретические представления связывают генерацию компланарных частиц с 1) угловым моментом кварк-глюонной струны, вращаемой взаимодействующими адронами [8]; 2) полужесткая двойная неупругая дифракция и некоторая напряженность КГС внутри дифракционного кластера между полужестко рассеянным кварком и кварками-спектаторами взаимодействующего адрона [8]; 3) лидирующие системы с очень высоким спином [8]; 4) временный переход трехмерного пространства в двухмерное [9].

Первые четыре гипотезы включают большие поперечные импульсы как почти обязательный элемент, определяющий компланарную плоскость. При этом поперечные импульсы, направленные перпендикулярно этой плоскости, по-прежнему имеют стандартные значения традиционных моделей адронных взаимодействий. Гипотеза [10] предполагает уменьшение размерности пространства с трех до двух измерений при достаточно высоких энергиях. При этом поперечные импульсы локализованы в некоторой плоскости без существенного изменения их средних значений.

Вышеупомянутые экспериментальные данные показывают, что мы еще не понимаем всех особенностей адронных взаимодействий. К сожалению, эти явления не могут быть изучены в экспериментах на Большом адронном коллайдере (БАК). Специфика конструкции коллайдера и используемых детекторов позволяет детально изучать, в основном, только частицы в центральной кинематической области ($|\eta, y| \lesssim 4 - 5$). Однако можно продолжить исследования этих явлений в высокогорных экспериментах с космическими лучами.

Масштаб компланарных событий, наблюдаемых с помощью XREC, которые характеризуются очень высоким пространственным разрешением (~ 100 мкм), очень мал, в основном около 1 см и менее, что соответствует отбору событий, вызванных взаимодействиями адронов на высотах 1 – 2 км над детектором. Ионизационный калориметр на высоте Тянь-Шаньской станции имеет гораздо более грубое пространственное разрешение порядка ширины его ионизационных камер (ИК) (~ 12 см). В этом случае поиск ливней с несколькими наиболее энергичными подстволами в центральной области приведет к отбору событий, созданных адронно-ядерными взаимодействиями на гораздо больших высотах (~ 10 км) над калориметром, где рождённые высокоэнергичные адроны инициируют подкаскады, приходящие на верхнюю поверхность калориметра.

Ионизационный калориметр позволит изучать рассмотренные выше экспериментальные результаты, а именно слишком медленное ионизационное поглощение в толстом адронном калориметре и компланарность прихода наиболее энергичных подстволов в области центральных стволов ШАЛ, связанных с адронами с высокими x_F из области фрагментации адронных взаимодействий.

Отметим, что в некоторых работах (см. [10]) авторы связывают нестандартные явления, наблюдавшиеся в исследованиях на ТШВНС, с ШАЛ, инициированными странглетами частицами странной кварковой материи, возможно входящими в состав ПКИ [10].

Методология исследования

Комплексная установка «Адрон-М»

Комплексная установка "Адрон-М", расположенная на высоте 3340 метров над уровнем моря, включает в свой состав ионизационно-нейтронный калориметр (ИНК) Адрон-55 площадью 55 м², толщиной поглотителя 1244 г/см², девятью рядами ИК и одним рядом нейтронных детекторов, а также две ливневые системы сцинтилляционных детекторов. Эффективная площадь установки "Адрон-М" составляет около 45000 м². ИНК «Адрон-55» расположен в лабораторном здании площадью 324 м². Внутренняя ливневая система расположена внутри здания над первым уровнем калориметра и вокруг него. Внешняя ливневая система расположена снаружи здания по концентрическим окружностям радиусами 25, 40, и 100 метров, с четырьмя сцинтилляционными детекторами (SD) в каждой круглой зон [11].

Конструкция ионизационно-нейтронного калориметра Адрон-55

Двух уровневый калориметр, состоит из верхней части (гамма-блок) и нижней части (адронный- блок) [24]. Гамма-блок и адронный блок разнесены по вертикали на 2.2 м для экспериментов, связанных с поиском чармированных частиц. Гамма-блок состоит из двух рядов ИК – 100 камер в первом ряду и 138 камер во втором, разделенными свинцом общей толщиной 26 см или 310 г/см². Адронный-блок состоит из железного поглотителя с полостями, в которые установлены ионизационные камеры. Этот блок служит для измерения энергии компонент (электронной, мюонной и нейтронной) космического излучения, определения траектории частиц, что позволяет более детально исследовать характеристики взаимодействий частиц космического излучения. Адронный блок содержит 7 рядов ИК, по 144 камеры в каждом ряду, расположенные взаимно-перпендикулярно с поглотителем из железа между рядами.

Регистрация и анализ экспериментальных данных "Адрона-М"

Система баз данных комплексной установки "Адрон-М" работает под управлением серверной программы PostgreSQL, доступ к которой через локальную сеть могут получить удаленные клиентские программы с конкретными запросами на обработку данных. База данных доступна по адресу www.tien-shan.org.

Банк экспериментальных данных установки "Адрон-М" имеет двухуровневую структуру. Исходный банк данных Bank-0 содержит зарегистрированные коды ионизации (амплитуды импульсов) каждого детектора, которые суммируются и преобразуются в двоичный код АЦП. Вторичный банк данных Bank-1 содержит откалиброванные данные из Bank-0 с преобразованием кодов АЦП в ионизацию; значения данных преобразуются в милливольты, которые пропорциональны энергии E_0 первичной частицы [11].

Мощность ливня (число заряженных частиц, N_e) определялось как сумма частиц во всех камерах восьми рядов ИНК. Число частиц N_{ij} в каждой i -й камере j -го ряда равно сигналу на выходе усилителя камеры U_k , делённому на сигнал от прохождения одиночной частицы U_{oe} , т.е. $N_{ij} = U_k / U_{oe}$.

Для определения амплитуды сигнала от одиночной частицы U_{oe} был собран стенд, в состав которого входили ионизационная камера, усилитель + АЦП (аналогово-цифровой

преобразователь), компьютер, и был получен спектр амплитуд одиночных импульсов фона космических лучей. Пиковое значение спектра принималось за амплитуду сигнала от одного электрона. Измерения показали, что $U_{oe} = 0.39$ мВ/частица.

Для учета разброса давлений газа аргона в ИК (10%) и коэффициентов усиления каналов (20%), на установке регулярно проводится калибровка каналов регистрации, которая запоминается в памяти компьютера для каждого канала N_{ij} и учитывается при создании базы данных.

Энергия E_{cal} , выделенная в калориметре, определяется по калориметрической формуле

$$E_{cal} = b * k * \sum_{i=1}^9 a_i * \sum_{j=1}^{n_i} N_{ij},$$

где a_i – толщина поглотителя (свинца или железа) над i -м рядом ионизационных камер;

b - критическая энергия в свинце/железе;

k - переходной коэффициент «свинец-ИК»;

X_i - толщина свинца или железа ($г/см^2$) над i -м рядом калориметра;

N_{ij} - номер камеры j в i -м ряду калориметра.

Ошибка в определении энергии E_{cal} , выделенной в ионизационном калориметре толщиной 1100 $г/см^2$ и шестью уровнями наблюдения, составляет менее 10%.

Экспериментальные данные ИНК "Адрон-55"

На рис. 1 показаны зависимости заряженных частиц зарегистрированных в калориметре «Адрон-55» по сотне ливней, основные стволы которых пришли на поверхность калориметра. На рис. 1,а показана зависимость плотности заряженных частиц в ионизационных камерах калориметра «Адрон-55», $\rho_{e\,cal}$, $м^2$, от количества вещества поглотителя, усреднённая по всем регистрируемым ливням, независимо от места падения основного ствола ШАЛ. На рис. 1,б показана зависимость мощности ливня (числа зарегистрированных заряженных частиц в ИК) калориметра «Адрон-55», $N_{e\,cal}$, от количества вещества поглотителя, усреднённая по сотне ливней, основные стволы которых пришли на поверхность калориметра. Среднеквадратичные ошибки, показанные на рис. 1,б, характеризуют только флуктуационные отклонения характеристик индивидуальных ливней от средних значений.

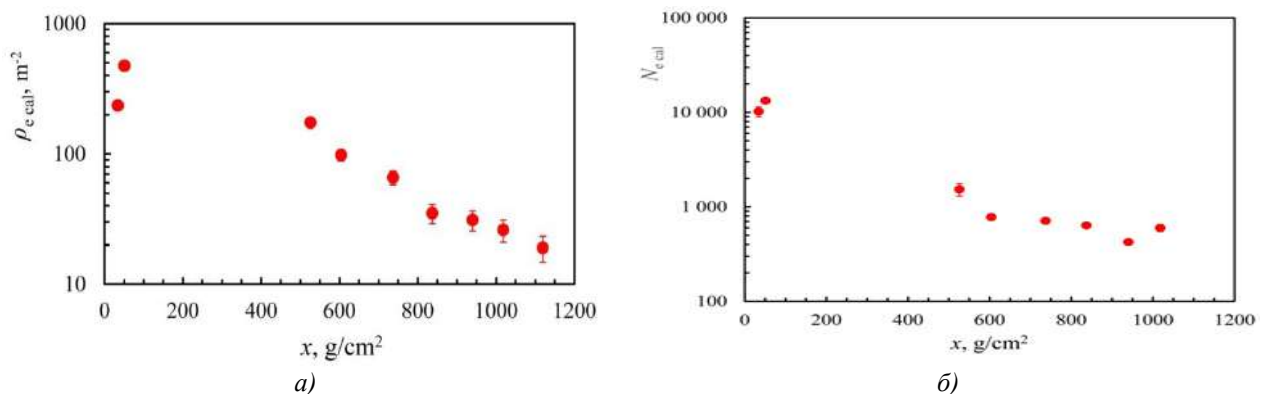


Рисунок 1. Зависимости заряженных частиц зарегистрированных ИК «Адрон-55»
 а) от плотности заряженных частиц $\rho_{e\,cal}$, $м^2$, б) от числа заряженных частиц $N_{e\,cal}$, $м^2$

Напомним, что две крайние левые точки на рис. 1.а и 1.б относятся к гамма-блоку, т.е. они характеризуют, в основном, низкоэнергичную электрон-позитронную и мюонную компоненты. Остальные точки на графике определяются адронной компонентой ШАЛ, которая взаимодействует непосредственно в веществе поглотителя, рождая частицы, в частности нейтральные π^0 -мезоны, практически сразу распадающиеся на γ -кванты, которые инициируют электронно-фотонные каскады в плотном веществе поглотителя. Хотя спектры, естественно, качественно похожи друг на друга, можно заметить, что имеются и некоторые отличия. В частности, крайняя правая точка на рис. 1,б, соответствующая толщине поглотителя 1018

г/см², находится заметно выше предыдущей точки, которая соответствует глубине 940 г/см². Для установления механизма этого экспериментального результата необходимы дальнейшие исследования, который может иметь как физические (например, быть аналогом эффекта [1]), так и методические причины (например, краевые эффекты). В частности, абсолютно необходимо обширное моделирование как процессов развития ШАЛ в атмосфере, так и процессов регистрации частиц ШАЛ в калориметре «Адрон-55».

Моделирование развития ШАЛ в атмосфере.

Моделирование развития ШАЛ от ядер ПККИ.

Были начаты расчеты развития ШАЛ, инициированных протонами и ядрами ПККИ сверхвысоких энергий и состоящих из громадного числа адронов, электронов, позитронов, γ -квантов и мюонов, а также вычисление наблюдаемых характеристик ШАЛ с использованием стандартного пакета программ моделирования CORSIKA.

При использовании пакета CORSIKA возможен выбор из несколько моделей взаимодействия адронов с ядрами кислорода и азота в атмосфере. В данном случае для расчетов была использована модель QGSJET II-04, основанная на идеологиях кварк-глюонных струн (КГС) и квантовой хромодинамики (КХД), описывающей генерацию жестких струй адронов с большими поперечными импульсами.

Моделировалось развитие вертикальных ШАЛ от границы атмосферы до уровня расположения ТШВНС (3340 м над у.м.) от различных ядер (от протонов до ядер железа, Fe) с энергиями 1, 10, 30, 100 ПэВ. При моделировании использовались следующие энергетические пороги: 30 МэВ для электронов и гамма-квантов, 1 ГэВ для адронов и мюонов. Были получены пространственные и энергетические характеристики адронов, электронов, и мюонов при различных пороговых значениях E_{thr} .

Моделирование развития ШАЛ от странглетов

Были также начаты расчеты развития ШАЛ, инициированных т.н. странглетами – частицами странной кварковой материи (СКМ), возможно входящими в состав ПККИ [12]. Основное отличие странглетов от традиционных ядер – гораздо больший вклад странных кварков. СКМ можно разделить на три класса, отличающихся разными значениями барионного числа A_s [12]:

- *блоковая СКМ*: $A_s > 10^7$. В большом объеме СКМ выполняется равенство числа кварков $n_v = n_f = n_s$, её электрический заряд $Z=0$;
- *стабильные частицы СКМ* (странглеты): $10^2 < A_s < 10^7$). Модельная оценка стабильности таких странглетов: $A_s > 300 - 1000$. По сути, подобные странглеты представляют собой квазиядра, которые обладают меньшей плотностью (по сравнению с обычными ядрами) с положительным электрическим зарядом $Z = +(0.03 - 0.1) \cdot A_s$;
- *нестабильные частицы СКМ*: $A_s < 100$.

Теоретические неопределённости не позволяют однозначно выбрать класс СКМ для моделирования ШАЛ. Поэтому разумно было начать со стабильных странглетов, принять, что $A_s = 2000$ и считать странглет очень большим квазиядром, для которого сечение взаимодействия в воздухе $\sigma_{s-air} \approx \sigma_{pp} (A_s^{2/3} + A_{air}^{2/3})$.

Пусть после входа в атмосферу средний пробег до первого взаимодействия странглета равен $\lambda_s^1 = 1$ г/см². В этом взаимодействии часть барионов взаимодействует и выбывает из состава странглета, как индивидуально, так и в составе обычных ядер. При каждом взаимодействии образуются свободные обычные ядра с массой A_i . При этом, чем тяжелее ядро, тем меньше вероятность его рождения. В расчетах принято, что первичные ядра принадлежат к одной из основных групп. Поэтому в каждом из взаимодействий странглета рождается одно или несколько ядер с массами 1 (протоны), 4 (He), 12 (C), 32 (S), 56 (Fe).

Реально в каждом взаимодействии по Пуассону разыгрывается число откалывающихся нуклонов N_{nucl} со средним числом откалывающихся нуклонов $\langle N_{nucl} \rangle = 12$, которые далее формируют ядро или ядра из приведенного набора. Сечение взаимодействия остатка

странглета при каждом следующем $k+1$ -м взаимодействии будет определяться барионным числом A_s^k . Естественно, для каждого k -го остатка странглета средние значения пробегов $\lambda_s^k > \dots > \lambda_s^2 > \lambda_s^1$.

В ходе развития ШАЛ имеет место более сотни взаимодействий странглета до его полного рассыпания на отдельные протоны, нейтроны и ядра различных атомных весов, инициирующие независимые подстволы в составе центрального ствола ШАЛ. Все образующиеся подкаскады прослеживаются до уровня наблюдения (3340 м н.у.м.) с порогами 30 МэВ по электронам/позитронам и гамма-квантам и 1 ГэВ по мюонам и адронам.

Для моделирования каскадов от протонов и ядер, рождающихся при развале странглетов, и наблюдаемых характеристик ШАЛ использовался стандартный пакет CORSIKA и модель QGSJET II-04.

Результаты исследования

Результаты моделирования развития ШАЛ

Проведены расчеты развития широких атмосферных ливней – ядерно-электромагнитных каскадов в атмосфере, инициированных т.н. странглетами – частицами странной кварковой материи (СКМ), возможно входящими в состав первичного космического излучения (ПКИ).

Для вычисления наблюдаемых характеристик ШАЛ использовался стандартный пакет CORSIKA, предназначенный для моделирования ядерно-электромагнитных каскадов в атмосфере, инициируемых частицами ПКИ.

Для моделирования каскадов от протонов и ядер, родившихся при постепенном развале странглетов, использовалась модель QGSJETII-04 взаимодействия адронов с ядрами атомов в атмосфере, основанная на концепции кварк-глюонных струн (КГС), а также на теории квантовой хромодинамики (КХД), постулирующей генерацию т.н. жестких струй с большими поперечными импульсами. В настоящее время QGSJETII-04 пользуется наибольшей популярностью в экспериментах по изучению ШАЛ.

Было проведено моделирование ШАЛ от протонов, ядер железа и странглетов с энергией $E_0 = 100$ ПэВ. На рис. 2 показаны основные характеристики адронных потоков в ШАЛ.

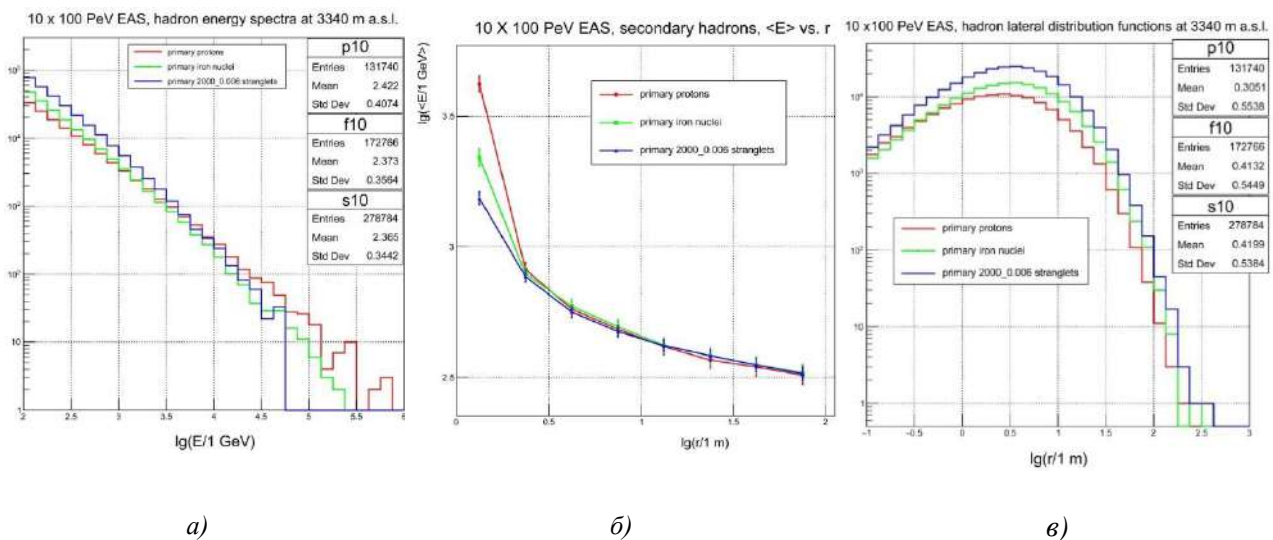


Рисунок 2. Основные характеристики адронных потоков в ШАЛ.

а) Энергетические спектры адронов с энергией $E_h > 100$ ГэВ в ШАЛ от протонов ядер железа и странглетов с энергией 100 ПэВ; б) Зависимость средней энергии адронов (при $E_h > 100$ ГэВ) от расстояния до оси ШАЛ в ливнях от протонов, ядер железа и странглетов ПКИ с энергией $E_0 = 100$ ПэВ; в) Пространственное распределение адронов (при $E_h > 100$ ГэВ) в ливнях от протонов, ядер железа и странглетов ПКИ с энергией $E_0 = 100$ ПэВ

Моделирование показало, что спектр адронов в протонных ШАЛ – самый пологий, и в них даже присутствуют адроны с энергией $E_h > 300$ ТэВ. Соответственно, спектр адронов в ШАЛ, инициированных странглетами – самый мягкий. Это не удивительно, поскольку изначально в странглетах с $A_s = 2000$ энергия на нуклон равна всего лишь $E_{\text{nuc1}} = 50$ ТэВ. Собственно, адроны с максимальной энергией – это нуклоны первичного странглета, проскочившие без взаимодействия до уровня наблюдения.

Видно, что средняя энергия адронов в протонных ливнях – заметно выше, чем в ливнях от ядер железа, тем более, в ливнях от странглетов, что и следовало ожидать на основании спектров, показанных на рис. 2а. На рис. 2в видно, что распределение на больших расстояниях от оси в протонных ШАЛ примерно в пять раз ниже, чем распределение в ШАЛ от странглетов. Аналогичные распределения были получены для электронов/позитронов и мюонов.

Моделирование отклика Адрон-55 на прохождение частиц ШАЛ.

Для моделирования прохождения частиц ШАЛ через калориметр Адрон-55 была разработана программа Nadr55 на основе пакета Geant4 (версии 4.11.0 и 4.11.1.1) [13]. Работа с Geant4 сводится к написанию программ на языке C++, связывающих его компоненты между собой определенным образом, моделирующим некоторую реальную систему. При этом в Geant4 была занесена трехмерная модель калориметра Адрон-55 и характеристики материалов, из которых он состоит. Электромагнитные взаимодействия разыгрывались согласно физлисту *G4EmStandardPhysics_opt3*. Адронные взаимодействия разыгрывались по модели FTFP_BERT, используемой в Geant4 по умолчанию и предполагающей розыгрыш элементарных взаимодействий по партонной модели Fritiof и использование модели Bertini внутриядерного каскада.

Геометрия математической модели Адрон-55. Геометрия калориметра была построена на основании его общего вида, приведённого на рис. 1 и 2, и конкретных данных об ионизационных камерах и слоях поглотителей. Плотности свинца и железа были 12.5 и 7.8 г/см³ соответственно.

Структура ИК воспроизведена в соответствии с описанием: материал корпуса – медь плотностью 8.92 г/см³, внешние размеры – 400 см × 11.5 см × 6 см для 1-го ряда и 300 см × 11.5 см × 6 см для последующих рядов; толщина стенок ИК – 2 мм. В качестве примера на рис. 3 показаны треки от одного протона с энергией 5 ГэВ. Нарисовать полную картину всех треков события ШАЛ в калориметре не представляется возможным из-за слишком большого числа треков.

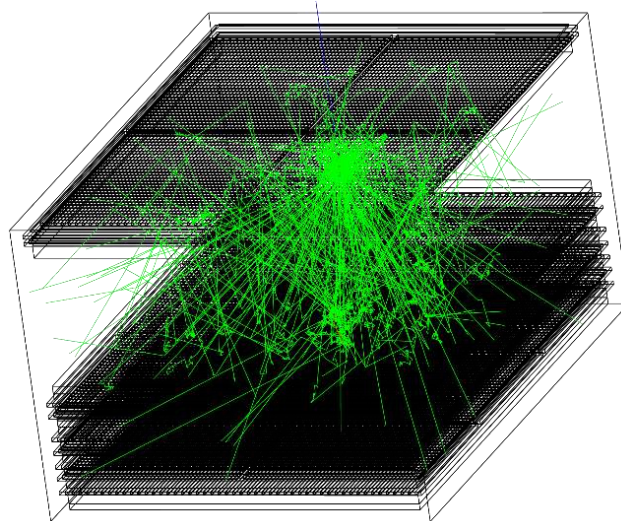


Рисунок 3. Картина треков от одного протона с энергией 5 ГэВ

Сохраняемая информация. В Geant4 событием считается вся совокупность явлений, возникающих после входа в детектор одной частицы (адрона, γ -кванта, мюона и т.д.). В нашем случае событием считается прохождение через калориметр какой-то части частиц ШАЛ, и интерес представляют суммарные энерговыделения этих частиц в каждой из ионизационных камер. Итоговый образ ливня в энерговыделениях сохраняется в текстовом файле `ioni_nch_*`, где * означает спецификацию события (тип и энергия частицы). В том же файле записана информация о числе заряженных частиц, вошедших в каждую ионизационную камеру. Сохраняемая информация может быть изменена и/или дополнена.

Дискуссия

Ресурсы, необходимые для моделирования событий в калориметре

Моделирование прохождения ШАЛ через калориметр проходит в два этапа. На первом этапе, где должен быть рассчитан каскад частиц в воздухе, и записаны частицы, достигшие уровня наблюдения, используется CORSIKA. На втором этапе часть этих частиц, упавшая на калориметр, прослеживается через конструкции калориметра с помощью Hadr55.

Моделирование каскада частиц в атмосфере от частиц ПКИ сверхвысоких энергий предъявляет серьезные требования к используемым компьютерам: время моделирования одного события варьируется от ~3 минут при энергии $E_0 = 1$ ПэВ до 3 – 4 часов при $E_0 = 100$ ПэВ. Объем выводных двоичных файлов может достигать нескольких гигабайт на событие (зависит от задаваемых порогов).

Последующее использование результатов CORSIKA для моделирования процессов в калориметре требует еще больших временных затрат: при выбранных порогах (30 МэВ по электронам и γ -квантам) и 1 ГэВ по мюонам и адронам) число прослеживаемых вторичных частиц для первичных энергий 100 ПэВ может достигать десятков миллионов. Прослеживание 10000 вторичных частиц занимает от 1 до 40 минут при среднем времени в несколько минут, а прослеживание десятков миллионов частиц занимает в тысячу раз больше времени, т.е. несколько дней. Столь большой разброс обусловлен широким энергетическим спектром падающих частиц: низкоэнергичные частицы быстро поглощаются, а более энергичные частицы каскадируют, что требует значительного времени моделирования. В итоге прослеживание одного ШАЛ, инициированного частицей ПКИ с энергией 100 ПэВ, занимает 2 – 3 суток на одном ядре.

Заключение

На высоте 3340 м н.у.м. получены первые экспериментальные результаты исследований стволов ШАЛ с помощью высокогорного ионизационного калориметра Адрон55 площадью 55 м^2 и толщиной около 6 пробегов протонов до взаимодействия.

В ШАЛ, стволы которых приходят на верхнюю плоскость ИНК Адрон55, средняя интенсивность адронов на больших глубинах выше, чем по совокупности всех ШАЛ. При этом наблюдается тенденция к замедлению поглощения адронов.

Начато моделирование ШАЛ от протонов, ядер и гипотетических странглетов ПКИ и моделирование процессов прохождения стволов ШАЛ через ИНК Адрон55.

Экспериментальные и расчетные результаты являются предварительными.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантового финансирования научно-технических программ и проектов Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, ИРН AP019679396.

Выражаем глубокую благодарность научным консультантам, коллегам, которые не являются авторами статьи, но при их содействии проводилось исследование: Р.М. Мухамедшину, В.И. Галкину, В.В. Жукову, В.В. Пискалю, В.И. Осенмуку, Т.К. Идрисовой, К.А. Аргыновой, Ж.Т. Садыкову.

Список использованных источников

- [1] Нам Р. А., Никольская Н. М., Никольский С. И., Соколовский В. И., Тукиш Е. И., Яковлев В. И. Энергетический спектр адронной компоненты космического излучения на высоте 3333 м над уровнем моря // Труды ФИАН 1970, 10, с34-38. ksf.lebedev.ru/contents.php?post=1&year=1970-amp;number=10&word=%CD%E8%EA%EE%EB%FC%F1%EA%E0%FF
- [2] Dremine, I.M.; Madigozhin, D.T.; Yakovlev, V.I. Monte Carlo simulations of long-flying cascades in cosmic rays and leading charm at SSC // AIP Conf. Proc. 1993, 276, 534. <https://doi.org/10.1063/1.43849>
- [3] Байбурина С.Г.; Борисов А.С.; Чердынцева К.В.; Гусева З.М.; Денисова В.Г.; Дунаевский А.М.; Каневская Е.А.; Максименко В.М.; Пашков С.В.; Шаулов С.Б.; и другие. Исследование ядерных взаимодействий в области энергий $10^{14} - 10^{17}$ эВ методом рентгеноэмульсионных камер в космических лучах (эксперимент «Памир») // Труды ФИАН 1984, 154, 3–141. URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/63009482/>
- [4] Capdevielle J. Analysis of one cosmic-ray collision near 10^7 GeV // Journal of Physics G: Nuclear Physics 1988, 14, 503. DOI:10.1088/0305-4616/14/4/012 Corpus ID: 120056841
- [5] Osedlo, V.I.; Rakobolskaya, I.V.; Galkin, V.I.; Managadze, A.K.; Sveshnikova, L.G.; Goncharova, L.A.; Kotelnikov, K.A.; Martynov, A.G.; Polukhina, N.G. A superfamily with $SE > 1015$ eV observed in stratosphere. In Proceedings of the 27th International Cosmic Ray Conference, Hamburg, Germany, 8–15 August 2001; V. 4, pp. 1426–1429. URL: <http://particle.astro.ru.nl/pub27ICRC2-792.pdf>
- [6] Mukhamedshin, R.A. Simulation of coplanar particle generation in hadron interactions at superhigh energies by the new FANSY code. Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 2009, 196, 98-101. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysbps.2009.09.016>
- [7] Mukhamedshin, R.A. FANSY 1.0: A phenomenological model for simulation of coplanar particle generation in superhigh-energy hadron interactions. Eur. Phys. J. C (2009), 60: 345–358. DOI 10.1140/epjc/s10052-009-0945-y
- [8] A.S. Borisov, V.G. Denisova, Z.M. Guseva, E.A. Kanevskaya, S.A. Karpova, V.M. Maximenko, R.A. Mukhamedshin, V.S. Puchkov, S.A. Slavatskiy The characteristics of gamma-hadron families induced by primary cosmic rays with an energy more than 10 PeV // Nuclear-physics-B.- 1999, P. 159-161. [https://doi.org/10.1016/S0920-5632\(99\)00229-7](https://doi.org/10.1016/S0920-5632(99)00229-7)
- [9] Mukhamedshin, R.A. On a mechanism of coplanar generation of particles at superhigh energies. Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 1999, 75, 141–144.
- [10] Anchordoqui, L.A.; Dai, D.C.; Goldberg, H.; Landsberg, G.; Shaughnessy, G.; Stojkovic, D.; Weiler, T.J. Searching for the Layered Structure of Space at the LHC. Phys. Rev. D 2011, 83, 114046 DOI:10.1103/PhysRevD.83.114046
- [11] Садыков Т.Х., Аргынова А.Х., Жуков В.В., Новолодская О.А., Пискаль В.В. Модернизация периферийных детекторов Тянь-шанского ионизационно-нейтронного калориметра «АДРОН-55». // Известия НАН РК. Серия физико-математических наук. 2021. - Т. 4. - № 338. – С. 121-128. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1726.75>.
- [12] Shaulov, S.B.; Beyl, P.F.; Beysembaev, R.U.; Beysembaeva, E.A.; Bezshapov, S.P.; Borisov, A.S.; Cherdynceva, K.V.; Chernyavsky, M.M.; Chubenko, A.P.; Dalkarov, O.D.; et al. Investigation of EAS cores. EPJ Web Conf. 2017, 145, 17001. DOI: 10.1051/epjconf/201714517001
- [13] Geant4 Guide For Physics Lists, Release 11.0, Geant4 Collaboration, Rev6.0 - December 10th, 2021.

Reference

- [1] Nam R.A., Nikolskaya N.M., Nikolsky S.I., Sokolovsky V.I., Turkish E.I., Yakovlev V.I. (1970) Jenergeticheskij spektr adronnoj komponenty kosmicheskogo izlucheniya na vysote 3333 m nad urovnem morja [Energy spectrum of the hadron component of cosmic radiation at an altitude of 3333 m above sea level] Trudy FIAN 1970, 10, s34-38. (In Russian) ksf.lebedev.ru/contents.php?post=1&year=1970&number=10&word=%CD%E8%EA%EE%EB%FC%F1%EA%E0%FF
- [2] Dremine, I.M.; Madigozhin, D.T.; Yakovlev, V.I. Monte Carlo simulations of long-flying cascades in cosmic rays and leading charm at SSC // AIP Conf. Proc. 1993, 276, 534. <https://doi.org/10.1063/1.43849>
- [3] Bajburina S.G.; Borisov A.S.; Cherdynceva K.V.; Guseva Z.M.; Denisova V.G.; Dunaevskij A.M.; Kanevskaja E.A.; Maksimenko V.M.; Pashkov S.V.; Shaulov S.B.; i drugie (1984) Issledovanie jadernyh vzaimodejstvij v oblasti jenergij $10^{14} - 10^{17}$ jeV metodom rentgenojemul'sionnyh kamer v kosmicheskikh luchah (jeksperiment «Pamir») [Investigation of nuclear interactions in the field of energies $10^{14} - 10^{17}$ eV

by X-ray emulsion chambers in cosmic rays (Pamir experiment)] (In Russian) *Trudy FIAN* 1984, 154, 3–141. URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/63009482/>

[4] Capdevielle J. Analysis of one cosmic-ray collision near 10^7 GeV // *Journal of Physics G: Nuclear Physics* 1988, 14, 503. DOI:10.1088/0305-4616/14/4/012 Corpus ID: 120056841

[5] Osedlo, V.I.; Rakobolskaya, I.V.; Galkin, V.I.; Managadze, A.K.; Sveshnikova, L.G.; Goncharova, L.A.; Kotelnikov, K.A.; Martynov, A.G.; Polukhina, N.G. A superfamily with SE > 1015 eV observed in stratosphere. In *Proceedings of the 27th International Cosmic Ray Conference, Hamburg, Germany, 8–15 August 2001*; V. 4, pp. 1426–1429. URL: <http://particle.astro.ru.nl/pub27ICRC2-792.pdf>

[6] Mukhamedshin, R.A. Simulation of coplanar particle generation in hadron interactions at superhigh energies by the new FANSY code. *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)* 2009, 196, 98-101. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysbps.2009.09.016>

[7] Mukhamedshin, R.A. FANSY 1.0: A phenomenological model for simulation of coplanar particle generation in superhigh-energy hadron interactions. *Eur. Phys. J. C* (2009), 60: 345–358. DOI 10.1140/epjc/s10052-009-0945-y

[8] A.S. Borisov, V.G. Denisova, Z.M. Guseva, E.A. Kanevskaya, S.A. Karpova, V.M. Maximenko, R.A. Mukhamedshin, V.S. Puchkov, S.A. Slavatinsky The characteristics of gamma-hadron families induced by primary cosmic rays with an energy more than 10 PeV // *Nuclear-physics-B.-* 1999, P. 159-161. [https://doi.org/10.1016/S0920-5632\(99\)00229-7](https://doi.org/10.1016/S0920-5632(99)00229-7)

[9] Mukhamedshin, R.A. On a mechanism of coplanar generation of particles at superhigh energies. *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)* 1999, 75, 141–144.

[10] Anchordoqui, L.A.; Dai, D.C.; Goldberg, H.; Landsberg, G.; Shaughnessy, G.; Stojkovic, D.; Weiler, T.J. Searching for the Layered Structure of Space at the LHC. *Phys. Rev. D* 2011, 83, 114046 DOI:10.1103/PhysRevD.83.114046

[11] Sadykov T.H., Argynova A.H., Zhukov V.V., Novolodskaja O.A., Piskal' V.V. Modernizacija periferijnyh detektorov Tjan'-shanskogo ionizacionno-nejtronno kalorigetra «ADRON-55». [Modernization of peripheral detectors of the Tien Shan ionization-neutron calorimeter "HADRON-55"] (In Russian) *Izvestija NAN RK. Serija fiziko-matematicheskikh nauk.* 2021. - V. 4. - № 338. – P. 121-128. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1726.75>.

Sadykov T.H., Argynova A.H., Zhukov V.V., Novolodskaja O.A., Piskal' V.V. Modernizacija periferijnyh detektorov Tjan'-shanskogo ionizacionno-nejtronno kalorigetra «ADRON-55». [Modernization of peripheral detectors of the Tien Shan ionization-neutron calorimeter "HADRON-55"] (In Russian) *Izvestija NAN RK. Serija fiziko-matematicheskikh nauk.*

[12] Shaulov, S.B.; Beyl, P.F.; Beysembaev, R.U.; Beysembaeva, E.A.; Bezshapov, S.P.; Borisov, A.S.; Cherdynceva, K.V.; Chernyavsky, M.M.; Chubenko, A.P.; Dalkarov, O.D.; et al. Investigation of EAS cores. *EPJ Web Conf.* 2017, 145, 17001. DOI: 10.1051/epjconf/201714517001

[13] *Geant4 Guide For Physics Lists, Release 11.0, Geant4 Collaboration, Rev6.0 - December 10th, 2021.*

Z.G. Ualiyev^{1*}, K. Bissebayev¹, Y. Temirbekov¹, D. Kerimkulov¹, M. Kanapiya¹

¹Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: z.ualiyev@mail.ru

MODELLING OF TRANSFER MECHANISMS TAKING INTO CONSIDERATION KINEMATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS

Abstract

This paper presents an analysis of mechanical systems. It considers matrix methods for determining the positions of links and the transformation of the simplest movements of the output links of motors into the movements of the working bodies of the machine, which are carried out by a mechanical system consisting of transmission mechanisms. The object of study is a mechanical system including an executive organ, a transmission mechanism and a motor. The technological processes mechanised with the help of this system are used in a wide variety of industries. The practice of engineering calculations demonstrates that in many cases the links of transmission mechanisms are the most pliable, directly transmitting dynamic loads. Consequently, the modelling of transmission mechanisms in mechanical systems, taking into account both kinematic and dynamic characteristics, is a highly relevant area of study. This research presents a set of methods and techniques for determining the kinematic and dynamic characteristics of mechanical systems. It is shown that geometric characteristics significantly affect the dynamics of the mechanical system as a whole. The Lagrangian equation of the second kind is employed in the formulation of the equation of motion of mechanical systems. A crucial phase in the modelling of mechanical systems is the assessment of the stress-strain state of the supporting metallic structure. Autodesk Inventor software was utilised to ascertain the stress-strain state and safety factor of the mechanical system.

Keywords: matrix of kinematic pairs, transfer function, transfer mechanism, mechanical system, mathematical model, electromechanical system.

З.Г. Уәлиев¹, Қ. Бисембаев¹, Е.С. Темирбеков¹, Д. Керимкулов¹, М. Қанапия¹

¹Ө.А. Джолдасбеков атындағы механика және машинатану институты, Алматы қ., Қазақстан

КИНЕМАТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ДИНАМИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРДЫ ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП БЕРІЛІС МЕХАНИЗМДЕРІН МОДЕЛЬДЕУ

Аңдатпа

Бұл жұмыста механикалық жүйелерді талдау мәселелері қарастырылған. Буындардың орналасуын анықтаудың матрицалық әдістері, сондай-ақ қозғалтқыштардың Шығыс буындарының қарапайым қозғалыстарын беріліс механизмдерінен тұратын механикалық жүйемен жүзеге асырылатын машинаның жұмыс органдарының қозғалысына айналдыру қарастырылады. Зерттеу объектісі атқарушы органды, беріліс механизмін және қозғалтқышты қамтитын механикалық жүйе болып табылады. Осы жүйенің көмегімен механикаландырылған технологиялық процестер өнеркәсіптің әртүрлі салаларында қолданылады. Инженерлік есептеулер тәжірибесі көрсеткендей, көптеген жағдайларда динамикалық жүктемелерді тікелей жіберетін беріліс механизмдерінің буындары ең икемді болып табылады. Сондықтан кинематикалық және динамикалық сипаттамаларды ескере отырып, механикалық жүйелердің беріліс механизмдерін модельдеу мәселелері өте өзекті. Зерттеу механикалық жүйелердің кинематикалық және динамикалық сипаттамаларын анықтау әдістері мен әдістерінің жиынтығы болып табылады. Геометриялық сипаттамалар жалпы механикалық жүйенің динамикасына айтарлықтай әсер ететіні көрсетілген. Механикалық жүйелердің қозғалыс теңдеуін құруда екінші типтегі Лагранж теңдеуі қолданылады. Механикалық жүйелерді модельдеудің маңызды кезеңі тірек металл құрылымының кернеулі деформацияланған күйін бағалау болып табылады. Механикалық жүйенің кернеулі деформацияланған күйін және қауіпсіздік коэффициентін анықтау үшін Autodesk Inventor бағдарламасы қолданылды.

Түйін сөздер: кинематикалық жұптардың матрицасы, беріліс функциясы, беріліс механизмі, механикалық жүйе, математикалық модель, электромеханикалық жүйе.

З.Г. Уалиев¹, К. Бисембаев¹, Е.С. Темирбеков¹, Д. Керимкулов¹, М. Канапия¹

¹Институт механики и машиноведения имени академика У.А.Джолдасбекова, г. Алматы, Казахстан

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ С УЧЕТОМ КИНЕМАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Аннотация

В данной работе рассмотрены вопросы анализа механических систем. Рассматриваются матричные методы определения положений звеньев, а также преобразование простейших движений выходных звеньев двигателей в движения рабочих органов машины, которые осуществляются механической системой, состоящей из передаточных механизмов. Объектом исследования является механическая система, включающая исполнительный орган, передаточный механизм и двигатель. Технологические процессы, механизированные с помощью этой системы, находят применение в самых разных областях промышленности. Практика инженерных расчетов показывает, что во многих случаях наиболее податливыми оказываются звенья передаточных механизмов, непосредственно передающие динамические нагрузки. Поэтому вопросы моделирования передаточных механизмов механических систем, с учетом кинематических и динамических характеристик, являются очень актуальными. Исследование представляет собой совокупность методов и приемов определения кинематических и динамических характеристик механических систем. Показано, что геометрические характеристики существенно влияют на динамику механической системы в целом. При составлении уравнения движения механических систем используется уравнение Лагранжа второго рода. Важным этапом моделирования механических систем является оценка напряженно-деформированного состояния несущей металлической конструкции. Для определения напряженно-деформированного состояния и коэффициента запаса прочности механической системы была применена программа Autodesk Inventor.

Ключевые слова: матрица кинематических пар, передаточная функция, передаточный механизм, механическая система, математическая модель, электромеханическая система.

Main provisions

This paper deals with the analysis of a mechanical system consisting of transmission mechanisms. This mechanical system has both translational and rotational kinematic pairs. Matrix methods are used in determining the position function of the links. The dependence of the output link of the transfer mechanism on the output links of the motors is shown. When considering the mechanism with electric drive, the mechanical system is considered as an electromechanical system. This allows us to derive not only the equation of motion of the mechanical part of the system, but also the associated equations of the electrical part. The study of motion of such systems should be carried out for the whole system or its individual elements. The links of a technological machine can be represented in the form of local models. The paper also considers the case when the link directly transmitting dynamic loads is an elastic element of the transmission mechanism. As a result, we consider a dynamic model with an elastic transfer mechanism. This paper shows that when modelling the transfer mechanisms of mechanical systems, it is necessary to take into account the position functions, elasticity of links, and motor characteristics. To obtain a complete system of equations of motion of the machine, to the equations of motion of the mechanical system must be added to the characteristics of the motor. From the obtained equations, the values of generalised coordinates, generalised velocities and generalised forces are determined.

Introduction

The problems of the theory of mechanisms and machines can be grouped into three areas: analysis of mechanisms, synthesis of mechanisms and the theory of automatic machines. Analysis of a mechanism consists of studying the kinematic and dynamic properties of a mechanism according to its given scheme, and synthesis of a mechanism consists of designing a scheme of a mechanism according to its given properties. A lot of research work is being carried out in all three of these areas of the theory of mechanisms and machines.

The article discusses the analysis of the manipulator mechanism of a technological machine Fig. 3. This mechanical system has both translational and rotational kinematic pairs. To determine the

position of the links of a mechanical system, you can use graphic, analytical, graph-analytical methods [1-5]. When compiling mathematical models of the kinematics of manipulators, matrix calculus has become most widespread. In this work, the matrix method is used to analyze the position of links, and the coordinate transformation equations are shown.

When determining the position function of the links, the theory of matrices of kinematic pairs is considered. The paper considers the dynamic criteria of the kinetostatic model of mechanical systems. The influence of geometric characteristics on the dynamics of a mechanical system is shown. When determining the law of motion of mechanisms, local dynamic models of transmission mechanisms are usually considered, taking into account the characteristics of the engine Fig. 4. The article discusses some issues of compiling mathematical models of electromechanical systems. For the dynamic analysis of the movement of an electromechanical system, as a mechanism with electric drives, the most convenient are the equations Lagrange-Maxwell, which make it possible to obtain equations of motion not only for the mechanical part of the system, but also for the electrical part associated with it. The study of the motion of such systems must be carried out for the whole system or its individual elements [6].

During the study, a scale model of the technological machine manipulator was created Fig. 6. An important stage in the design of mechanical systems is the assessment of the stress-strain state (SSS) of the supporting metal structure. For this purpose, software packages that implement the finite element method are increasingly used [7,8]. In this work, the Autodesk Inventor program was used.

Research methodology

The transformation of system coordinates $x_j y_j z_j$ into coordinates $x_i y_i z_i$ is performed according to the equations:

$$\begin{aligned} x_i &= a_{11}x_j + a_{12}y_j + a_{13}z_j + a_i \\ y_i &= a_{21}x_j + a_{22}y_j + a_{23}z_j + b_i \\ z_i &= a_{31}x_j + a_{32}y_j + a_{33}z_j + c_i \end{aligned} \quad (1)$$

where are a_i, b_i, c_i the origins of system j in system i , and the coefficients of the coordinates are the direction cosines of system j relative to i :

$$\begin{aligned} a_{11} &= \cos(\widehat{x_j, x_i}), \quad a_{12} = \cos(\widehat{y_j, x_i}), \quad a_{13} = \cos(\widehat{z_j, x_i}), \\ a_{21} &= \cos(\widehat{x_j, y_i}), \quad a_{22} = \cos(\widehat{y_j, y_i}), \quad a_{23} = \cos(\widehat{z_j, y_i}), \\ a_{31} &= \cos(\widehat{x_j, z_i}), \quad a_{32} = \cos(\widehat{y_j, z_i}), \quad a_{33} = \cos(\widehat{z_j, z_i}), \end{aligned} \quad (2)$$

If during this transformation we keep the designations of the direction cosines according to (2), then the matrix T_{ij} has the form:

$$T_{ij} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} & a_j \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} & b_j \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} & c_j \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

If the beginning of system j does not coincide with the beginning of system i , then to measure the Euler angles it is necessary to draw through axes parallel to the axes of system i . O_j

Let us introduce the notation:

$$\cos\theta_{ji} = c_1, \cos\psi_{ji} = c_2, \cos\phi_{ji} = c_3, \sin\theta_{ji} = s_1, \sin\psi_{ji} = s_2, \sin\phi_{ji} = s_3 \text{ (Fig. 1.)}$$

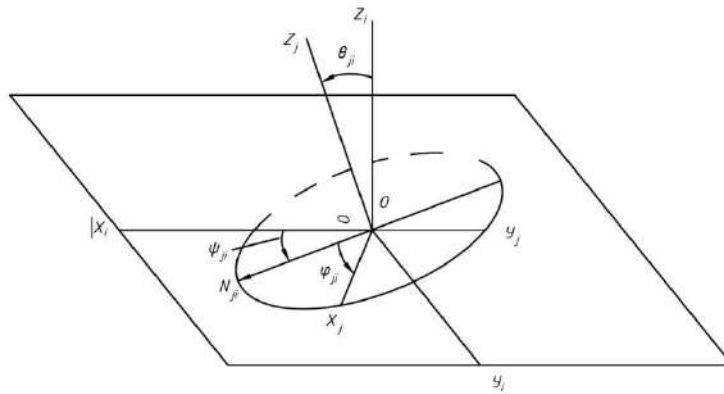


Fig. 1. Euler angles

Then the direction cosines:

$$\begin{aligned} a_{11} = c_2c_3 - c_1s_2s_3, \quad a_{12} = -c_2s_3 - c_1s_2c_3, \quad a_{13} = s_1s_2, \quad a_{21} = s_2c_3 + c_1c_2s_3, \quad a_{22} = \\ -s_2s_3 + c_1c_2c_3, \quad a_{23} = -s_1c_2, \quad a_{31} = s_1s_3, \quad a_{32} = s_1c_3, \quad a_{33} = c_1. \end{aligned} \quad (3)$$

The matrix of coefficients of the right-hand sides of the coordinate transformation equations T_{ij} (or T_{ji}) depends only on the type of kinematic pair and therefore can be called the matrix of the kinematic pair. Taking into account the formulas for the connection between direction cosines and Euler angles (3), we obtain:

$$T_{ji} = \begin{vmatrix} \cos\psi_{ji}\cos\phi_{ji} - \cos\theta_{ji}\sin\psi_{ji}\sin\phi_{ji} & -\cos\psi_{ji}\sin\phi_{ji} - \cos\theta_{ji}\sin\psi_{ji}\cos\phi_{ji} & \sin\theta_{ji}\sin\psi_{ji} & a_i \\ \sin\psi_{ji}\cos\phi_{ji} + \cos\theta_{ji}\cos\psi_{ji}\sin\phi_{ji} & -\sin\psi_{ji}\sin\phi_{ji} + \cos\theta_{ji}\cos\psi_{ji}\cos\phi_{ji} & -\sin\theta_{ji}\cos\psi_{ji} & b_i \\ \sin\theta_{ji}\sin\phi_{ji} & \sin\theta_{ji}\cos\phi_{ji} & \cos\theta_{ji} & c_i \end{vmatrix} \quad (4)$$

For links i and j of a rotational pair, we direct the axis O_jz_j along the axis of this pair, the shortest distance l_j between the axes O_iz_i and O_jz_j is compatible with the axis O_ix_i , and the origin of coordinates O_j is placed at a distance l_{ji} from the axis O_ix_i (Fig. 2).

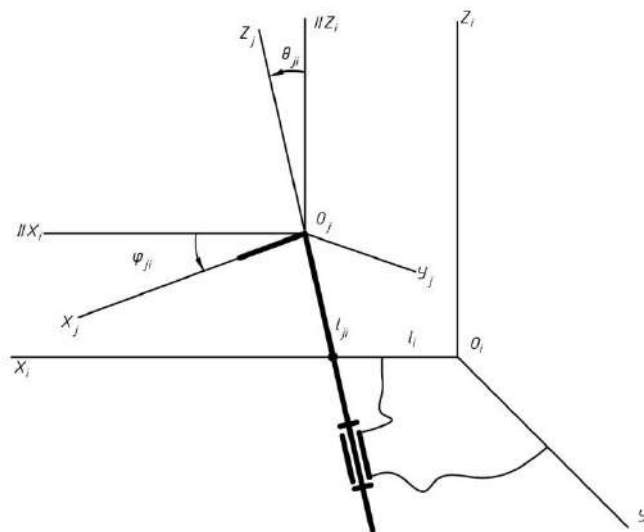


Fig. 2 Rotational pair

Then the nutation angle $\theta_{ji} = const$, the precession angle $\psi_{ji} = 0$, and taking into account the accepted notation we obtain from (4) the matrix of the rotational pair:

$$T_{ji} = \begin{vmatrix} \cos\phi_{ji} & -\sin\phi_{ji} & 0 & l_i \\ \cos\theta_{ji}\sin\phi_{ji} & \cos\theta_{ji}\cos\phi_{ji} & -\sin\theta_{ji} & -l_{ji}\sin\theta_{ji} \\ \sin\theta_{ji}\sin\phi_{ji} & \sin\theta_{ji}\cos\phi_{ji} & \cos\theta_{ji} & l_{ji}\cos\theta_{ji} \end{vmatrix} \quad (5)$$

Translational pair matrix is obtained from matrix (5), if we consider the parameter $l_{ji} = s_{ji}$ to be a variable value, and the angle $\phi_{ji} = 0$. The angle θ_{ji} in this case is the angle between the axis $O_i z_i$ and the axis of the translational pair, and the value l_i is equal to the shortest distance between these axes.

Under the same conditions, if instead of a translational pair there is a screw, then the distance $l_{ji} = s_{ji}$ should be considered a variable value related to the angle of rotation ϕ_{ji} by the relation

$$s_{ji} = h_{ji} \frac{\phi_{ji}}{2\pi}$$

Where h_{ji} is the pitch of the helix.

As in the case of plane mechanisms, the problem of determining the positions of the links of spatial mechanisms by the method of coordinate transformation can be reduced to the joint solution of the equations obtained by opening one or more kinematic pairs. In contrast to the problem of analytical determination of link positions, which is generally reduced to the solution of a system of nonlinear equations, the problem of determining the velocities and accelerations of any points on the links of the mechanism can always be reduced to the solution of a system of linear equations. Consequently, this problem is not difficult.

Results of the study

The transformation of the simplest motions of output links of engines into motions of working bodies of the machine is carried out by a mechanical system consisting of transmission mechanisms. The transformation of motion performed by the transmission mechanisms is characterised by position functions.

At the initial stage of the study, it is necessary to linearise certain nonlinear parameters of the motor and transmission mechanisms, including friction in kinematic pairs, the elastic properties of links, and so forth.

In the case when we consider that the elements are absolutely rigid, there are no gaps and the system has one degree of mobility, the position of any element is uniquely determined from the angle of rotation of the driving link φ_1 .

Then

$$\varphi_n = \Pi_n(\varphi_1)$$

Where Π_n is the position function of link n.

Transfer functions or analogues of speeds, accelerations and jerk are

$$\Pi'_n = \frac{d\Pi_n}{d\varphi_1}, \quad \Pi''_n = \frac{d^2\Pi_n}{d\varphi_1^2}, \quad \Pi'''_n = \frac{d^3\Pi_n}{d\varphi_1^3}.$$

The connection $\dot{\varphi}_n, \ddot{\varphi}_n, \ddot{\varphi}_n$ between these geometric characteristics and kinematic ones is determined

$$\begin{cases} \dot{\varphi}_n = \Pi'_n(\varphi_1)\dot{\varphi}_1, & \ddot{\varphi}_n = \Pi''_n(\varphi_1)\dot{\varphi}_1^2 + \Pi'_n(\varphi_1)\ddot{\varphi}_1, \\ \ddot{\varphi}_n = \Pi'''_n(\varphi_1)\dot{\varphi}_1^3 + 3\Pi''_n(\varphi_1)\dot{\varphi}_1\ddot{\varphi}_1 + \Pi'_n(\varphi_1)\ddot{\varphi}_1. \end{cases} \quad (6)$$

From (6) it is clear that when using transfer functions there is a clear separation of geometric and kinematic characteristics. In gear mechanisms with round wheels, the gear ratio is constant

$$i - const, \quad \frac{d\varphi_n}{d\varphi_1} = k, \quad \varphi_n = k\varphi_1 + C$$

the position function is linear.

$$\dot{\varphi}_n = \Pi'_n(\varphi_1)\dot{\varphi}_1, \quad \ddot{\varphi}_n = \Pi'_n(\varphi_1)\ddot{\varphi}_1, \quad \ddot{\varphi}_n = \Pi'_n(\varphi_1)\ddot{\varphi}_1$$

Inertial loads occur only when the condition or is violated $\varphi_1 - const, \Pi'_n - const$. With a nonlinear position function (cam, lever, stepping, etc.), even in an ideal mechanism $\ddot{\varphi}_n \neq 0$, inertial loads arise. If, for example, a force \bar{F} is applied on the driven link n, which is balanced on the driving link by the moment M, then, due to the equality of work on possible displacements

$$M = \Pi'_n(\varphi_1)F$$

$$Md\varphi_1 = Fds_n = \Pi'_n(\varphi_1)d\varphi_1F, \quad s_n = \Pi_n(\varphi_1), \quad ds_n = \Pi'_n(\varphi_1)d\varphi_1 \quad (7)$$

It is obvious that even $\Pi'_n \neq const$ a constant force \bar{F} leads to the appearance of an alternating disturbing moment on the driving link, capable of exciting forced oscillations of the drive. Let us assume that the force \bar{F} is the inertia force of the driven link n, assuming that the driven link performs translational motion at $\dot{\varphi}_1 - const$, we have

$$\dot{s}_n = \Pi'_n(\varphi_1)\dot{\varphi}_1, \quad \ddot{s}_n = \Pi''_n(\varphi_1)\dot{\varphi}_1^2 + \Pi'_n(\varphi_1)\ddot{\varphi}_1 \quad \text{если } \dot{\varphi}_1 - const$$

$$|F| = |F_n| = m|\ddot{s}| = m|\Pi''_n(\varphi_1)|\dot{\varphi}_1^2 \quad (8)$$

substituting into (7), we have

$$|M| = m\dot{\varphi}_1^2|\Pi'_n\Pi''_n| \quad (9)$$

From here

$$T_n = \frac{m\dot{s}^2}{2}, \quad \frac{dT}{dt} = m\dot{s}\ddot{s}, \quad \frac{dT}{dt} = m\Pi'_n\Pi''_n\dot{\varphi}_1^3.$$

$$\Pi'_n\Pi''_n = \frac{1}{m\dot{\varphi}_1^3} \frac{dT}{dt}, \quad \text{where } \frac{dT}{dt} - \text{kinetic power}$$

Expressions (8-9) indicate that geometric characteristics significantly influence the dynamics of the mechanical system. Therefore, extreme values $|\Pi'_n|_{\max}, |\Pi''_n|_{\max}, |\Pi'_n\Pi''_n|_{\max}$, of functions can be used as dynamic criteria with the help of which various laws of motion are compared, as well as the synthesis of new laws that have, in a certain sense, optimal properties.

In the following, references to position functions and transfer ratios are always provided when constructing dynamic models of mechanisms. Consequently, the laws of motion of the initial links in force analysis are assumed to be specified. In this context, the position function expressions of typical transfer mechanisms and kinematic analysis algorithms are presented in this section.

Now lets return to the consideration of the manipulator of the technological machine Fig. 3.

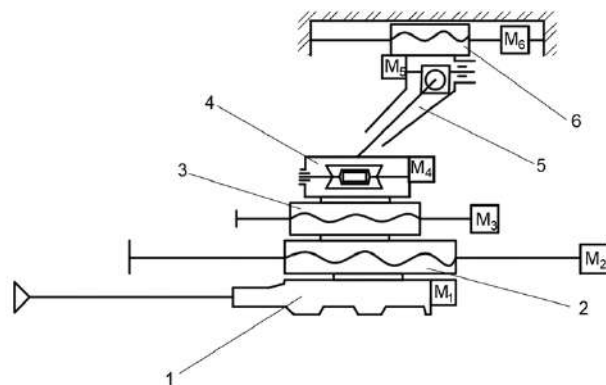


Fig. 3. Technological machine manipulator

1 – working body; 2 – automatic feeder of the working body; 3 - mechanism for moving the automatic feeder forward and backward; 4 - mechanism for rotating the automatic feeder in the horizontal plane; 5 – mechanism for rotating the automatic feeder in the vertical plane; 6- mechanism for moving the manipulator forward and backward; M_i – drive systems.

The links of the manipulator of the technological machine can be represented as local models, which include the dynamic characteristics of the motor Fig. 4.

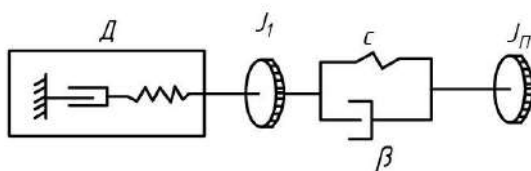


Fig. 4. The simplest model, including dynamic characteristics of the engine

In motors, the speed of the output link depends not only on the value of the input parameter u , but also on the load, characterised by the magnitude of the force torque. The static characteristic of the motor can be represented in the form:

$$M_D = M_{CT}(u, \dot{q}_0),$$

where \dot{q}_0 – speed of the motor output link.

The practice of engineering calculations shows that in many cases the links of transmission mechanisms directly transmitting dynamic loads are the most ductile. An elastic element of a transmission mechanism (Fig. 3) can be, for example, a travelling screw, which is a rod operating in tension or compression. The stiffness of such an element:

$$c = EF/l,$$

where E is the elastic modulus of the first kind; F is the cross-sectional area; l is the rod length.

Let us consider the reduced moments of inertia of the mechanism (Fig. 4) of the motor $J_1(q_0)$ and actuators B $J_{II}(q_1)$, the reduced moments of driving forces M_D and resistance forces $M_c(q_1, \dot{q}_1)$. Let us denote by c and β the stiffness and the resistance coefficient of the elastic transmission mechanism reduced to its input link. The coefficient of proportionality β is usually determined experimentally. As a result, we come to a dynamic model with an elastic transmission mechanism (Fig. 5). The difference $q_0 - q_1 = \theta$ represents the deformation of the transmission mechanism reduced to the motor output.

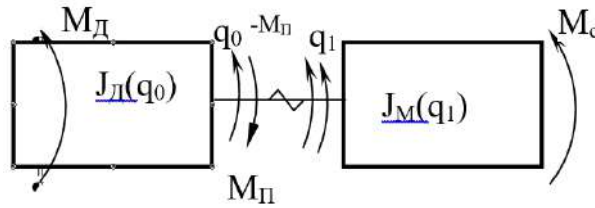


Fig.5 Dynamic model with elastic transmission mechanism

Let us make the equations of motion for the system in Fig. 5. For this purpose, the equations of motion of the mechanical systems of the engine and actuators are represented in the form of Lagrange equations of the second kind, taking into account that the moment M_{Π} arising in the transfer mechanism can be regarded as the moment of resistance forces acting on the output link of the mechanical system of the engine, and as the driving moment applied to the input link of the actuators. By analogy with the equation

$$J(q)\ddot{q} + \frac{1}{2} \frac{dJ}{dq}(q)\dot{q}^2 = M_D + M_c(q, \dot{q})$$

we have

$$J_1(q_0)\ddot{q}_0 + \frac{1}{2} \frac{dJ_1}{dq_0}(q_0)\dot{q}_0^2 = M_D - M_{\Pi} = M_D - \beta(\dot{q}_0 - \dot{q}_1) - c(q_0 - q_1)$$

$$J_M(q_1)\ddot{q}_1 + \frac{1}{2} \frac{dJ_M}{dq_1}(q_1)\dot{q}_1^2 = M_{\Pi} + M_c(q, \dot{q}) = \beta(\dot{q}_0 - \dot{q}_1) + c(q_0 - q_1) + M_c(q, \dot{q})$$

In order to obtain a complete system of equations of motion of the machine, the motor characteristic must be added to these equations. From the resulting three equations the unknowns q_0 , q_1 , M_D can be determined.

It can be posited that mechanisms with electric drive can be considered as electromechanical systems. For the study of their dynamics, the most convenient methodological approach is the use of Lagrange-Maxwell equations, which have the form of Lagrange equations of the second kind. This approach allows the automatic derivation of not only the equations of motion of the mechanical part of the system, but also the associated equations of the electrical part. The compilation of these equations assumes that the state of an electromechanical system with holonomic connections is determined by the generalised coordinates of the mechanical and electrical parts of the system. The Lagrange-Maxwell equations for holonomic systems have the form [1].

$$\frac{d}{dt} \frac{dL}{d\dot{q}_l} - \frac{dL}{dq_l} = Q_l \quad l = 1, 2, \dots, n$$

$$\frac{d}{dt} \frac{dL}{d\dot{\alpha}_k} - \frac{dL}{d\alpha_k} = Q_k \quad k = 1, 2, \dots, m$$

Where $L = L_e + L_m$ the Lagrange-Maxwell function, \dot{q}_l is the generalized speed, $\dot{\alpha}_k$ is the generalized current, α is the amount of electricity. For the mechanical part $L_m = T - V$, where T is kinetic energy, V is potential energy.

The electrical part of the function for a mechanical system is the same as the magnetic energy

$$L_e = \frac{1}{2} \sum_{r,s} L_{rs} i_r i_s$$

Where r, s are the indices of independent electrical circuits (turns, windings) through which flow, $i_r i_s L_{rs}$ - mutual inductance, with $r = s$ - inductance.

The generalized force Q_k is determined from the variation of the electrical generalized coordinate in the work expression δA electrical forces from the expression

$$\delta A = \sum_{k=1}^m \left[\sum_{r,s} \{E_{r,s} - R_{r,s} i_{r,s}\} \right] \delta \alpha_k$$

Where is the $E_{r,s}$ - e.m.f. circuit, $R_{r,s}$ - circuit resistance.

A crucial phase in the design of mechanical systems is the assessment of the stress-strain state (SSS) of the supporting metal structure. During the course of the study, a scale model of the process machine manipulator (Fig. 6) was constructed. The following data were introduced: Motor holding torque 200.00 Nm; Amperage: 10 A; Full pitch 1.8°; Output shaft diameter 20 mm; Link length: 1400 mm. It is recommended that scale models be employed to investigate the stress-strain state of the system and the kinematics of manipulators.



Fig. 6. Scale model of the technological machine manipulator

The utilisation of software packages implementing the finite element method is becoming increasingly prevalent in the evaluation of SSS. The following results were obtained from the research conducted:

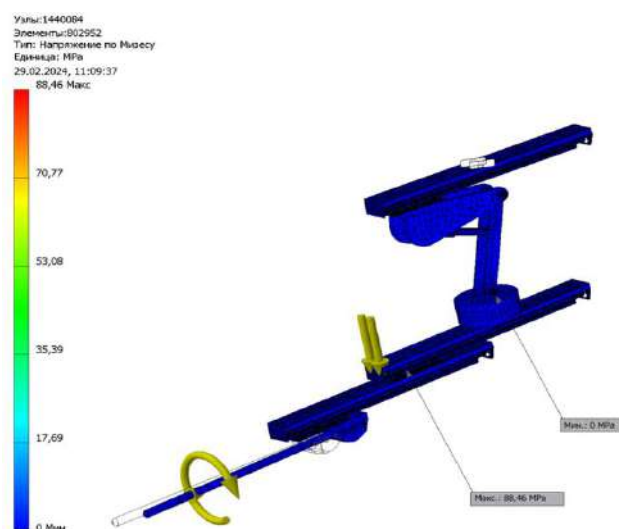


Fig. 7. Result of Mises stress

In Fig. 7 shows that the maximum von Mises stress was 88.46 MPa. The figure shows that there is tension at the joints of the mechanism links, which can have a negative effect at maximum loads.

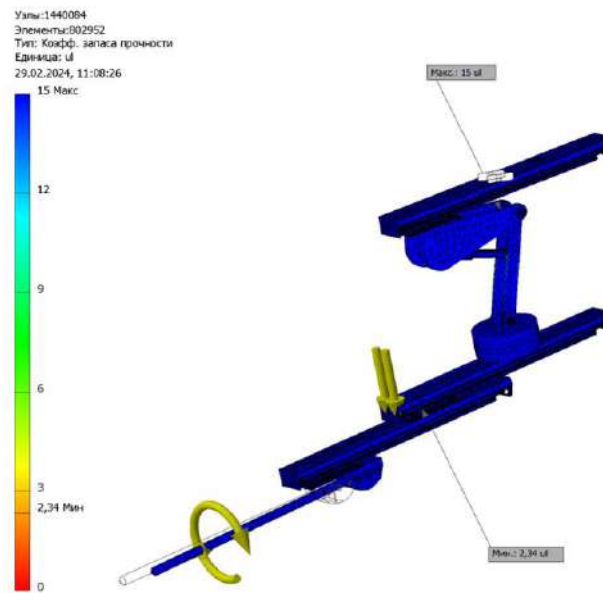


Fig.8. Safety factor of structures

After determining the maximum stresses in the structure using the finite element method, we can determine the safety factor of this structure Fig. 8. The minimum safety factor was 2.34. According to GOST requirements, the safety factor must be at least 1.5, so the study showed that this assembly will withstand the load. Therefore, we can use carbon steel material, which will ensure reliable operation of the structure.

Discussion

It is typical to assume that the external forces applied to the links of the mechanism are also specified, and thus only the reactions in kinematic pairs are subject to determination. In certain instances, however, external forces applied to the initial links are deemed to be unknown. Subsequently, the force analysis entails the determination of forces at which the accepted laws of motion of the initial links are fulfilled. In both cases, the D'Alembert principle is employed, according to which a link of the mechanism can be considered in equilibrium if all external forces acting on it are added to the forces of inertia. When selecting a dynamic model of a functional component of the machine, it is essential to identify those properties that are crucial for the intended purpose and to disregard any characteristics that may be deemed inconsequential. It is therefore to be expected that the same object, the same functional part of the machine, can be described by different dynamic models in different cases.

The most basic dynamic model, which assumes that elements are non-deformable, is typically covered in the introductory course on the mechanics of machines. The results obtained on the basis of this model are conventionally designated as "ideal". In such cases, the problem of determining the inertial forces at a given motion of the links is typically solved.

The second problem of dynamics must be solved only when considering the machine unit as a whole, in connection with the determination of non-uniformity of rotation of the leading links. The analysis of such a kinetostatic model provides insight into the dynamics of mechanisms, which is sufficient for static loading.

The fundamental assumption underlying the dynamic calculations of the classical theory of mechanisms and machine dynamics is the assumption of non-deformability of links. However, the practice of operating machine units indicates that when modelling the working processes of

mechanical systems, it is necessary to take into account the variability of parameters, nonlinearity of the position function, elasticity of links, and the characteristics of motors. In the context of modelling technological machines, it is possible to consider the development of mathematical models of the complex system "Executive body - Manipulation system - Transport-technological machine - Support base - Environment" [9].

Conclusion

This paper presents an analysis of mechanical systems. This paper considers matrix methods for determining the positions of links and transforming the simplest motions of output links of motors into motions of working bodies of the machine. The research presents a set of methods and techniques for determining the kinematic and dynamic characteristics of mechanical systems.

The fundamental methodologies employed in the investigation of the kinematics and dynamics of robots are elucidated in [10]. Theoretical methods for investigating the dynamics and strength of mechanical systems are based on the construction of mathematical models using the laws of classical mechanics. Newton's mechanics and Lagrange mechanics. The aforementioned issues can be addressed in [11-15], which considers the impact of nonlinearity in system position functions, elasticity of links, variability of parameters within the system, the influence of link and kinematic pair design features, and the dynamics of actuators and actuating mechanisms.

Acknowledgements

The authors would like to express their sincere gratitude for the financial support provided by the Fundamental Research Grant from the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant Number: BR20280990 «Design, development fluid and gas mechanics, new deformable bodies, reliability, energy efficiency of machines', mechanisms', robotics' fundamental problems solving methods»).

References

- [1] Lewitckij N.I. (1990) *Teoriya mechanismow i machine [Theory of mechanisms and machines]: utschebnoe pocobie dlja wusowio N. I. Lewitckij. M.: Nauka, 592. - ISBN 5020141887 (In Russian)*
- [2] Vrolow K.W. (2003) *Teoriya mechanismow i mechanika maschin [Theory of mechanisms and mechanics of machines]. Pod red. K.W. Vrolowa. M.: Wycschaja schkola, 496 c. (In Russian)*
- [3] Cmeljagin A.I. (2006) *Teoriya mechanismow i maschin. Kurcowoe proektirowanie [Theory of mechanisms and machines]. Coursework Design: utschebnoe pocobieio A.I. Cmeljagin, Nowocibirck, M.: INVRA-M: NGTU, 263. (In Russian)*
- [4] Schachinpur M. (1990) *Kurc robototechniki [Robotics course]: Perewod c anglijskogo. M.: Mir, 527.*
- [5] Vu K., Goncalec R., Li K. (1989) *Robototechnika [Robotics]: Per. c angl. M.: Mir, 624. (In Russian)*
- [6] Ualiew G., Ualiew S.G. (2007) *Matematitscheckoe modelirowanie dinamiki mechanitscheckich cictem c nelinejnymi charakteristikami [Mathematical modelling of dynamics of mechanical systems with nonlinear characteristics]. Almaty, KasNPU, 332. (In Russian)*
- [7] Senkewitsch, O. (1986) *Konetschnye jelementy i approkcimazija [Finite elements and approximation]/ O. Senkewitsch, K. Morgan. M.: Mir, 318. (In Russian)*
- [8] Lagerew, I.A. (2013) *Ractschety grupopodemnych maschin metodom konetschnych jelementow [Calculations of hoisting machines by finite element method]: monogravija. I.A. Lagerew. Brjanck: Isdatel'ctwo BGTU, 116.: il. ISBN 978-5-89838-650-4. (In Russian)*
- [9] Lagerew, I.A. (2016) *Modelirowanie rabotschich prozeccow manipuljazionnych cictem mobil'nych mnogozelewych trancportno-technologitscheckich maschin i komplekcow [Modelling of working processes of manipulation systems of mobile multipurpose transport-technological machines and complexes]: monogravija. I.A. Lagerew. Brjanck: RIO BGU, 371.: il. ISBN 978-5-9734-0248-8. (In Russian)*
- [10] Vrolow K.W., Worob'ew E.I. (1988) *Mechanika promyslennych robotow [Mechanics of industrial robots]: W 3 kn. Pod red. K.W. Vrolowa, E.I. Worob'ewa. M.: Wycschaja schkola. (In Russian)*

[11] Zheng, Y., Yang, C., Wan, H.-P., Luo, Y., Li, Y. i Yu, Y.: *Dynamics Analysis of Spatial Mechanisms with Dry Spherical Joints with Clearance Using Finite Particle Method*. *Int. J. Struct. Stab. Dyn.*, vol. 20 (2020), doi: 10.1142/S0219455420500352.

[12] Wu, X., Sun, Y., Wang, Y. i Chen, Y.: *Dynamic analysis of the double crank mechanism with a 3D translational clearance joint employing a variable stiffness contact force model*. *Nonlinear Dyn.*, vol. 99, pp. 1–22 (2020), doi: 10.1007/s11071-019-05419-2.

[13] Chen, X., Jiang, S. i Wang, T.: *Dynamic modeling and analysis of multi-link mechanism considering lubrication clearance and flexible components*. *Nonlinear Dyn.*, vol. 107, pp. 1–19 (2022), doi: 10.1007/s11071-021-07130-7.

[14] Jiang, S., Liu, J., Yang, Y., Lin, Y. i Zhao, M.: *Experimental research and dynamics analysis of multi-link rigid-flexible coupling mechanism with multiple lubrication clearances*. *Arch. Appl. Mech.*, vol. 93(7), pp. 2749–2780 (2023), doi: 10.1007/s00419-023-02405-4.

[15] Lewitckij N.I. (1988) *Kolebanija w mechanismach [Fluctuations in mechanisms]: Utscheb. Pocabie dlja wtusow*. М.: Nauka. Gl. red. Vis.-mat. lit., 336 с.

Список использованных источников

[1] Левитский Н.И. *Теория механизмов и машин: учебное пособие для вузов / Н. И. Левитский*. - М.: Наука, 1990. - 592 с. - ISBN 5020141887

[2] Фролов К.В. *Теория механизмов и механика машин. Под ред. К.В.Фролова*. – М.: Высшая школа, 2003. – 496 с.

[3] Смелягин А.И. *Теория механизмов и машин. Курсовое проектирование: учебное пособие / А.И.Смелягин, Новосибирск – М.: ИНФРА-М: НГТУ, 2006. –263 с.*

[4] Шахинпур М. *Курс робототехники: Перевод с английского*. - М.: Мир, 1990. - 527 с.

[5] Фу К., Гонсалес Р., Ли К. *Робототехника: Пер. с англ.* — М.: Мир, 1989г. — 624 с.

[6] Уалиев Г., Уалиев З.Г. *Математическое моделирование динамики механических систем с нелинейными характеристиками*. Алматы, КазНПУ, 2007г. 332с.

[7] Зенкевич, О. *Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич, К. Морган*. – М.: Мир, 1986. – 318 с

[8] Лагерев, И.А. *Расчеты грузоподъемных машин методом конечных элементов: монография / И.А. Лагерев*. – Брянск: Издательство БГТУ, 2013. – 116 с.: ил. – ISBN 978-5-89838-650-4.

[9] Лагерев, И.А. *Моделирование рабочих процессов манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов: монография / И.А. Лагерев*. – Брянск: РИО БГУ, 2016. – 371 с.: ил. – ISBN 978-5-9734-0248-8.

[10] Фролов К.В., Воробьев Е.И. *Механика промышленных роботов: В 3 кн. / Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева*. – М.: Высшая школа, 1988.

[11] Zheng, Y., Yang, C., Wan, H.-P., Luo, Y., Li, Y. i Yu, Y.: *Dynamics Analysis of Spatial Mechanisms with Dry Spherical Joints with Clearance Using Finite Particle Method*. *Int. J. Struct. Stab. Dyn.*, vol. 20 (2020), doi: 10.1142/S0219455420500352.

[12] Wu, X., Sun, Y., Wang, Y. i Chen, Y.: *Dynamic analysis of the double crank mechanism with a 3D translational clearance joint employing a variable stiffness contact force model*. *Nonlinear Dyn.*, vol. 99, pp. 1–22 (2020), doi: 10.1007/s11071-019-05419-2.

[13] Chen, X., Jiang, S. i Wang, T.: *Dynamic modeling and analysis of multi-link mechanism considering lubrication clearance and flexible components*. *Nonlinear Dyn.*, vol. 107, pp. 1–19 (2022), doi: 10.1007/s11071-021-07130-7.

[14] Jiang, S., Liu, J., Yang, Y., Lin, Y. i Zhao, M.: *Experimental research and dynamics analysis of multi-link rigid-flexible coupling mechanism with multiple lubrication clearances*. *Arch. Appl. Mech.*, vol. 93(7), pp. 2749–2780 (2023), doi: 10.1007/s00419-023-02405-4.

[15] Левитский Н.И. *Колібания в механізмах: Учеб. Пособіе для втузов*. – М.: Наука. Гл. ред. Фіз.-мат. літ., 1988. – 336 с.

МАТЕМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ
МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ
METHODS OF TEACHING MATHEMATICS

ГТАХР 27.01.09

10.51889/2959-5894.2024.86.2.011

А.Е. Әбілқасымова¹, Б.М. Қосанов¹, Д.М. Нурбаева^{1*}, Ж.М. Нурмухамедова^{1*}

¹Абай атындағы Қазақ Ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан
**e-mail: nur_dilara@mail.ru*

АЛГЕБРА КУРСЫНЫҢ АЛҒАШҚЫ ОҚУ ҚҰРАЛЫ

Аңдатпа

Мақаланың мақсаты Мұхаммед әл-Хорезмидің алгебралық трактатына ғылыми-әдістемелік талдау жасау болып табылады. Шындығына келгенде, араб тіліндегі түпнұсқасы «Китаб әл-мұхтасар фи-хисаб әл-жебр уә әл-мұкабала» («Әл-жебр мен әл-мұкабаланы есептеулердің қысқаша кітабы») деп аталатын әл-Хорезмидің бұл трактаты әлемдік математика ғылымының асыл маржаны болып табылады, себебі, ол – бүкіл дүние жүзі бойынша алгебра курсы бойынша жазылған алғашқы оқу құралы. Мақаланың негізгі міндеті - математиканың қалыптасу және даму тарихындағы осы оқу құралының атқарған ролі мен маңызын ашып көрсету. Зерттеудің әдіснамасы шындықты танып-білу және түрлендіру жайындағы философиялық, математиканың қалыптасуы мен дамуы туралы тарихи және оқыту жөніндегі педагогикалық ілімдер болып табылады. Мақаланы жазу барысында ғылыми-зерттеудің теориялық және тарихи-салыстырмалы талдау, жүйелеу-құрылымдау сияқты әдістері пайдаланылды.

Жалпы алғанда, математика ғылымының IX-XVI ғасырлардағы қалыптасуы мен дамуына мұсылман халықтарының, оның ішінде Орталық Азия елдері ғалымдарының қосқан үлестері ұшан-теңіз. Жоғарыда аталған трактаттың авторы әл-Хорезми Орталық Азия математикасының IX ғасырдағы аса көрнекті өкілі болып табылады (ол қазіргі Өзбекстан территориясына енетін Хорезм қаласында туылған). Бұл орайда, кеңестік дәуірде Орталық Азиядан шыққан ғалымдардың барлығын да араб ғалымдары деп атау үрдісінің берік қалыптасқандығын атап айту керек. Өкінішке орай, тарихи-математикалық әдебиетте негізінен алғанда, еуроцентристік көзқарасқа негізделген осы үрдіс әлі күнге дейін орын алуда. Осы айтылғандар мақала тақырыбының қазіргі күн талаптары тұрғысынан алғандағы өзектілігін анықтайды және математика тарихын осы сияқты «ақтандақтардан» арылтып, оны қазіргі заман талаптарына сай, жаңа айқындамалармен толықтыра түсуді қажет етеді. Мұның бүгінгі күн үшін ғана емес, болашақ үшін де зор маңызы бар. Мақаланың материалдарын жоғары педагогикалық оқу орындарында 6B01501-«Математика», 6B01502-«Математика және физика», 6B01503-«Математика және информатика» білім беру бағдарламалары бойынша білім алатын студенттерге «Математика тарихы» пәнін оқытуда пайдалануға болады. Осыған сәйкес, мұнда мына сияқты ғылыми нәтижелер алынды: а) оқу құралының мазмұны мен құрылымына ғылыми-әдістемелік талдау жасалды; ә) оның әлемдік математика ғылымының дамуына тигізген игілікті ықпалы анықталды; б) оқу құралындағы математикалық терминдердің мән-мағынасы ашып көрсетілді.

Түйін сөздер: математика, әл-жебр, алгебра, әл-Хорезми, оқу құралы, математика тарихы.

А.Е. Абылкасымова¹, Б.М. Косанов¹, Д.М. Нурбаева¹, Ж.М. Нурмухамедова^{1*}

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

ПЕРВОЕ УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ КУРСА АЛГЕБРЫ

Аннотация

Целью статьи является проведение научно-методического анализа алгебраического трактата Мухаммада аль-Хорезми. Фактически, этот трактат аль-Хорезми, оригинальное арабское название которого звучит как «Китаб аль-мухтасар фи-хисаб аль-джебр ва аль-мукабала» («Краткая книга исчисления аль-джебра и аль-алмукабаль»), является жемчужиной мировой математики. Потому что это первое учебное пособие, написанное по курсу алгебры во всем мире. Основная задача статьи – раскрыть роль и значение этого учебного пособия в истории становления и развития математики. Методологией исследования являются философские, историко-педагогические учения о становлении и развитии математики в области познания и преобразования действительности. При написании статьи использовались такие методы научного исследования, как теоретический и историко-сравнительный анализ, систематизация и структурирование. В целом, вклад мусульманских народов, в том числе учёных стран Центральной Азии в становление и развитие математики IX-XVI веков огромен. Автор упомянутого трактата аль-Хорезми является видным представителем центральноазиатской математики IX века (он родился в городе Хорезм, входящем в состав территории современного Узбекистана). Следует отметить, что в советское время возникла тенденция называть всех учёных Центральной Азии арабскими учёными. К сожалению, эта тенденция все ещё имеет место в историко-математической литературе, основанной преимущественно на евроцентристской точке зрения. Эти моменты определяют актуальность темы статьи с точки зрения требований сегодняшнего дня и требуют необходимости выведения истории математики из подобных «обелений» и дополнения её новыми определениями в соответствии с современными требованиями. Это важно не только для сегодняшнего дня, но и для будущего. Материалы статьи могут быть использованы при преподавании предмета «История математики» для студентов, обучающихся по образовательным программам «БВ01501 – Математика», «БВ01502 – Математика и физика», «БВ01503 – Математика и информатика» в высших педагогических учебных заведениях. В соответствии с этим, были получены следующие научные результаты: а) проведен научно-методический анализ содержания и структуры учебного пособия; б) установлено его благотворное влияние на развитие мировой математики; в) разъяснено значение математических терминов в учебном пособии.

Ключевые слова: математика, аль-джебр, алгебра, аль-Хорезми, учебное пособие, история математики.

A.E. Abylkassymova¹, B.M. Kossanov¹, D.M. Nurbaeva¹, Zh.M. Nurmukhamedova^{1*}

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

FIRST TUTORIAL MANUAL FOR ALGEBRA COURSE

Abstract

The purpose of the article is to conduct a scientific and methodological analysis of the algebraic treatise of Muhammad al-Khorezmi. In fact, this treatise by al-Khwarizmi, the original Arabic title of which sounds like “Kitab al-mukhtasar fi-hisab al-jabr wa al-muqabala” (“A short book of calculus al-jabr and al-alqabala”), is the pearl of world mathematics. Because this is the first textbook written for an algebra course in the whole world. The main objective of the article is to reveal the role and significance of this textbook in the history of the formation and development of mathematics. The research methodology is philosophical, historical and pedagogical teachings about the formation and development of mathematics in the field of knowledge and transformation of reality. When writing the article, such scientific research methods as theoretical and historical-comparative analysis, systematization and structuring were used. In general, the contribution of Muslim peoples, including scientists from Central Asian countries, to the formation and development of mathematics in the 9th-16th centuries is enormous. The author of the mentioned treatise, al-Khorezmi, is a prominent representative of Central Asian mathematics of the 9th century (more precisely, he was born in the city of Khorezm, part of the territory of modern Uzbekistan). In this regard, in Soviet times there was a tendency to call all scientists in Central Asia Arab scientists. Unfortunately, this tendency still occurs in Western European scientific literature, which is based predominantly on a Eurocentric point of view. These points determine the relevance of the topic of the article from the point of view of the requirements of today,

and it is necessary to remove the history of mathematics from such “whitewashing” and supplement it with new definitions in accordance with modern requirements. This is important not only for today, but also for the future. The materials of the article can be used in the dissemination of the subject "History of Mathematics" for students studying in the educational programs "6B01501 – Mathematics", "6B01502 – Mathematics and Physics", "6B01503 – Mathematics and computer sciences” in pedagogical higher educational institutions. In accordance with this, the following scientific results were obtained: a) a scientific and methodological analysis of the content and structure of the textbook was carried out; b) its beneficial influence on the development of world mathematics has been established; b) the meaning of mathematical terms in the textbook is explained.

Keywords: mathematics, algebra, al-Khorezmi, textbook, history of mathematics, al-jabr.

Негізгі ережелер

Мақала тақырыбына байланысты жүргізілген зерттеу жұмысы барысында әл-Хорезмидің «Әл-жебр мен әл-мұқабаланы есептеулердің қысқаша кітабы» атты оқу құралына терең мазмұндық-әдістемелік талдау жасалды. Сонымен қатар оның әлемдік математика ғылымының дамуына тигізген игілікті ықпалы анықталды. Аталмыш оқу құралында пайдаланылған математикалық терминдердің мән-мағынасы ашып көрсетілді.

Кіріспе

Қазіргі қоғамдағы ғылым мен мәдениет тарихына деген жаңа көзқарастар тарихи-математикалық білімдерді жаңа деректермен толықтыра түсуді талап етуде. Бұл өз кезегінде, қазіргі студент-болашақ математика пәні мұғалімдеріне «Математика тарихы» пәнін оқытудың бұрыннан қалыптасқан әдістемелік жүйесін қайта қарап, оны заман талаптарына сай жетілдіре түсуді қажет етеді. Осы орайда, математикадан алғашқы болып жазылған оқу құралдарының классикалық үлгілерін анықтап, талдап-тану және олардың өзіндік ерекшеліктерін ашып көрсету басты назарда болуы тиіс. Бұл «Математика тарихы» пәнін ғана емес, жалпы алғанда, әлемдік математика тарихын жаңа тарихи деректермен толықтыра түсуге мүмкіндік туғызатын аса күрделі педагогикалық және тарихи-математикалық проблема болып табылады [1].

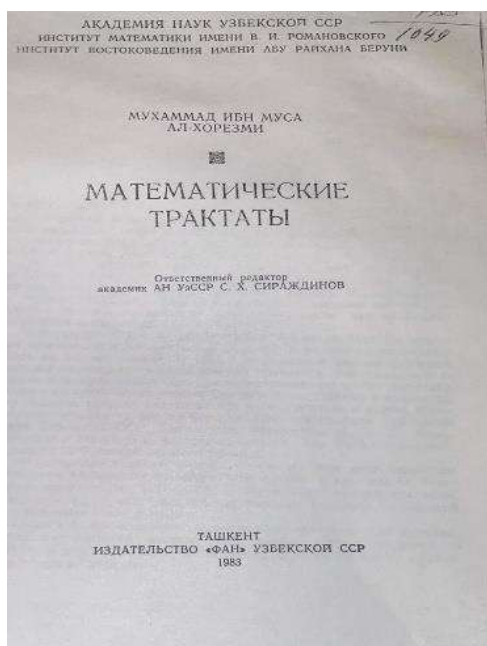
IX ғасырға дейінгі кезеңде ежелгі мәдениет ошақтарында (Мысыр, Вавилон, Грекия, Қытай, Үндістан, т.б.) практикалық есептерді теңдеу құру арқылы шешудің өзіндік тәжірибелері қалыптасты. Кейін келе теңдеулерді шешумен байланысты математикалық білімдердің молая түсуі оларды жүйеге келтіруді қажет ете бастады. Бұл мәселені шешу орта ғасырларда әлемнің басқа елдеріне қарағанда мәдениеті мен ғылымы жоғары деңгейде болған, мұсылмандық өркениеттің орталығы – Араб халифатында қолға алынды. Атап айтқанда, онда алгебра ғылымы бойынша әлемдік математика тарихындағы ең алғашқы оқу құралы жазылды. Оқу құралының араб тіліндегі түпнұсқасы «Китаб әл-мұхтасар фи-хисаб әл-жебр уә әл-мұқабала» деп аталады, оның авторы - орта ғасырларда Орталық Азиядан шыққан аса көрнекті мұсылман ғалымы (математик, астроном, географ, тарихшы) Мұхаммед әл-Хорезми, ол шамамен 780-850 жылдары өмір сүрген. Өкінішке орай, бірнеше ғасырлар бойына мұсылман әлемінің ғана емес, сонымен қатар Батыс Еуропа елдері математиктерінің қолдан түспес шығармасына айналған бұл оқу құралы әлемнің бірқатар тілдеріне аударылғанымен, әлі күнге дейін қазақ тілінде басылып шыққан жоқ. Мұны былай қойғанда, күні бүгінге дейін қазақ тілінде оған жүйелі әдістемелік-математикалық талдау жасалған бірде-бір ғылыми-зерттеу жұмысы жарияланбаған. Әлемдік математика тарихында алгебраның бастауы болып бағаланатын әл-Хорезмидің бұл трактатына қатысты осы қалыптасқан жағдайлар жоғары педагогикалық оқу орындарында болашақ математика пәні мұғалімдеріне «Математика тарихы» пәнін оқытуда айтарлықтай қиындық тудырады. Бұл біздің мақала тақырыбы ретінде «Алгебра курсының алғашқы оқу құралы» атты тақырыпты таңдап алуымызға себеп болды.

Зерттеу әдіснамасы

Жалпы алғанда, әл-Хорезмиден кейін оның алгебралық трактатына сын-пікір айтушылар мен арнайы түсіндірмелер жазушылар көп болды (А.Легран, Л.Фибоначчи, В. де Лука, А.Ризе,

Р.Бэкон, т.б.). Тарихи деректерден олардың барлығының да кітап авторына үздік ғалым ретінде бас ие отырып, оның шығармасына аса жоғары баға бергендігін аңғаруға болады. Мысалы, XIV ғасырдағы мұсылман тарихшысы ибн Халдун бұл трактаттың осы салада жазылған ең үздік кітаптардың қатарына жататындығын арнайы атап көрсеткен болатын. Ал, неміс математигі Адам Ризе әрі сан ғылымына, әрі есеп өнеріне жетік бір ғалымның «Алгебр мен әлмұкабал» атты кітабының бар екендігі туралы айта келіп, ешбір ғалымның одан әлі аспағанын, келешекте де одан асатын ғалымның тууының екіталай екендігін айтады (1524 ж.).

әл-Хорезмидің алгебралық трактаты туралы кейбір жалпылама мәселелер бірқатар отандық және шетелдік ғалымдардың зерттеу жұмыстарында қарастырылған. Атап айтқанда, отандық және ресейлік математика тарихшылары еңбектерінде аталмыш трактат туралы жалпылама деректер келтірілген (М.Ө.Исқақов, А.К.Көбесов, Б.А.Розенфельд, А.П.Юшкевич, К.А.Рыбников, т.б.) [2]. әл-Хорезмидің осы трактатына Орталық Азия бойынша шетелдік жетекші мамандардың бірі Фредерик Стивен Старрдың зерттеулерінде де лайықты баға берілген [3]. Сонымен қатар «Математика тарихы» курсынан Ресейдің жоғары оқу орындары студенттеріне арналып, соңғы жылдары басылып шыққан оқу құралдарында әл-Хорезмидің алгебраның бастауында тұрған ғалым-математик ретіндегі қызметі және оның алгебралық трактатының мазмұны мен құрылымы жеткілікті дәрежеде қарастырылған [4-6]. Өкінішке орай, аталмыш трактат авторының өз қолымен жазған түпнұсқасы сақталмаған, оның біздің заманымызға келіп жеткені 1342 ж. көшіріліп алынған арабша қолжазбасы болып табылады. Ол қазіргі күні Англияның Оксфорд университетіндегі кітапханада сақтаулы. Осы қолжазбаның бірқатар Еуропа елдерінің тілдеріне аударылған аудармалары бар [7-8]. Ол екі рет, 1964 және 1983 жылдары орыс тілінде басылып шықты (1-сурет).



Сурет 1. әл-Хорезмидің «Математикалық трактаттар» деген атпен 1983 ж. шығарылған кітабының мұқабасы

Мақаланы жазу барысында әл-Хорезмидің алгебралық трактаты туралы жоғарыда атап көрсетілген ғалымдардың зерттеулеріне ғылыми талдаулар жасалды. Сонымен қатар трактаттың орыс тіліндегі аудармалары (1964 ж., 1983 ж.) өзара салыстырылып, тиянақты зерттелді және мақаланы жазуға осы аудармалар негіз етіп алынды [9,10].

Жалпы алғанда, қойылып отырған тарихи-математикалық мәселені зерттеуде шындыққа қазіргі заман талаптарына сай жаңа айқындамалар тұрғысынан қарай отырып, объективтілік және жүйелілік принциптері басшылыққа алынды және ғылыми-зерттеудің теориялық талдау, тарихи-салыстырмалы талдау және жүйелеу-құрылымдау сияқты әдістері пайдаланылды.

Зерттеу нәтижелері

әл-Хорезмидің алгебралық трактатының басты ерекшелігі, онда теңдеулер қазіргі күнгідей математикалық символдар арқылы жазылмай, сөзбен тұжырымдалып берілген. Оның себебі, ол кезде математикада қысқаша белгілеулер мен формулалар деген мүлде болған жоқ еді. Математикада символиканы қолдану мәселесі XVI ғасырдан кейін ғана қолға алына бастады. Теңдеулерді жазып көрсету үшін әл-Хорезми белгісізді «жүзір» немесе «шай'», оның квадратын «мал», ал бос мүшені «дирхем» деп алған. Бұл жердегі «жүзір» сөзінің мағынасы – «түбір», «тамыр». Бұл термин үнділіктердің өсімдіктің тамыры деген мағынада қолданылатын «мұла» деген сөзінің арабшаға аударылған аудармасы болып табылады. «Шай'» және «мал» сөздері сәйкесінше, «нәрсе» және «мүлік» деген мағынаны білдіретін араб сөздері. Дирхем – мұсылман елдерінде кеңінен қолданылған күміс ақшаның атауы.

Трактат кіріспеден және 27 тараудан тұрады. Автор кіріспеде оның мазмұны арифметиканың қарапайым және күрделі мәселелерін қамтитындығын, олардың адамдарға мұра бөлісушілікте, өсиеттерді құрастыруда, мүліктерді бөлу мен сот істерінде, саудасаттықпен байланысты барлық мүмкін болатын әрекеттерде, сондай-ақ жер өлшеуде, арықтар жүргізуде, құрылыс істерінде және басқа да осы сияқты әралуан жұмыстарда қажет болатындығын атап көрсетеді.

Трактаттың I-VI тарауларында оң коэффициентті сызықтық және квадрат теңдеулердің алты түрін шешу ережелері келтіріледі. Автор жоғарыда айтқанымыздай, оларды сөзбен тұжырымдап былайша жазып көрсетеді (түсінікті болу жағы ескеріліп, жақша ішіне олардың математикалық символдар арқылы жазылуы келтірілді):

- 1) «мүліктер нәрселерге тең» ($ax^2 = bx$);
- 2) «мүліктер дирхемдерге тең» ($ax^2 = c$);
- 3) «нәрселер дирхемдерге тең» ($bx = c$);
- 4) «мүліктер мен нәрселер дирхемдерге тең» ($ax^2 + bx = c$);
- 5) «мүліктер мен дирхемдер нәрселерге тең» ($ax^2 + c = bx$);
- 6) «нәрселер мен дирхемдер мүліктерге тең» ($bx + c = ax^2$).

Канондық теңдеулердің осы түрлерін шешу нақты мысалдардың негізінде сөзбен тұжырымдалатын ережелер арқылы жүзеге асырылады. Түсінікті болу үшін бұл ережелерді математикалық символдар арқылы жазсақ, былай болады:

- 1) «Егер $x^2 = 5x$ десең, онда $x = 5$ »;
- 2) «Егер $x^2 = 9$ десең, $x = 3$ »;
- 3) «Егер $4x = 20$ десең, $x = 5$ »;
- 4) «Егер сен $x^2 + 10x = 39$ десең, $x = \sqrt{\left(\frac{10}{2}\right)^2 + 39} - \frac{10}{2} = 3$ »;
- 5) «Егер сен $x^2 + 21 = 10x$ десең, $x = 5 - \sqrt{\left(\frac{10}{2}\right)^2 - 21} = 3$ »;
- 6) «Егер сен $3x + 4 = x^2$ десең, $x = 1,5 + \sqrt{\left(\frac{3}{2}\right)^2 + 4} = 4$ ».

Осы орайда, мына сияқты ерекшеліктерді атап көрсетуге болады: 1-жағдайда нөлдік түбір, 4-жағдайда және 6-жағдайда теңдеулердің теріс түбірлері ескерілмейді. Алайда, автор 5-жағдайдағы теңдеу үшін түбірлердің бар болу шартын тұжырымдап, мұнда бір немесе екі оң түбірдің болу мүмкіндігін ескертеді. Сонымен қатар VI тараудың соңында канондық теңдеулердің алғашқы үш түрінде түбірді 2-ге бөлу амалы қарастырылмайтындығын, ал соңғы үш түрде ол амалдың орын алатындығын ескертеді де соңғылар үшін түбірді 2-ге бөлу амалының орындалу себебін түсінуге мүмкіндік беретіндей чертөждерді сызып көрсететіндігін айтады.

VII-IX тараулар сәйкесінше, «Төртінші тараудың дұрыстығын дәлелдеу», «Бесінші тараудың дұрыстығын дәлелдеу» және «Алтыншы тараудың дұрыстығын дәлелдеу» деп аталған. Бұл тарауларда канондық теңдеулердің соңғы үш түрін шешудің жоғарыда

келтірілген ережелерінің дұрыстығы геометриялық әдіспен дәлелдеу арқылы жүзеге асырылады. Мысалы, «4-тараудың дұрыстығын дәлелдеу» атты VII тарауда қарастырылатын $x^2 + 10x = 39$ теңдеуін алайық (2-сурет).

Алдымен қабырғасы x -ке тең болатын А квадраты сызылады, оның ауданы x^2 -қа тең. Оған жапсарлас етіп, ендері x -ке, ал ұзындықтары 5-ке тең болатын В және С тік төртбұрыштары салынады. Сонда олардың әрқайсысының ауданы $5x$ -ке тең болады. Осылай алғанда, теңдеудің сол жағындағы $x^2 + 10x$ немесе $x^2 + 5x + 5x$ өрнегі геометриялық тұрғыда, А квадратынан және В мен С тік төртбұрыштарынан тұратын фигураның ауданын сипаттайды.

A	B
C	D

Сурет 2. $x^2 + 10x + 25$ өрнегінің геометриялық кескіні

Енді соңғы фигураны қабырғалары 5-ке тең болатын D квадратымен толықтырамыз, сонда оның ауданы - 25.

Егер берілген теңдеудің екі жағына да D квадратының ауданы болып табылатын 25 санын қоссақ, $x^2 + 10x + 25 = 64$ теңдеуін аламыз. Сонда $x^2 + 10x + 25$ өрнегі А квадратынан, В мен С тік төртбұрыштарынан және D квадратынан тұратын фигураның ауданын білдіреді. Бұл фигураның өзі – квадрат, себебі оның ұзындығы да ені де $(x + 5)$ -ке тең. Екінші жағынан, соңғы теңдеуге сәйкес, осы квадраттың ауданы 64-ке, демек, оның қабырғасы 8-ге тең болады, яғни $x + 5 = 8$, бұдан $x = 3$. Сонымен, $x^2 + 10x = 39$ теңдеуінің түбірі 3-ке тең болады.

VIII және IX тарауларда осы сияқты, сәйкесінше, бесінші және алтыншы түрдегі канондық теңдеулерді шешу ережелерінің геометриялық дәлелдемелері келтіріледі.

Бұл жерде «Теңдеулер осы алты түрмен ғана шектелмейді, оның басқа түрлері, мәселен, азайту амалымен байланысты және т.б. түрлері қалай шешіледі?» деген заңды сұрақ туындайтындығы түсінікті. Мұндай жағдайларда әл-Хорезми теңдеуді «әл-жебр» және «әл-мұкабала» амалдарының көмегімен осы көрсетілген канондық түрлердің біріне келтіру арқылы шешеді. Мұндағы «әл-джебр» («қалыпқа келтіру») амалын орындаудың мағынасы мынада: берілген теңдеу оның екі жағын да азайтылатын мүшеге қарама-қарсы мүшемен толықтыру арқылы қалыпқа, яғни канондық теңдеулердің біріне келтіріледі. Мысалы, «Үш нәрсесіз мүлік бес дирхемге тең» ($x^2 - 3x = 5$) теңдеуі жағдайында «әл-жебр» амалы былай жүргізіледі: «Мүлікті де дирхемді де үш нәрсемен толықтыруды жүзеге асырамыз» ($x^2 - 3x + 3x = 5 + 3x$). Сонда берілген теңдеу $x^2 = 5 + 3x$ немесе алтыншы жағдайдағы канондық $3x + 5 = x^2$ түріне келеді. Ал «әл-мұкабала» («қарама-қарсы қою») амалын орындау барысында теңдеудің екі жағындағы тең қосылғыштар қысқартылады, яғни қысқартатын мүшелер әл-Хорезмише айтқанда, «қарама-қарсы қойылады». Мысалы, «Мүлік және үш нәрсе төрт нәрсе мен бес дирхемге тең» ($x^2 + 3x = 4x + 5$) теңдеуі жағдайында «әл-мұкабала» амалы былай жүзеге асырылады: «Үш нәрсе қарама-қарсы қойылады», бұл дегеніміз: $x^2 + 3x - 3x = 4x + 5 - 3x$, яғни $x^2 = x + 5$, яғни берілген теңдеу алтыншы жағдайдағы канондық $x + 5 = x^2$ түрге келеді.

Кейбір зерттеулерге қарағанда, осы жүргізілетін амал атауларының біріншісі, яғни «әл-жебр» араб сөзі емес. Оның шын мәніндегі мағынасының «қалыпқа келтіру» екенін алғаш рет мұсылман математигі Бахауиддин әл-Амили (1547-1622) анықтаған. Оның айтуы бойынша, «әл-жебр» - ежелгі ассирия тіліндегі «жәбр» сөзінің араб тіліне сәйкестендірілген түрі. Еуропалықтар XIV ғасырдан бастап, «әл-жебр» сөзінің түпкі мағынасын өзгертпей, «алгебр» деп алған да осыдан барып, қазіргі «алгебра» термині пайда болған. Еуропада ұзақ уақыт бойы «алгебраист» сөзі «қалпына келтіруші», «сынықшы» деген мағыналарда қолданылған.

«Көбейту туралы тарау» деп аталған X тарауда көпмүшеліктерді көбейту ережелері қарастырылады. Ал келесі «Арттыру және кеміту туралы тарауда» (XI) квадраттық иррационалдықтарды қосу, азайту және көбейту ережелері келтірілген. Сөзбен тұжырымдалған бұл ережелерді математикалық символиканы пайдаланып,

$$(a + b\sqrt{k}) \pm (c + d\sqrt{k}) = (a \pm c) + (b \pm d)\sqrt{k}, \sqrt{a}\sqrt{b} = \sqrt{ab}$$

түріндегі формулалармен өрнектеуге болады.

«Алты есеп туралы тарауда» (XII) теңдеулердің жоғарыда келтірілген алты негізгі түріне келтірілетін есептер, «Әр түрлі есептер туралы тарауда» (XIII) теңдеулердің алты түріне келтірілетін есептермен қатар арифметикалық әдіспен шығарылатын есептер, ал «Мәмілелер туралы тарауда» (XIV) үштік ережеге берілген есептер қарастырылған.

«Өлшеу туралы тарау» (XV) геометрия мәселелеріне арналған. Мұнда шаршының, үшбұрыштың, ромбының, дөңгелек пен сектордың аудандарын, шеңбердің ұзындығын, параллелепипедтің, үшбұрышты және төртбұрышты пирамидалардың, конустың, қиық пирамида мен қиық конустың көлемдерін есептеп шығару ережелері, сондай-ақ үшбұрыштар мен төртбұрыштардың классификациясы келтірілген. Бұл тарауда π санының мына сияқты үш түрлі мәні қарастырылады:

$$\pi = 3\frac{1}{7}, \sqrt{10}, \frac{62\,832}{20\,000}.$$

Тағы бір атап айтарлық жайт, әртүрлі геометриялық есептерді шешуде алгебралық әдістер кеңінен пайдаланылады. Мәселен, қабырғалары 13, 14 және 15 болатын үшбұрыштың биіктігі мен ауданын табу квадрат теңдеулерді шешу арқылы жүзеге асырылған.

Келесі XV-XXIII тараулардың материалдары «Өсиеттер туралы кітап» деген атаумен біріктіріліп берілген. Мұнда мұсылмандық мұрагерлік құқық негізінде мұра бөлісушілікпен байланысты әралуан есептер қарастырылған, олар негізінен алғанда, сызықтық теңдеулер құру арқылы шешіп көрсетіледі.

«Дөңгелек айналымдарды есептеу» деген жалпы атаумен берілген XXIV- XXVII тараулар мұрагер мұра қалдырушыдан бұрын қайтыс болған жағдайдағы мұра бөлісушілікпен байланысты күрделі есептерді шешуге арналған.

Дискуссия

Зерттеу барысында алынған нәтижелердің бүгінгі күн талаптары тұрғысынан алып қарағанда зор маңызы бар. Өйткені, соңғы жылдары жалпы ғылым мен мәдениет, сондай-ақ математика тарихында бұрыннан белгісіз болып келген немесе еуроцентристік көзқарастың салдарынан бұрмаланып келген мәселелер анықталуда және математика тарихы осыған қатысты тың деректермен, жаңа айқындамалармен толықтырыла түсуде. Өкінішке орай, еуропалық әдебиетте мақалада зерттеуге алынып отырған трактат авторы әл-Хорезми әлі күнге дейін араб математигі деп аталады. Кейбір ғалымдардың (А.П.Юшкевич, Б.П.Розенфельд, Ф.Старр, т.б.) бұның қате пікір екендігін атап көрсеткендігіне қарамастан, әл-Хорезмидің нақты қай халықтың өкілі болып табылатындығы және оның осыншама терең математикалық білімді қайдан алғандығы анықталмай отыр. Бұл әлі де болса тереңірек зерттеуді қажет ететін тарихи-математикалық проблема болып табылады. Егер де ол түбегейлі шешімін тапса, онда Орталық Азия математикасының тарихына қатысты көптеген «ақтаңдақтардың» беймәлім тұстары анықталар еді. Осы және онымен байланысты туындайтын проблемалар әл-Хорезмидің өмірі мен қызметін, сондай-ақ оның еңбектерін зерттеу ісінің мұнымен аяқталмайтынын аңғартады.

Қорытынды

эл-Хорезмидің алгебралық трактаты мұсылман елдерінде, сондай-ақ латын, ағылшын, француз, неміс және т.б. тілдердегі аудармалары арқылы Еуропада кеңінен таралып, аса маңызды кітаптың біріне айналды және математиканың даму тарихында үлкен роль атқарды. Ол Шығыс пен Батыс елдерінде ортағасырлық ғылыми ой-пікірлердің дамуына және жаңа сипаттағы математикалық білім беру ісінің жандануына игілікті әсерін тигізді. Алайда, соған қарамастан, алгебра Батыс Еуропада көп уақыт бойына кең жолға шығып, математиканың дербес саласы ретінде дами алмады. Тіптен XVI ғасырға дейін Еуропа математикасында алгебраның қандай ғылым екендігі туралы нақты анықтама мен оның арифметикадан айырмашылығын сипаттайтын айқын тұжырымдар болмады. Еуропалықтар көп уақытқа дейін «Хорезми былай дейді» деген сипаттағы түсініктермен ғана шектеліп, мұсылман математиктерінің алгебралық трактаттарына түсініктемелер беруден әрі аса алмады [11]. Ал, мұсылман елдерінде жағдай мүлде басқаша болды, мұнда алгебраны ғылым саласы ретінде баяндау, оның арифметикамен және геометриямен арасындағы ара жігін анықтау бағытындағы жұмыстар ерте қолға алынды. Мысалы, Орталық Азия математигі Омар Хайям XI ғасырда-ақ алгебраны арифметика мен геометриядан бөліп алып, оның мақсаты мен пәнін айқын түрде анықтап беруді жүзеге асырды. Оның «Алгебра мен әлмұкабала есептерінің дәлелдемелері туралы» атты трактаты тұтасымен сызықтық және квадрат теңдеулермен қатар, үшінші дәрежелі теңдеулерге және оларға келтіретін есептерді шешуге арналған. Онда теңдеулердің эл-Хорезми қарастырған 6 түрі тағы 19 канондық түрмен толықтырылып, барлығы 25 канондық теңдеу қамтылған [12]. О.Хайямның түсіндіруі бойынша, алгебраның пәні белгілі сандармен немесе шамалармен қандай да бір ара қатынасы бар белгісіз сандар немесе шамалар болып табылады, бұл ара қатынас теңдеу түрінде өрнектеледі. Оның айтуы бойынша, алгебра - теңдеулер туралы ғылым, шамалардың сандық және үздіксіз шамалар болып бөлінуіне сәйкес, алгебра теңдеулерді сандық және геометриялық әдістермен шешуге мұқтаж болады. Ол сондай-ақ квадрат теңдеулерді радикалдар арқылы шешу мен оның түбірлерін геометриялық әдіспен табудың арасындағы байланысты анықтай отырып, куб теңдеулерді радикалдар арқылы шешу жолының әлі де болса табыла қоймағандығын және оны табуды болашақ ұрпаққа аманат етіп қалдыратынын атап көрсетеді.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

- [1] Абылкасымова А.Е., Қосанов Б.М. *История становления и развитие методики преподавания математики: Учебное пособие.* – Алматы: «Мектеп», 2020. – 336 с.
- [2] Әбілқасымова А.Е., Қосанов Б.М. *Қазақстандағы математиканы оқыту сабақтастығының қалыптасу тарихы: Оқу құралы.* – Алматы: «Мектеп», 2023. – 332 с.
- [3] Старр Ф. *Утраченное просвещение: Золотой век центральной Азии от арабского завоевания до времен Тамерлана. Перевод с англ.* – М: Альпина Паблишер, 2018. – 574 с. <https://www.academia.edu/43324212>
- [4] Прасолов В.В. *История математики, в двух томах. Т.1: Учебное пособие.* – М: МЦНМО, 2019. – 296 с. <https://biblio.mccme.ru/node/6186>
- [5] Гильмуллин М.Ф. *История математики: Учебное пособие.* – М: Ridero, 2019. – 456 с. https://ridero.ru/books/istoriya_matematiki/
- [6] Павлов Е.А. *Краткая история математики: Учебное пособие.* – М: Лань, 2022. – 80 с. <https://e.lanbook.com/book/152433?category=917>
- [7] Aminov, T. M., Nurikhanov, N. K., & Akhmadullin, V. A. (2023). Al-Khwarizmi is an outstanding representative of oriental pedagogy. *Perspektivy nauki i obrazovaniya – Perspectives of Science and Education*, 64 (4), 559-573. doi: 10.32744/pse.2023.4.34
- [8] Aminov T. M. *Islamic pedagogical Renaissance: Formation and Substantiation of the Phenomenon. Perspectives of science and education*, no. 5 (59), 2022. – PP. 506-517. DOI: 10.32744/pse.2022.5.30
- [9] Мухаммад аль-Хорезми. *Математические трактаты. Перевод Ю.Х.Копелевич и Б.А.Розенфельда.* – Ташкент: «Фан», 1964. – 100 с.

[10] Мухаммад аль-Хорезми. *Математические трактаты*. Отв.ред. С.Х.Сираждинов. – Ташкент: «Фан», 1983. – 306 с. <https://f.eruditor.link/file/3079781/>

[11] Мамедов Ф.З. Научные заслуги Мухаммеда ибн Муса аль-Хорезми как вклад в педагогическую науку // *Балтийский научный журнал*. Т.10. №3 (36), 2021. – С.120-121 DOI: 10.26140/bgз3-2021-1003-0028

[12] Махмудхуджаева Л. Европейская научная мысль в трудах Мухаммеда Аль Хорезми// *Жамият ва инновациялар – Общество и инновации – Society and innovations Special issue -1, №01, 2020*. – С. 79-89 DOI: <https://doi.org/10.47689/2181-1415-vol1-iss1/s-pp79-89>

References

[1] Abylkasymova A.E., Kosanov B.M. (2020) *Istoriya stanovleniya i razvitie metodiki prepodavanija matematiki [History of the formation and development of methods of teaching mathematics]: Uchebnoe posobie*. Almaty: "Mektep", 336. (In Russian)

[2] Äbilqasymova A.E., Qosanov B.M. (2023) *Qazaqstandany matematikany oqytu sabaktastynynyn kalyptasu tarihy [The history of formation of continuity of teaching mathematics in Kazakhstan]: Oqy quraly*. Almaty: "Mektep", 332. (In Kazakh)

[3] Starr F. (2018) *Utrachennoe prosveshhenie: Zolotoj vek central'noj azii ot arabского zavoevanija do vremen Tamerlana [The golden age of central asia from the arab conquest to the time of Tamerlane]*. Pervod s angl. M:Al'pina Publisher, 574. <https://www.academia.edu/43324212> (In Russian)

[4] Prasolov V.V. (2019) *Istoriya matematiki, v dvukh tomakh. [History of Mathematics, in two volumes. T.1]: T.1 Uchebnoe posobie*. M: MCNMO, 296 с. [Online] Available at: <https://biblio.mccme.ru/node/6186> (In Russian)

[5] Gil'mullin M.F. (2019) *Istoriya matematiki [History of Mathematics]: Uchebnoe posobie*. M: Ridero, 456 с. [Online] Available at: https://ridero.ru/books/istoriya_matematiki/ (In Russian)

[6] Pavlov E.A. (2022) *Kratkaya istoriya matematiki [A Brief History of Mathematics]: Uchebnoe posobie*. M: Lan', 80 с. [Online] Available at: <https://e.lanbook.com/book/152433?category=917> (In Russian)

[7] Aminov, T.M., Nurikhanov, N.K., & Akhmadullin, V.A. (2023) Al-Khwarizmi is an outstanding representative of oriental pedagogy. *Perspektivy nauki i obrazovania – Perspectives of Science and Education*, 64 (4), 559-573. doi: 10.32744/pse.2023.4.34

[8] Aminov T.M. (2022) *Islamic pedagogical Renaissance: Formation and Substantiation of the Phenomenon. Perspectives of science and education*, no. 5 (59), pp. 506-517. DOI: 10.32744/pse.2022.5.30

[9] Muhammad al-Khorezmi. (1964) *Matematicheskie traktaty*. Pervod Yu.Kh.Kopelevich i B.A.Rozenfelda [Mathematical treatises. Translation by Yu.Kh.Kopelevich and B.A.Rosenfeld]. Tashkent: "Fan", 100 с. (In Russian)

[10] Muhammad al-Khorezmi. (1983) *Matematicheskie traktaty*. Отв.ред. S.Kh.Sirazhdinov [Mathematical treatises. Ed. S.Kh.Sirazhdinov]. Tashkent: "Fan", 306 с. [Online] Available at: <https://f.eruditor.link/file/3079781/> (In Russian)

[11] Mamedov F.Z. (2021) *Nauchnye zaslugi Mukhammeda ibn Musa al-Khorezmi kak vklad v pedagogicheskuyu nauku [The scientific merits of Muhammad ibn Musa al-Khwarizmi as a contribution to pedagogical science]* Baltiyskiy nauchnyy zhurnal. Т.10. №3 (36), 120-121. DOI: 10.26140/bgз3-2021-1003-0028 (In Russian)

[12] Mahmudkhudzhayeva L. (2020) *Evropeyskaya nauchnaya mysl' v trudakh Mukhammeda Al' Khorezmi [European Scientific Thought in the Works of Muhammad Al-Khwarizmi]*. *Zhamiyat va innovatsiyalar – Obshchestvo i innovatsii – Society and innovations Special issue 1, №01, 79-89*. DOI: <https://doi.org/10.47689/2181-1415-vol1-iss1/s-pp79-89> (In Russian)

Г.А. Батырбаева^{1*}, А.Т. Асанова¹, Г.Е. Бауаш¹

¹Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан
*e-mail: gulni787@gmail.com

МАТЕМАТИКАДАҒЫ МӘНМӘТІНДІК ЕСЕПТЕР ОҚУШЫЛАРДЫҢ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ САУАТТЫЛЫҒЫН ДАМУ ТҰРАЛЫ ҚҰРАЛЫ РЕТІНДЕ

Аңдатпа

Мақалада мектепте математика сабақтарында мәнмәтіндік есептерді шығару оқушылардың функционалдық сауаттылықтарын дамытудың тиімді құралы ретінде қарастырылып, оның күнделікті тұрмыс-тіршіліктегі жағдайларға тигізетін әсері туралы баяндалады. Мақаланың өзектілігі математикалық білімді ғылымның әртүрлі салаларында ғана емес, сонымен қатар күнделікті өмірде де қарқынды қолдану мектеп қабырғасынан бастап оқушылардың функционалды математикалық сауаттылығын қалыптастыру қажеттілігі туралы мәселеге жүгінуді қажет ететіндігімен байланысты. Заманауи білім берудің нәтижесі бұл жеке тұлғаның өз бетімен жаңа және үздіксіз білім алуын қамтамасыз ететін ақпараттық ағындарды бағдарлау, білімді талдау, қолдану және түрлендіру сынды біліктермен анықталады. Мұның бәрі функционалдық сауаттылық ұғымының мәнін анықтайды. Математикалық сауаттылық оның құрамдас бөлігі болып табылады. Оқушылар осындай білім беру нәтижелеріне қол жеткізулері үшін математиканың ғылыми мазмұнын, оның ерекшелігін, басқа пәндермен байланысын ашатын мәнмәтіндік есептерді жиі шығарып үйренулері керек. Жалпы оқушыларға мәнмәтіндік есептердің қолданбалы сипаты нақты өмірлік, тұрмыстық жағдайлардың мәселелерін шешуде қолдануларында байқалады. Мақалада мәнмәтіндік есептердің анықтамасына тоқталып, оның деңгейлері мен әдіс-тәсілдері көрсетілген. Зерттеу тақырыбына сай орта мектеп оқушыларынан алынған сауалнама нәтижелері диаграмма арқылы анықталған. Нәтижелерге сүйене отырып мектепте мәнмәтіндік оқытудың оңтайлы және осал тұстары туралы айтылып, оны шешудің жолдары көрсетілген.

Түйін сөздер: мәнмәтіндік есептер, функционалдық сауаттылық, математикалық сауаттылық, жаңа технология, педагогикалық технология.

Г.А. Батырбаева¹, А.Т. Асанова¹, Г.Е. Бауаш¹

¹Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан
**КОНТЕКСТНЫЕ ЗАДАЧИ ПО МАТЕМАТИКЕ КАК СРЕДСТВО РАЗВИТИЯ
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ГРАМОТНОСТИ УЧАЩИХСЯ**

Аннотация

В статье рассматривается решение контекстных задач на уроках математики в школе как эффективное средство развития функциональной грамотности учащихся и анализируется ее влияние на условия повседневной жизни. Актуальность статьи обусловлена тем, что интенсивное применение математических знаний не только в различных областях науки, но и в повседневной жизни требует обращения к вопросу о необходимости формирования функциональной математической грамотности учащихся, начиная со школьной скамьи. Результат современного образования определяется такими умениями, как ориентация в информационных потоках, анализ, применение и преобразование знаний, обеспечивающих самостоятельное получение индивидом новых и непрерывных знаний. Все это определяет сущность понятия функциональной грамотности. Математическая грамотность является ее составной частью. Для достижения таких образовательных результатов учащиеся должны чаще решать контекстные задачи, раскрывающие научное содержание математики, ее специфику, связь с другими предметами. Прикладной характер контекстных задач для учащихся в целом проявляется в их применении при решении проблем реальных жизненных, бытовых ситуаций. В статье основное внимание уделяется определению контекстных задач, их уровням и методам. Результаты опроса учащихся средней школы, соответствующие теме исследования, были определены с помощью

диаграммы. Исходя из результатов рассматриваются оптимальные и уязвимые моменты контекстного обучения, показаны пути его решения.

Ключевые слова: контекстные задачи, функциональная грамотность, математическая грамотность, новая технология, педагогическая технология.

G.A. Bатыrbayeva¹ A.T. Assanova¹, G.Y. Bauash¹

¹Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan

CONTEXT-BASED TASKS IN MATHEMATICS AS A MEANS OF DEVELOPING FUNCTIONAL LITERACY OF STUDENTS

Abstract

The article considers the solution of contextual problems in mathematics lessons at school as an effective means of developing functional literacy of students and describes its impact on the conditions of everyday life. The relevance of the article is due to the fact that the intensive application of mathematical knowledge not only in various fields of science but also in everyday life requires addressing the issue of the need to form functional mathematical literacy of students, starting from school. The result of modern education is determined by such skills as the orientation in information flows, analysis, application and transformation of knowledge, ensuring the independent acquisition of new and continuous knowledge by an individual. All this defines the essence of the concept of functional literacy. Mathematical literacy is an integral part of it. To achieve such educational results, students should more often solve contextual problems that reveal the scientific content of mathematics, its specifics, and its connection with other subjects. In general, the applied nature of contextual tasks for students is helpful in solving problems of real life and everyday situations. The article focuses on the definition of contextual tasks, their levels and methods. The results of the secondary school students survey relevant to the research topic were determined by a diagram. Based on the results, the optimal and vulnerable moments of contextual learning are considered and ways to solve are shown.

Keywords: contextual tasks, functional literacy, mathematical literacy, new technology, pedagogical technology.

Негізгі ережелер

Мектеп математикасы курсының оқытуды белсендірудің ең тиімді әдісі оқушыларды қолданбалы математика сипатындағы элементтермен таныстыру және қолданбалы бағыттағы есептерді шешу екені дәлелденген. Практикалық мазмұнды мәнмәтіндік математикалық есептерді шешу мектепте математиканы оқытудың маңызды бөлігі болып табылады.

Халықаралық PISA зерттеуінің мәні-оқушылардың білімі мен дағдыларының деңгейі олардың мектептегі жетістіктері тұрғысынан емес, өз білімдерін күнделікті өмірде қолдана білу тұрғысынан қарастыру болғандықтан мазмұны нақты тұрмыстық, өндірістік, қоғамдық өмірде жиі кездесетін жағдайларды көрсететін мәнмәтіндік есептерді пайдалану арқылы математика курсының қолданбалы бағытын күшейтуге, оның мазмұны мен оқыту әдістемесінің практикамен байланысын жүзеге асыруға болады.

Оқушылар математиканың ғылыми мазмұнын, оның ерекшелігін, басқа пәндермен байланысын ашатын мәнмәтіндік есептерді жиі шығару арқылы функционалдық сауаттылықтарын дамыта алады.

Кіріспе

Қазақстанда 2020-2025 жылдарға арналған ғылым мен білім беруді дамытудың арнайы мемлекеттік бағдарламасы әзірленген. Онда педагог қауымы оқушыларға мектеп қабырғасында алған теориялық білімдерін өмірде, нақты жағдайларда қолдануға үйретпейтіндігі туралы атап өтілген болатын. Сонымен қатар, жоғарыда аталған мемлекеттік бағдарламада оқушылардың математика саласындағы білім деңгейін көтеру маңызды міндеттердің бірі болып табылатындығы айтылған. Осы себепті мектеп мұғалімдері математика сабақтарында мәнмәтіндік есептерді кеңінен қолдануды ұсынды, ал одан аталмыш тақырыпты зерттеудің өзектілігін байқауға [1].

Жалпы білім беру стандартындағы жаңашыл талаптарға сәйкес негізделген мектеп математика курсының басты мақсаттары келесідей түрде көрсетілген: пәнді оқу барысында оқушыларға сабақтас мектеп пәндерін оқуға және практикалық іс-әрекетті қалыптастыруға қажетті математикалық білім жүйесін игерту; математиканың күнделікті тұрмыс-тіршіліктегі практикалық маңыздылығы туралы түсінік қалыптастыру; логикалық және алгоритмдік ойлау дағдыларын игерту болып табылады. Қазіргі ақпараттық қоғамда адамның үздіксіз білім алуын қамтамасыз ететін жеке және кәсіби даму сынды жаңа мақсаттар тұр. Соның негізінде, заман талабына сай ақпараттық ағынға бағытталған білімді дұрыс таңдай білу, талдау, теориялық білімді практикада тиімді қолдану және түрлендіру дағдыларын қалыптастыру бүгінгі жаңашыл білім берудің нәтижелері болмақ [2].

Бүгінгі таңда мектеп және жоғары оқу орындарындағы оқытудың басты өзекті мәселелерінің бірі оқушылардың *функционалдық сауаттылығын* қалыптастыру болып отыр. *Қазіргі уақытта білім алушылардың білім жетістіктерінің сапасы педагогтар ұсынатын оқу тапсырмаларының сапасымен анықталады.*

Математиканың дәстүрлі сабақтарының орнына әртүрлі әдістермен және заманауи педагогикалық технологиялармен қаныққан жаңа сабақтар келді. Бүгінгі күні сабаққа әртүрлі технологияларды пайдалану арқылы тақырыпты бірнеше қырынан ашып түсіндіруге болады. Жаңашыл сабақ балалардың іс-әрекетіне, олардың ойлау қабілетіне, алдына мақсат пен міндеттер қоюға, өз пікірін айта білуге бағытталуы тиіс.

Функционалдық сауаттылық жеке тұлғаны дамытуға, өз бетінше жаңа білім алуға және мәдениет, техника, экономика жетістіктерін игеруде үздіксіз білім алуға қажетті білім мен дағдыларды қамтамасыз етеді [3].

Бірнеше жылдар бойы жасалған тәжірибелердің нәтижесі бойынша, жоғарыда айтылған мақсаттарға оқушыларға математикадан мәнмәтіндік есептерді дұрыс түсіндіру арқылы қол жеткізуге болады. Біздің әдістемелік әдебиеттерімізде олар әртүрлі аталады: практикалық мазмұны бар есептер; практикаға бағытталған есептер; пәнаралық сипаттағы есептер; витагендік есептер және т. б.

Көптеген әдіскерлердің көзқарастары практикалық мазмұнды математикалық есептерді шешу мектепте математиканы оқытудың маңызды бөлігі болып табылады дегенді білдіреді. Қазақстан оқушыларының математикалық білімінің қолданбалы компонентіне деген жоғары назар «Математикалық сауаттылық» пәні бойынша ҰБТ тест тапсырмаларының бақылау-өлшеу материалдарының мәнмәтіндік есептер мазмұнынан да байқалады [4].

Қолданбалы бағыттағы мәнмәтіндік есептер негізгі мектеп курсы бойынша қорытынды аттестаттау материалдарына, емтиханға, конкурстық емтихандарға, пәндік олимпиадалардың тапсырмаларына да енгізілген. Алайда, тәжірибе көрсеткендей, қызығушылыққа негізделген мұндай тапсырмалар көптеген оқушыларға қиындық туғызады [5].

Зерттеушілер мәнмәтіндік есептің математикада ғана емес, білімнің басқа салаларында да ғылыми (практикалық) маңызы бар екенін атап өтті. Алайда қолданбалы сипаттағы мәнмәтіндік есептер мектептің математика курсына сирек кездеседі, өйткені оқушылар кәсіби математиктер немесе әртүрлі мамандықтың иелері емес екені белгілі.

Бірақ кейбір ұқсастықтарға байланысты практикалық және пәнаралық байланыстағы есептерді мектеп курсы шеңберіндегі қолданбалы мәнмәтіндік есептерге жатқызуға болады. Осыған байланысты мәнмәтіндік есептер арқылы оқытуды практикалық түрде дамытуға, оқушылардың математикалық сипаттағы тәуелсіз іс-әрекетін қалыптастыруға болады.

Білім беру жүйесіндегі мәнмәтіндік есептер әлеуетін көптеген ғалымдар түрлі позицияларда келесідей бірнеше түрлерге бөліп қарастырды: негізгі құзыреттерді қалыптастыру және диагностикалау құралдары; қолданбалы бағытты іске асыру және пәнаралық байланыстарды ұйымдастыру тәсілдері; жобалық-шығармашылық іс-әрекетті дамыту құралы; білім берудің мотивациялық компоненті ретінде және т.с.с. [6,7]. Математика, информатика және физика пәндерін байланыстыра оқытуда мәнмәтіндік есептерді қолдану мәселелері туралы көптеген ресей ғалымдары өз еңбектерінде қарастырған [8].

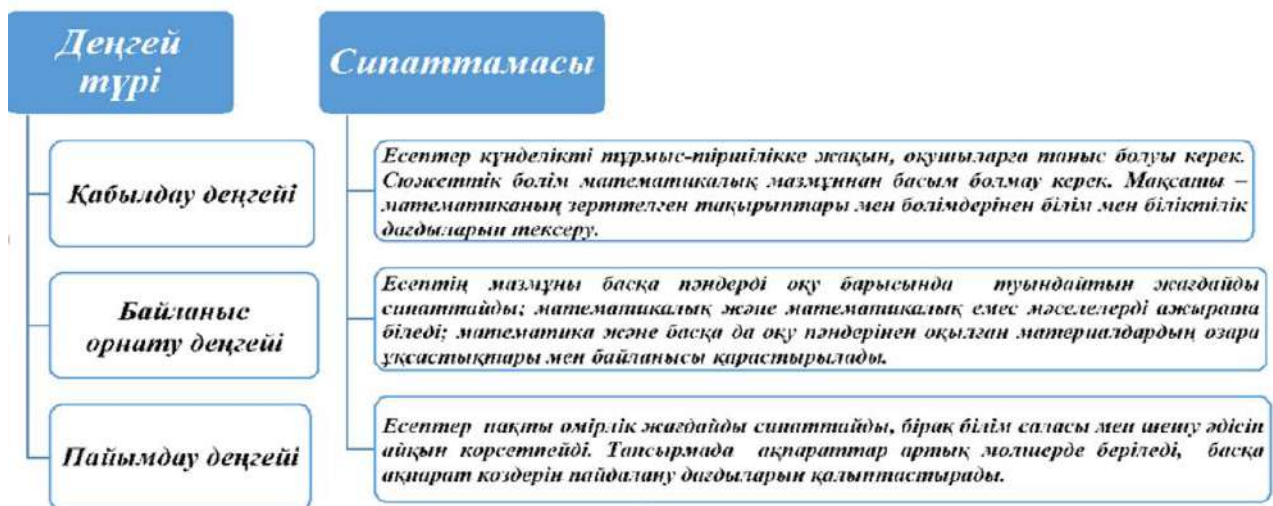
Зерттеу әдіснамасы

Мектеп математика курстарында мәнмәтіндік есептерді оқытуды зерттеудің басты мақсаты – оқушылардың кәсіптік даярлығына, пәнаралық байланыстардың сабақтастығын іске асыруға және олардың жеке белсенділігін өзектендіруге бағытталған. Демек, мәнмәтіндік оқыту теориясына сәйкес оқудың мазмұнын игеру білім алушылардың қоршаған ортаның объектілері мен құбылыстарына бағытталған өзіндік, ішкі белсенділігі арқылы жүзеге асырылады. Мәнмәтіндік есептерді шешу – ойлауды дамытатын жаттығулар. Сонымен қатар, бұл есептерді шешу шыдамдылықты, табандылықты, ерік-жігерді тәрбиелеуге ықпал етеді, шешім іздеу процесінде қызығушылықты оятуға көмектеседі, оқушылар жауабының дұрыстығын байқаған кезде мотивацияларының жоғарылай түсетіні анық.

Математиканы меңгеру берілген есепті шешуден бұрын, оны түсініп, талдауды қажет етеді. Ал, ол математиканы меңгерудегі ең маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Қандайда бір математикалық есептің шешілу барысын түсіну бойынша жұмыс баланың ойлау қабілетін дамытуға серпін береді. Мысалы, есептерді шешу барысында оқушы теориялық ережелерді терең зерттеп, ойлауды дамыту арқылы қоршаған ортадағы шындықты түсінуге тырысады.

Сонымен қатар, мәнмәтіндік есептерді шешу оқушылардың бойында көптеген жағымды қасиеттерді тәрбиелейтінін ұмытпауымыз керек. Біз жоғарыдағы аталғандарды нақтылау мақсатында мектепте математика сабақтарында функционалдық сауаттылықты қалыптастыру әдістерін қолдандық, соның нәтижесінде білім алушылардан әлемнің қазіргі ғылыми бейнесіндегі математиканың рөлі мен орны туралы идеяларды қалыптастыруға қол жеткіздік.

Мектеп тәжірибесі көрсеткендей оқушылардың функционалдық сауаттылығын математикадан мәнмәтіндік есептер шығару арқылы дамытуға болады. Жалпы алғанда *мәнмәтіндік есеп* – бұл оқушылардың қазіргі әлеуметтік-мәдени тәжірибесімен байланысты нақты өмірлік жағдайды сипаттайтын мотивациялық есеп. Мұндай есептерді шығарудың талабы – берілген есептің мәтінін түсіну, талдау және шығару алгоритмін дұрыс құрып, шешімін табу, ал есептің жауабын дұрыс таба білу мәтіннің мазмұнының маңыздылығын түсіну болып табылады [9]. Белгілі әдіскер В.А. Далингер мәнмәтіндік есептерді мектеп математика курсының қолданбалы бағытын жүзеге асыру құралы ретінде қарастырып, үш түрлі деңгейге бөледі (1 -сурет) [10].



Сурет 1. Мәнмәтіндік есептің деңгейлерінің сипаттамасы

Мәнмәтіндік есептер математиканы ғылым ретінде мазмұнын, оның ерекшелігін, басқа пәндермен байланысын анықтайды.

Зерттеу нәтижелері

Тапсырмалардың қолданбалы сипаты математиканы нақты өмірлік жағдайлардағы мәселелерді шешу барысында байқалады. Енді осы жоғарыда айтылған тұжырымдамаларымызды мысалдар арқылы қарастырайық.

Мысал 1. «Графикалық ақпаратпен жұмыс». 2 - суретте көрсетілген жол белгісі «Биіктік шегі» деп аталады, ол Саин көшесіндегі көпірлердің алдына орнатылған. Оның биіктігі (жүкпен немесе жүксіз) белгіленген биіктіктен асатын көліктердің өтуіне тыйым салу үшін көпірлердің, туннельдердің және басқа құрылыстардың алдына орнатылады.



Сурет 2. Жол белгісі

Келесі көліктердің қайсысына бұл белгі арқылы жол жүруге тыйым салады? Дұрыс жауабын таңдаңыз.

- 1) биіктігі 3770 мм сүт таситын көлік;
- 2) биіктігі 3400 мм өрт сөндіргіш көлік;
- 3) биіктігі 2900 мм авто отын құюшы;
- 4) биіктігі 3350 мм автоцистерна.

Берілген есеп мәнмәтіндік тапсырмалардың бірінші деңгейіне сәйкес келеді (қабылдау деңгейі). Есептің мазмұны оқушылардың күнделікті тұрмыс-тіршілікте көріп жүрген жағдаяттарының мағынасын түсіндіріп, оның қандай қажеттілігі бар екенін айқындайды.

Мысал 2. Ақжар ауылында 50 оқушы, ал Қосбұлақ ауылында 100 оқушы тұрады. Елді мекендер арасындағы қашықтық 5 км құрайды. Оқушылар мектепке баратын жалпы қашықтық мейілінше аз болу үшін мектепті қай жерге салу керек? (Жауапты негіздеу керек).

Шешуі.

Есептің шарттарынан мектеп Ақжар ауылы мен Қосбұлақ ауылының арасындағы жолда салынуы керек екені анық.

Мектеп Ақжардан x км қашықтықта орналассын делік және $0 \leq x \leq 5$. Осы ауылдың 50 оқушысының әрқайсысы мектепке x км жол жүреді, сол кезде барлық оқушылардың мектепке дейінгі жолы $50x$ км болады.

Қосбұлақ ауылынан мектепке дейінгі қашықтық $(5 - x)$ км болғандықтан, бұл ауылдың оқушылары мектепке дейін $100(5 - x)$ км жол жүреді.

Ендеше, екі ауылдың оқушылары бірігіп $S = (500 - 50x)$ км жол жүреді.

$S(x)$ функциясы – сызықты кемімелі функция екенін байқау қиын емес, сондықтан оның ең кіші мәні тәуелсіз x айнымалысының ең үлкен мәнінде қабылданады, яғни $x = 5$ км.

Демек, мектепті Қосбұлақ ауылында салу керек дегенді білдіреді.

Жауабы: Мектеп Қосбұлақ ауылында салыну керек.

Берілген есеп мәнмәтіндік тапсырмалардың екінші деңгейіне сәйкес келеді (байланыс деңгейі). Есеп мазмұны нақты жағдайды сипаттайды, математикалық және математикалық емес мәселелерді және олардың өзара байланысын көрсетеді.

Бұл есепті «Сызықтық функция» тақырыбын оқудағы білім мен дағдыларды тексеруге, функция қасиеттерінің қолданбалы бағытын көрсетуге арналған тапсырма ретінде қарастыруға болады.

Мысал 3. «Мәтінмен жұмыс» мектептегі жылыжайдың пішіні тіктөртбұрыш тәрізді, оның периметрі 12 метр, ал ұзындығы жұп санға тең болса, жылыжайдың ұзындығы мен енін табыңыздар.

Қорытынды: осы типтегі тапсырмаларды орындау оқушылардың оқу сауаттылығын арттырып, мәтіндерді түсіну және пайдалану қабілетін қалыптастыруға, дұрыс ойлауға және білімі мен мүмкіндіктерін кеңейтуге, әлеуметтік өмірге араласа білуге мүмкіндік береді.

7-сыныпта оқушылардың функционалдық сауаттылықты игеруі туралы жалпылама қорытынды жасауға болады, себебі осы сыныптардан бастап математикадан тапсырмалар күрделене түседі, оқушыларға берілген тақырып бойынша өз ойларын айтуға, белгілі бір мәселелерді шешудің тәуелсіз жолдары мен тәсілдерін ұсынуға, материалды графиктер,

кестелер түрінде көрнекі түрде көрсете білуге, топтарда кейстермен жұмыс істей білуге баулиды.

8-сыныпта оқушылар алдыңғы сыныпта алған біліктік дағдыларды пысықтау бойынша жұмыстарын жалғастырады, яғни таңдалған іс-әрекеттерін жалғастыру арқылы келесідей бірнеше функционалдық сауаттылық деңгейіне қол жеткізе алады:

- сыныптағы оқушылар ұсынылған жұмыстың құрылымын нақты сипаттай отырып, кейбір шектеулердің шарттарын қосып, схема (алгоритм) бойынша жұмыс істеулері керек;
- күрделі жағдайлардың қарапайым шешімдерін талдай және таба білу;
- өз ойларын дәлелдеу, тапсырма тақырыбы бойынша белгілі бір жүйелілік құру, дәлелдер келтіру және сұрақтар қоя білу қабілеттерін көрсету.

Ал, 9-10 сынып оқушылары функционалдық сауаттылық дағдыларының келесі деңгейіне сәйкес жетілдіріледі:

- сыныптағы оқушылардың басым бөлігі математикалық мазмұндағы күрделі тапсырмаларды әзірлеу және шешу дағдыларын көрсетуі керек;
- жаңа технологиялармен және топпен сенімді жұмыс;
- көпшілік алдында сөйлей білу, пайымдау, сұрақ қоя білу;
- алған дағдыларын практикада қолдана білу қабілеті.

Білім беру процесінде функционалдық сауаттылықты тиімді қалыптастыру үшін оқушыларды білімді саналы түрде игеруге ынталандыру, білім, біліктік дағдыларын қалыптастыру үшін әртүрлі мәнмәтіндік тапсырмаларды орындауда нақты өмірлік сюжеттерді қолданған жөн.

Оқу процесінде оқушылардың оқу іс-әрекетін ынталандыратын және осы іс-әрекеттің мағынасын түсіндіретін оқу жағдайларын жасау қажет.

Функционалдық сауаттылықтың барлық компоненттерін «қадамды» түрде қалыптастыру үшін тұрмыс-тіршілікке жақын тапсырмалар болу керек: оқу зерттеулері, жобалар және жобалық типтегі тапсырмалар; оңтайлы іс-қимыл тәжірибесін алуға ықпал ететін кейстер, рөлдік және іскерлік ойындар және басқа да тапсырмалар; есептің мазмұнын дұрыс түсінуге негіздеме болатын тапсырмалар (ұғымдар, тұжырымдар, математикалық өрнектер және т.б.).

Дискуссия

Аталған тақырыпты зерттеу барысында Алматы қаласындағы 182 ЖББ мектептің 9 «А» және 9 «В» сынып оқушыларының арасында екі түрлі әдіспен сабақ өтілді. Сабақ өту барысында бірнеше деңгейлі мәнмәтіндік есептер шығарылды. Сабақ соңында сауалнама жүргізілді. Оқушыларға мәнмәтіндік есептерге байланысты алдын-ала құрастырылған сұрақтарға жауап беру ұсынылды (1-кесте).

Кесте 1. Сауалнама сұрақтарының мазмұны

№	Сұрақтың мазмұны	Жауаптың пайыздық көрсеткіштері
1.	Сіз «Мәнмәтіндік есеп» ұғымымен таныссыз ба? а) иә б) жоқ с) жауап беруге қиналамын .	а) (45%); б) (40%); с) (15%).
2.	Сізге математика пәнінен алған білім алдағы өмірде қажет болады ма? а) иә б) жоқ	а) (70%); б) (30%).
3.	«Мәнмәтіндік есеп» терминінің мәнін қалай түсінесіз? а) өмірде қолданылатын таза тәжірибелік маңызы бар есеп б) мағынасы таза теориялық мәнге ие, іс жүзінде қолданылмайтын есеп	а) (60%); б) (40%).

4.	Математика сабағында Сізге қандай есептерді шығарған көбірек ұнайды: а) Таза математикалық есептер (мысалы, берілген теңдеудің түбірін табу) б) Логикалық тапсырмалар, стандартты емес есептер немесе мәнмәтіндік есептер	a) (30%); b) (70%).
5.	Математикадағы барлық есептер өмірдегі нақты жағдайларда қолданылады ма (яғни, олардың практикалық мәні бар ма) а) иә б) жоқ	a) (45%); b) (55%).
6.	Мәнмәтіндік есепті шығару дағдыларын меңгергенсіз бе? а) иә б) жоқ	a) (55%); b) (45%).
7.	Сіздің мұғаліміңіз математиканы өмірде қолдануды сипаттайтын мысалдар келтіре ме? а) иә б) жоқ	a) (50%); b) (50%).
8.	Сіз практикалық маңызы бар есептерді көбірек шығарғыңыз келе ме? а) иә б) жоқ	a) (70%); b) (30%).
9.	Сіз мәтіндік есептерді шығару барысында қиналасыз ба? а) иә б) жоқ	a) (70); b) (30%).
10.	Есептердің қайсысын күнделікті өмірде қолдануға болады деп ойлайсыз? 1. Терезе жақтауының пішіні ромб тәрізді. Оған шынысын орнату үшін қандай өлшемдерін ескеру керек? 2. Егер апельсиннің көлденең қимасы шиенің көлденең қимасынан 7 есе артық болса, апельсин мен шие көлемінің арақатынасын табыңыз. а) №1 есеп б) №2 есеп с) №1 есеп және №2 есеп	a) (50%); b) (35%); c) (15%).

Жүргізілген сабақ пен сауалнама нәтижелеріне талдау жасау арқылы оқытудың келесідей оңтайлы және осал тұстарын байқадық:

- Мәнмәтіндік есептер күнделікті тұрмыс тіршіліктегі заманауи математиканың маңыздылығын жақсырақ түсінуге ықпал етеді;

- Өмірлік жағдайларды шешуге көмектеседі (отбасы бюджетін қалыптастыру, банктен тиімді пайызбен кредит алу және т.б.);

- Мәнмәтіндік есептер білім алушылардың функционалдық математикалық сауаттылығын арттырады;

- Оқушылардың пәнді түсіну мүмкіндігін арттырып, математиканы оқуға деген қызығушылығын жоғарылатады.

- Оқушылардың қазіргі әлеуметтік-мәдени тәжірибесімен байланысты нақты өмірлік жағдайды сипаттайтын практикалық мазмұны бар мәнмәтіндік есептер ұғымдарын меңгеру жеткіліксіз;

- Мәнмәтіндік есептерді шығару әдістемесінің жеткіліксіздігі.

Қазіргі білім беру стандарттары мектеп оқушыларында белгілі бір тәжірибеге бағытталған құзыреттердің болуын болжайды. Оқушылар мәнмәтіндік есептерді шешу арқылы математиканың барлық қолданбалы маңыздылығын түсінуге мүмкіндік алады. Мұндай

тапсырмалар математиканы оқуға деген ынта деңгейін арттырады. Математика сабақтарында мұғалім қолданатын мәнмәтіндік есептер кешенін қалыптастыру барысында келесі принциптерді басшылыққа алу қажет:

- оқушылардың ағымдағы және өткен тақырыптарды зерттеу барысында алған білімдерін қолдануды көздейтін тапсырмаларды пайдалану маңызды. Бұл жағдайда материалды игеру деңгейін бағалауға, оны бекітуге және қайталауға, сондай-ақ тәлімгерлерге үйретуге болады;

- оқушыларға әртүрлі техногендік және табиғи құбылыстарды түсінуге ықпал ететін тапсырмалар ұсынылуы керек. Мұндай тапсырмаларды байланыстыру өмірлік тәжірибе және оқыту түрлерімен ерекшеленеді;

- тапсырмаларды оқушылар бұрын зерттелмеген жаңа құбылыстарға тап болатындай етіп таңдау керек. Осылайша, тапсырма оқушылардың жаңа материалды түсінуіне ықпал ететін байланыстырушы элемент ретінде әрекет етеді;

- ұсынылған тапсырмалардың саны сабақтың өту уақытына сәйкес келуі керек. Мұғалім әр балаға оның даму деңгейіне байланысты жеке көзқарасты қолдана алуы тиіс. Мәнмәтіндік есептерді шешу арқылы қалыптасатын тапсырма деңгейі оқу іс-әрекетінің басқа түрлеріне теріс әсер етпеуі қажет.

Мазмұны нақты өмірлік жағдайларға негізделген тапсырма бірнеше шешімдердің болуын көздегені жөн және олардың шешімі мүмкіндігінше сәйкес келу керек (мысалы, алынған нәтиже дөңгелектеуді қажет етеді). Мәнмәтіндік есептерді сабақтың әртүрлі кезеңдерінде қолдануға болады. Бұл оқытушылық қызметті жүзеге асыру әдістеріне және қол жеткізілетін қажетті нәтижелерге байланысты. Жоғарыда аталған барлық процестер бір-бірімен байланысты және мәнмәтіндік есептерді шешуде сапалы оқытуды іс жүзінде жүзеге асыруға ықпал ететіндігін атап өткен жөн.

Мәнмәтіндік оқытуға негізделген оқыту мазмұнын игеру қоршаған әлемнің нысандары мен құбылыстарына бағытталған өзіндік, ішкі уәждеделген белсенділік арқылы жүзеге асырылады. Мектеп тәжірибесі көрсеткендей, математикадан функционалдық сауаттылықты дамыту мәнмәтіндік есептер арқылы тиімді жүзеге асыруға болатындығын байқау қиын емес. Мәнмәтіндік есептерді шығару оқушылардың әмбебап оқу әрекеттерін меңгеру құралы ретінде зерттеу дағдыларын қалыптастырумен байланысты. Мұндай есептер математиканың ғылым ретіндегі мазмұнын, оның ерекшелігін, басқа пәндермен байланысын нақтылайды және оқушылардың математикалық сауаттылығын дамытуға ықпал етеді. Мәнмәтіндік есептердің қолданбалы сипаты нақты өмірлік жағдайлардың мәселелерін шешуде математиканы қолдануда көрінеді.

Бұл есептердің мазмұны қоршаған ортадағы тұрмыс-тіршілікті байланыстыра білуімен ерекшеленеді, өйткені оқушыны өмірге дайындау үдерісі жүреді, жеке тұлғаның өзін-өзі жүзеге асыруы мен өзін-өзі тануы үшін жағдайлар жасалады. Есептің мұндай түрі мектеп оқушыларының математикалық және жаратылыстану бағыттындағы ғылыми сауаттылығын арттыратындығы сөзсіз.

Қорытынды

Жоғарыда айтылғандай функционалдық сауаттылықтың дамуына оның құрамдас бөлігі болып табылатын оқушылардың математикалық сауаттылығы ықпал етеді. Математикалық сауаттылық ұғымының мәні келесі тұрғыда анықталады: нақты әлемдегі математиканың рөлін түсінумен; логикалық пікірлерге негізделген ұғымдармен; математиканы адамзаттың қажеттіліктерін қанағаттандыру мақсатында қолданумен.

Функционалды математикалық сауаттылық дегеніміз адамның қолданбалы математикалық білім негізінде өмір мен қызметтің әртүрлі салаларындағы стандартты өмірлік есептерді шеше алу қабілеті. Мәнмәтіндік есептер оқушылардың математикалық сауаттылығын дамытуға ықпалын тигізеді.

Мәнмәтіндік есептердің сюжеттік есептерден ерекшелігін атап айтатын болсақ, оларды шығару барысында оқушылардың өмірге деген көзқарастары қалыптасады, тұлға ретінде өзін-өзі белсендендіру және өзін-өзі тану үшін жағдайлар жасай алады. Мәнмәтіндік есептер білім алушыларға әлеуметтік қатынастар тәжірибесін алуға мүмкіндік береді, коммуникативтік құзыреттіліктерді, өзара іс-қимыл тәжірибесін, бірлесіп шешім қабылдау қабілетін қалыптастырады. Есептердің оқу-кәсіби бағыты шығармашылық кәсіби ойлауды, танымдық және кәсіби мотивацияны қалыптастыруды қамтамасыз етеді.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

[1] Фрумин И.Д., Добрякова М.С., Баранников К.А. и др. Универсальные компетентности и новая грамотность: чему учить сегодня для успеха завтра. Предварительные выводы международного доклада о тенденциях трансформации школьного образования. М.: НИУ ВШЭ, 2018. 28 с. <https://ioe.hse.ru/pubs/share/direct/408113071.pdf>

[2] Алексеева, Е. Е. Методика формирования функциональной грамотности учащихся в обучении математике. – 2020. – № 66–2. – С. 10–15. <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-formirovaniya-funktionalnoy-gramotnosti-uchashchih-sya-v-obuchenii-matematike>

[3] Рослова Л.О., Краснянская К.А., Квитко Е.С. Концептуальные основы формирования и оценки математической грамотности // Отечественная и зарубежная педагогика. 2019. Т. 1, № 4 (61). С. 58–79. <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnye-osnovy-formirovaniya-i-otsenki-matematicheskoy-gramotnosti>

[4] Горбузова, М.С., Коробкова, С.А., Смыковская, Т.К., Соловьёва, В.В. Контекстные задачи как средство интеграции содержания предметных областей математики, физики и информатики [Текст] // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22687>

[5] Горбузова, М.С., Смыковская, Т.К. Типология контекстных задач и систем контекстных задач по информационным технологиям [Текст] // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22687>

[6] Решетникова С.Л. Методика обучения решению контекстных задач в курсе математики 5-6 классов // Педагогический журнал. 2021. Т. 11. № 6А. С. 176-183. DOI: 10.34670/AR.2021.31.98.021

[7] Денищева Л.О. Особенности формирования и оценки математической грамотности школьников // Наука и образование сегодня. 2021. Т. 11. № 4. С. 113-135. DOI: 10.15293/2658-6762.2104.06

[8] Кириллова, О. А. Кейс-технология как средство развития функционально графической грамотности учащихся. – 2019. – № 1 (74). – С. 246–248. <https://cyberleninka.ru/article/n/18269026.pdf>

[9] Артюхина, М.С. Теоретико-методологические основы интерактивного обучения математике в информационно-образовательной среде вуза [Текст] // Педагогика и просвещение. – 2016. – № 2. – С. 176-185. https://vestnik.uspu.org/releases/2016_4/14.pdf

[10] Далингер, В.А. Контекстные задачи как средство реализации прикладной направленности школьного курса математики [Текст] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 10-1. <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=4084>

References

[1] Frumin I.D., Dobryakova M.S., Barannikov K.A. i dr. (2018) Universal'nye kompetentnosti i novaya gramotnost': chemu uchit' segodnya dlya uspekha zavtra. Predvaritel'nye vyvody mezhdunarodnogo doklada o tendenciayah transformacii shkol'nogo obrazovaniya. [Universal competences and new literacy: what to learn today for tomorrow's success. Preliminary conclusions of the international report on trends in the transformation of school education] М.: НИУ ВШЭ, 28 p. (in Russian) <https://ioe.hse.ru/pubs/share/direct/408113071.pdf>

[2] Alekseeva E. E. (2020) Metodika formirovaniya funkcional'noj gramotnosti uchashchih-sya v obuchenii matematike. [Methodology for the formation of functional literacy of students in teaching mathematics]. № 66–2, 10–15 pp. (in Russian) <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-formirovaniya-funktionalnoy-gramotnosti-uchashchih-sya-v-obuchenii-matematike>

[3] Roslova L.O., Krasnyanskaya K.A., Kvitko E.S. (2019) *Konceptual'nye osnovy formirovaniya i ocenki matematicheskoy gramotnosti // Otechestvennaya i zarubezhnaya pedagogika. [Conceptual foundations for the formation and assessment of mathematical literacy. Domestic and foreign pedagogika]. T. 1, № 4 (61). 58–79 pp. (in Russian) <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnye-osnovy-formirovaniya-i-otsenki-matematicheskoy-gramotnosti>*

[4] Gorbuzova, M.S., Korobkova, S.A., Smykovskaya, T.K., Solov'yova, V.V. (2015) *Kontekstnye zadachi kak sredstvo integracii sodержaniya predmetnyh oblastej matematiki, fiziki i informatiki [Tekst] // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. [Contextual tasks as a means of integrating the content of the subject areas of mathematics, physics and computer science [Text] Modern problems of science and education]. № 1. (in Russian) <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22687>*

[5] Gorbuzova, M.S., Smykovskaya, T.K. (2015) *Tipologiya kontekstnyh zadach i sistem kontekstnyh zadach po informacionnym tekhnologiyam [Tekst]// Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. [Typology of contextual tasks and systems of contextual tasks in information technology [Text]// Modern problems of science and education]. № 1. (in Russian) <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22687>*

[6] Reshetnikova S.L. (2021) *Metodika obucheniya resheniyu kontekstnyh zadach v kurse matematiki 5-6 klassov Pedagogicheskij zhurnal. [Teaching methods for solving contextual problems in the mathematics course of grades 5-6 Pedagogical Journal]. T. 11. № 6A. 176-183 pp. (in Russian) DOI: 10.34670/AR.2021.31.98.021*

[7] Denishcheva L.O. (2021) *Osobennosti formirovaniya i ocenki matematicheskoy gramotnosti shkol'nikov Nauka i obrazovanie segodnya. [Features of the formation and assessment of mathematical literacy of schoolchildren. Science and Education today]. T. 11. № 4. S. 113-135. (in Russian) DOI: 10.15293/2658-6762.2104.06*

[8] Kirillova, O. A. (2019) *Kejs–tekhnologiya kak sredstvo razvitiya funkcional'no graficheskoy gramotnosti uchashchihsya. [Case technology as a means of developing functional and graphic literacy of students]. № 1 (74). 246–248pp. (in Russian) <https://cyberleninka.ru/article/n/18269026.pdf>*

[9] Artyuhina, M.S. (2016) *Teoretiko-metodologicheskie osnovy interaktivnogo obucheniya matematike v informacionno-obrazovatel'noj srede vuza [Tekst]. Pedagogika i prosveshchenie. [Theoretical and methodological foundations of interactive teaching of mathematics in the information and educational environment of the university [Text] // Pedagogy and education]. № 2. 176-185 pp. In Russian) https://vestnik.yspu.org/releases/2016_4/14.pdf*

[10] Dalinger, V.A. (2013) *Kontekstnye zadachi kak sredstvo realizacii prikladnoj napravlenosti shkol'nogo kursa matematiki [Tekst] Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. [Contextual tasks as a means of implementing the applied orientation of the school mathematics course [Text] International Journal of Applied and Fundamental Research]. № 10-1. (in Russian) <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=4084>*

Е.Ы. Бидайбеков¹, Н.И. Пак², Н.Т. Ошанова^{1*}

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

²В. П. Астафьев атындағы Красноярск мемлекеттік педагогикалық университеті,
г. Красноярск, Ресей

*e-mail: n.oshanova@abaiuniversity.edu.kz

МАТЕМАТИКАЛЫҚ БІЛІМ БЕРУДІ ЦИФРЛАНДЫРУ: МАТЕМАТИКАНЫ ОҚЫТУДЫҢ ЭЛЕКТРОНДЫҚ ҚҰРАЛДАРЫН ҚҰРУ

Аңдатпа

Соңғы жылдары дәстүрлі қағаз және электронды оқулықтарды қолдана отырып, жастардың оқуға деген ынтасы күрт төмендеді. Осыған байланысты қазіргі білім алушылардың танымдық сипаттамаларына сәйкес келетін электрондық құралдарының құрылымы мен мазмұнын модельдеу қызығушылық тудырады.

Жұмыс құрылымды-менталдық схемалар платформасына және оқу пәні мазмұнының сұрақ-тапсырма форматына негізделген инновациялық электрондық құралдарын құру тәсілін негіздеуге арналған (мектеп математикасының «Теңдеулер» тақырыбы мысалында, 6-11 сыныптар). Мектеп математика курсының «Теңдеулер» мазмұндық сызығы бойынша оқытудың электрондық құралдарын жобалау кезінде бірқатар позицияларды анықтаған менталдық тәсіл қолданылады: оқу мазмұнының құрылымдық құрамының сұрақ-тапсырма форматы; оқу мазмұнын таңдаудағы «тік тұтқа» принципі; оқу үдерісін визуализациялау және білімнің өзін-өзі бақылауы үшін «мөлдір қорап» принципі.

«Теңдеулер» тақырыбы бойынша құрылған сауалнама нәтижесі электрондық құралдар кешенінің дидактикалық қасиеттеріне жоғары баға берді. Мектеп математикасының «Теңдеулер» тақырыбын мысалға ала отырып, оқытудың әзірленген инновациялық құралдары оқушылардың өзін-өзі оқытуы мен өзін-өзі бақылауы үшін инновациялық электронды оқулықтар жасау мүмкіндігі мен қажеттілігін көрсетті. Ұсынылған тәсілді мектеп пен университеттегі кәсіби пәндердің басқа мазмұндық бағыттары үшін қолдануға болады.

Түйін сөздер: мектеп математикасы, инновациялық технологиялар, менталдық карта, электрондық құралдар, цифрландыру.

Е.Ы. Бидайбеков¹, Н.И. Пак², Н.Т. Ошанова¹

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

²Красноярский государственный педагогический университет имени В.П.Астафьева,
г. Красноярск, Россия

ЦИФРОВИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ: СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКЕ

Аннотация

В последние годы происходит резкое падение мотивации молодежи к обучению с использованием традиционных бумажных и электронных учебников. В этой связи представляет интерес моделирование структуры и содержания учебных средств, адекватных когнитивным характеристикам современных учеников. Работа посвящена обоснованию подхода к созданию инновационных учебных пособий, опирающегося на платформу структурно-ментальных схем и вопросно-задачный формат содержания учебной дисциплины (на примере темы школьной математики «Уравнения», 6-11 классы). Используется ментальный подход, который определил ряд позиций при проектировании учебных средств обучения по содержательной линии школьного курса алгебры «Уравнения»: вопросно-задачный формат структурной композиции учебного контента; принцип «вертикального рычага» при отборе учебного контента; принцип «прозрачного сундука» для визуализации процесса обучения и самоконтроля знаний. Результат опроса показал высокие оценки дидактических качеств созданного комплекса средств обучения по теме «уравнения». Разработанные инновационные средства обучения, на примере темы школьной математики «уравнения», показали возможность и необходимость

создания инновационных электронных учебников для самообучения и самоконтроля учеников. Предложенный подход можно применить для других содержательных линий предметных дисциплин в школе и вузе.

Ключевые слова: школьная математика, инновационные технологии, ментальная карта, электронные средства, цифровизация.

Y. Bidaibekov¹, N. Pak², N. Oshanova¹

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

²Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P.Astafyev, Krasnoyarsk, Russia

DIGITALIZATION OF MATHEMATICAL EDUCATION: CREATION OF ELECTRONIC MEANS OF TEACHING MATHEMATICS

Abstract

In recent years, there has been a sharp drop in the motivation of young people to study using traditional paper and electronic textbooks. In this regard, modeling of the structure and content of educational tools adequate to the cognitive characteristics of modern students is of interest. The work is devoted to the substantiation of an approach to the creation of innovative textbooks based on the platform of structural-mental schemes and the question-problem format of the content of the discipline (on the example of the topic of school mathematics «Equations», grades 6-11). A mental approach is used, which has determined a number of positions in the design of educational teaching tools along the content line of the school algebra course «Equations»: the question-problem format of the structural composition of educational content; the principle of «vertical lever» in the selection of educational content; the principle of a «transparent chest» for visualizing the learning process and self-control of knowledge. The expert survey showed high ratings of the didactic qualities of the created complex of teaching tools on the topic «equations». The developed innovative teaching tools, using the example of the topic of school mathematics «equations», showed the possibility and necessity of creating innovative electronic textbooks for self-study and self-control of students. The proposed approach can be applied to other substantive lines of subject disciplines at school and university.

Keywords: school mathematics, innovative technologies, mental map, electronic means, digitalization.

Негізгі ережелер

Қоғам дамуының қазіргі кезеңінде, цифрландыру адамның күнделікті өмірінің ажырамас бөлігіне айналған кезде, білім берудің цифрлық трансформациясы қоғамда болып жатқан өзгерістердің табиғи салдары болуы керек. Электрондық оқыту жүйесі білім беруді жаңғыртудың негізгі құралдарының біріне айналуы тиіс [1].

Мұндай өзгерістер оқыту әдістері мен технологияларының өзгеруіне, сондай-ақ білім беру қызметінің қол жеткізілген нәтижелерінің тізбесін кеңейтуге әкелуі тиіс. Қазіргі мектеп Өзін-өзі табысты жүзеге асыру мақсатында қоғаммен табысты қарым-қатынас жасауға дайын тұлғаларды дайындай отырып, ақпараттық қоғамның сын-тегеуріндеріне жауап беруі тиіс [2].

Кіріспе

Қазіргі уақытта білім беру жүйесі оқытудың пәндік, мета-пәндік және жеке нәтижелерін дамытуды көздейді, бұл бүгінде жеткіліксіз, өйткені адамның іс-әрекеті барған сайын интеллектуалды бола бастайды. Осыған байланысты білім алушыларда есептеу, құрылымдық, интуитивті және алгоритмдік ойлаудың қалыптасуы мен дамуын қамтамасыз ету қажет [3], бұл қазіргі заманғы адамның әлеуметтік және кәсіби қызметте бәсекеге қабілетті өмір сүруін қамтамасыз ететін маңызды дағдыларының бірі.

Соңғы жылдары дәстүрлі қағаз және электронды оқулықтарды қолдана отырып, жастардың оқуға деген ынтасы күрт төмендеді. Қазіргі жастардың менталитеті оқыту құралдары мен әдістерін құру мен қолданудың жаңа тәсілдерін қажет етеді. Жастардың ойлауын қалыптастыру олар үшін әлеуметтік желілердегі білім беру мазмұнын неғұрлым тартымды жасайды.

Осыған байланысты қазіргі білім алушылардың танымдық сипаттамаларына сәйкес келетін электрондық құралдарының құрылымы мен мазмұнын модельдеу қызығушылық тудырады.

Жұмыстың мақсаты - құрылымды-менталдық схемалары платформасына және оқу пәні мазмұнының сұрақ-тапсырма форматына негізделген инновациялық электрондық құралдарын құру тәсілін негіздеу (мектеп математикасының «теңдеулер» тақырыбының мысалында, 6-11 сыныптар).

Әдебиетке шолу

Білім беруді цифрлық трансформациялау үдерістері дәстүрлі әдістемелік жүйелердегі электрондық және қашықтықтан оқыту құралдары мен әдістемелерін негізсіз жаңартумен, педагог кадрлардың жаңа шындықтағы кәсіби қызметке дайын болмауымен, еңбек сыйымдылығымен және үлкен материалдық және зияткерлік шығындармен байланысты қиындықтарға тап болады. Осыған байланысты инновациялық тәсілдер, атап айтқанда, менталдық технологиялар арқылы оқыту құралдары мен әдістерін жаңартуды қамтамасыз ететін заманауи дидактика принциптерін дамытатын және толықтыратын менталдық тәсілі қызығушылық тудырады [3, 4]. Менталдық тәсіл шындық пен адамды өзінің жеке және ұжымдық өмірлік тәжірибесінің нәтижесінде қалыптасқан менталдық тұрғысынан анықтайтын менталдық схемаларына негізделген [5]. Менталдық оқыту технологиялары әртүрлі пәндік менталдық құрылымдарды, тұжырымдаманы және менталдық карталарын пайдаланады [6]. Менталдық тәсілдің маңыздылығы бірнеше бағытта көрінеді, мысалы, оқыту мен білімді бақылауда «мөлдір қорап» моделін қолдану [7]; есептерді шешуді оқытудың құрылымды-менталдық схемаларын құру үшін оқу примитивтерін пайдалану [8]; жекелендірілген оқу ресурстарын құру [9], сондай-ақ трансформаторлар мен төңкерілген оқулықтар форматын қолдану [10].

Интеллектуалды автоматтандырылған оқыту құралдарын рәсімдеу және құру әрекеттері соңғы уақытта өте қарқынды жүргізілуде. Мысалы, Д. Н. Буториннің жұмысында [11] математикалық есептерді шешудің құрылымдық схемасы жасалды және оның негізінде есепті шешу алгоритмін тану жүйесі құрылды. Мұндай идеяларды авторлар [12, 13] бірқатар математикалық есептерді шешуге арналған электронды оқыту құралдарын құру кезінде жүзеге асырады.

Адаптивті типтегі математиканы оқытудың инновациялық құралдары үлкен дидактикалық мүмкіндіктерге ие [14]. Алайда, адаптивті электронды оқулықтар оқушының жеке сипаттамаларына бейімделеді, бірақ оған мазмұн мен оқыту әдісін таңдауға мүмкіндік бермейді. Осыған байланысты үлкен артықшылықтарды трансформаторлық оқулықтармен байланыстыру керек, бұл оқушыға электрондық құралының өзіне ыңғайлы нұсқасын таңдауға мүмкіндік береді [15, 16]. Бұл ретте пәндердің мазмұны мен саны бойынша көлемді тақырыптарды зерттеуге айтарлықтай мотивацияны инверттелген типтегі оқулықтар тудыруы мүмкін [17].

Қазіргі жастардың оқуға деген дискретті «клиптік» қалауы жағдайында оқу пәндерінің зерттелетін тақырыптары мен бөлімдерінің құрылымы мен сабақтастығы маңызды проблемаға айналады. Пәнаралық байланыс технологиялары есебінен дәстүрлі көлденең сабақтастықтан басқа, ең маңыздысы - жоғары концентрлік даму принципі бойынша бірнеше жыл ішінде берілген мазмұнды тақырыпты зерттеуді анықтайтын көлденең сабақтастық. Оқытудағы тік сабақтастықтың қажеттілігі әртүрлі салалардағы заманауи зерттеулермен көрсетілген [18]. Тік сабақтастық оқу тақырыбын негіздерден (қарапайым негізгі ұғымдардан) игеру қажеттілігін анықтайтын және «жаңа білімді білім тұтқасына байлау» арқылы «тік тұтқа» принципіне сүйенеді [19].

Ментальдық технологиялар – ойлауды визуалдау техникаларының бірі. Радиалды және иллюстративті құрылымына сәйкес ментальдық карталар ақпаратты ұсынуды қарапайым мәтін, тізім мен кестеге қарағанда жылдам әрі көрнекі етіп, ақпаратты жақсы меңгеруге әсер етеді. Белгілі бір ассоциативті қабылдауды тудыратын жарқын бейнелер, графикалық суреттер мен сөздер сызықтық әдістерге қарағанда жадыда жеңіл сақталады, сонымен қатар қажет кезде жылдам еске түседі. Ментальды карта құру технологиясының тиімділігі – өтілген тақырыпты меңгеру сапасын тексеруде де байқалады. Оқу сабағының рефлексия кезеңінде білім алушыға

қысқа уақыт аралығында орталық тақырыптың бір тармағын сипаттау ұсынылу мүмкін. Негізгі тармақтар санын оқытушы дәрістің мақсатына сәйкес таңдайды. Екінші деңгейдің тармақтарының санын ментальды карта авторының өзі таңдауы мүмкін. Интеллект картаның тағы бір артықшылығы – толық аяқталған ментальды карта сирек кездеседі, олар үнемі толықтырылып, жаңа идеялар пайда болуына сәйкес кеңейтіліп отырады. Ментальды карта білім алушылардың білімін тексерудің таптырмас шешімі бола алады, бақылау мен жобалық жұмысты қорғау барысында жоспарлау, орындау, жүзеге асыруда көмекші құрал рөлін атқарады. Электрондық ментальдық карталарды жасау үшін, мысалы, MindMeister, Text2, MindMap немесе FreeMind, XMind, Explain компьютерлік программаларын тиімді пайдалану. Программаларды пайдалану оқытушы мен оның студенттерінің жұмыс өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді [20].

Зерттеу әдіснамасы

Мектеп математика курсына төңкерілген технологияны пайдаланып оқыту білімді жаңғырту және оны нақты белгіленген академиялық жағдайда қолдануға негізделген дәстүрлі бағалау үдерісін айтарлықтай өзгертеді. Технологияның әртүрлі үлгілері білім алушылардың алдында тұрған міндеттерге байланысты білімін бақылауға арналған формалардың кеңірек арсеналын пайдалануға мүмкіндік береді. Ақпаратты оқытушы бермей, оны білім алушылардың өздері табуы қажет болған жағдайда ақпаратты іздеуде қолданылатын тәсілдер, сонымен қатар ақпараттың сапасы да бағаланады [20].

Төңкерілген оқыту білім алушылардың деңгейін ескере отырып, тапсырмалардың көлемі мен күрделілігін біртіндеп арттыруға және ақпараттық технологияның арқасында сыныптан тыс жұмыстың әрбір кезеңінде бақылауды ұйымдастыруға мүмкіндік береді. Студенттердің меңгеруі тиіс ақпараттың еселеп көбейетінін ескерсек, төңкерілген оқыту мақсатқа жетудің тиімді әдісіне айналады, өйткені сыныптағы уақыт тең болған кезде студент сапалы өзіндік жұмысын жасау барысында, әлдеқайда көп теориялық ақпарат пен практикалық дағдыларды алады. Осы ретте студент оқу материалын бірнеше рет қайталап немесе қайта оқи алады, өзіне ыңғайлы қарқынмен, ыңғайлы жерде жұмыс істей алады, оқытушыға сұрақ құрастырып, жібере алады [20].

Төңкерілген сынып – бұл оқуды ұйымдастырудың жаңа тәсілі, онда сыныптағы және сыныптан тыс жұмыстар орны ауысып, керісінше болады. Сонымен қатар проблемалық оқытумен қиылыса отырып, бұл әдіс үлкен икемділікке ие және білім алушылардың оқу үдерісіне көбірек қатысуын қамтамасыз етеді, студенттер сыни ойлауға және тапсырмаларды бірлесіп орындауға үйренетін динамикалық және шығармашылық ортаны құруға мүмкіндік береді.

Жаңа тәсілдің айрықша ерекшелігі – толықтай немесе ішінара өз бетімен білім алуға көшіру болып табылады. Сонымен қатар, сыныптағы бос уақытты сыни ойлау мен шығармашылықты дамытатын интерактивті іс-шараларға пайдалануға болады.

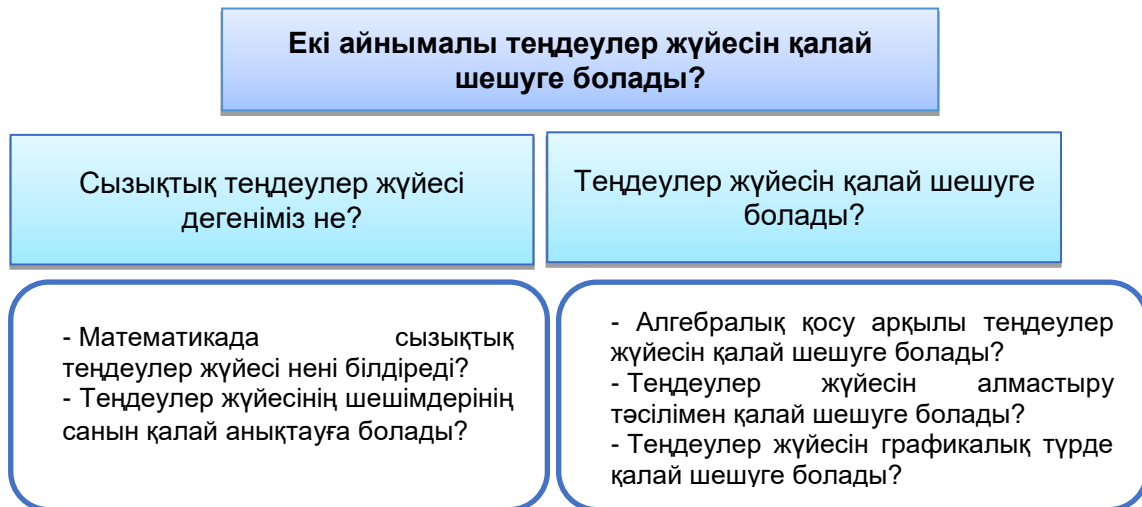
Білім берудегі менталдық тәсілдің принциптеріне сүйене отырып [3] мектеп алгебрасының «тендеулер» курсының тақырыбы бойынша презентация форматын модельдеу және мазмұнды құрылымдау үшін үш позиция анықталды:

- оқушының клиптік ойлауына бағытталған оқу мазмұнының құрылымдық құрамының сұрақ-тапсырма форматы;
- пәндік саланың берілген мазмұндық сызығы үшін оқу мазмұнын іріктеудің «тік тұтқасы» қағидаты;
- оқу үдерісін визуализациялау және білімді өзін-өзі бақылау үшін «мөлдір қорап» принципі.

Тәсілдің бірінші позициясы «төңкерілген» форматты анықтады [17]. Оқу материалын сұрақ-тапсырма құрылымы ретінде ұсынуға болады.

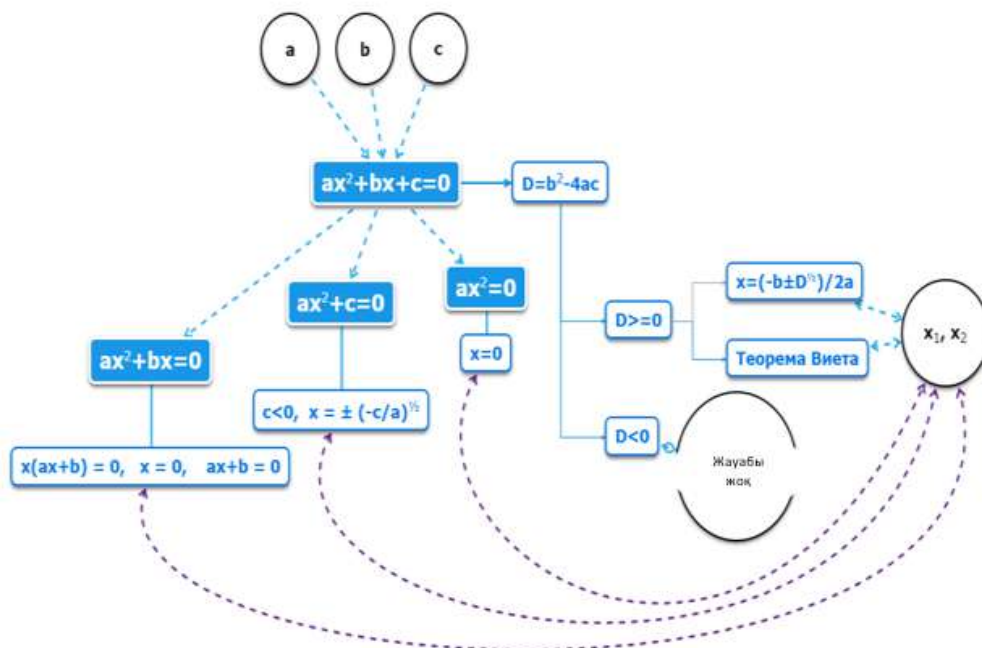
Ал сұрақтарға жауаптар мен есептерді шешу барысын білім алушының дайындық деңгейі мен оның когнитивтік қабілеттерін ескеретін бірнеше форматта ұсынуға болады [15].

1-суретте Теңдеулер тақырыбының бөлімдерінің бірінде сұрақ ағашының мысалы көрсетілген.



Сурет 1. «Екі айнымалы теңдеулер жүйесі» бөліміндегі сұрақ ағашының мысалы

Келесі позиция «мәлдір қорап» принципімен байланысты және оқытудың барлық аспектілерін визуализациялау мүмкіндігін анықтайды. Бұл принципті жүзеге асыру үшін құрылымды-менталдық схемаларды қолдануға болады [8]. Мұндай схемалардың мысалдары 2-суретте көрсетілген.



Сурет 2. «Квадрат теңдеу» тақырыбындағы құрылымды-менталдық схемалар

Схемалар тақырыпты кезең-кезеңімен игеруді, алынған білімді бақылау мен өзін-өзі бақылауды визуализациялауға мүмкіндік береді. Құрылымды-менталдық схемалар компьютерлік тренажерлер мен электронды репетиторды әзірлеуде маңызды рөл атқарады.

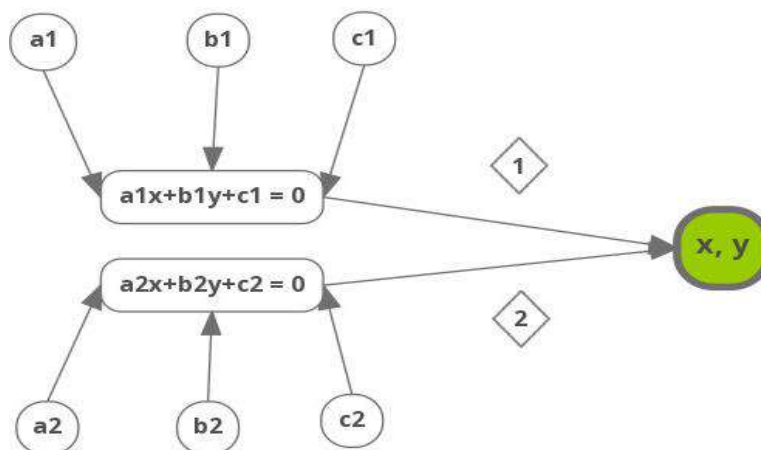
Зерттеу нәтижелері

Электрондық құралының мазмұнын ұсынудың сұрақ-тапсырма форматы және құрылымды-менталдық схемалары әртүрлі құралдардың көмегімен электронды оқулықтың дамуын

жеңілдетеді. Мысалы, оқулықты менталдық карта редакторларының ортасында (Mindomo және т.б.), сайт құрастырушы редакторлардың (қозғалтқыштардың) көмегімен жасауға болады.

Тапсырмаларды шешуге арналған қосымша бағдарламалар үлкен қызығушылық тудырады. Қарастырылып отырған «теңдеулер» тақырыбы үшін MS Windows амалдық жүйесіне арналған desktop қосымшасын ұсынуға болады. Бағдарламалық жасақтама жасау үшін көптеген құралдарды қолдайтын кеңінен қолданылатын Python бағдарламалау тілі ретінде таңдалды; соның ішінде PyQt графикалық интерфейстермен жасауға мүмкіндік беретін қосымшасы.

Бұл бағдарламалық жасақтамада таңдалған теңдеулер түрін шешудің менталдық схемасы қарастырылған. Мысалы, «Екі белгісіз квадрат теңдеулер жүйесі» тақырыбындағы схеманың түрі 3-суретте көрсетілген.



Сурет 3. Екі белгісіз квадрат теңдеулер жүйесіне арналған менталдық схема

Цифрлық технологиялар қазіргі білім беру жүйесіне, әсіресе математикалық білім беру саласына айтарлықтай әсер етуде.

Математиканы оқытудың электрондық құралдарын құрудың артықшылығы электрондық құралдар студенттерге өздеріне ыңғайлы уақытта және қарқында оқуға мүмкіндік береді. Бұл әрбір студенттің білім деңгейіне және оқу жылдамдығына бейімделуге көмектеседі. Электрондық құралдар интерактивті оқыту әдістерін енгізуге мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде оқушылардың пәнге деген қызығушылығын арттырады. Мысалы, интерактивті тапсырмалар, ойындар және визуализация құралдары арқылы математикалық ұғымдарды түсіну жеңілдейді. Цифрлық құралдар интернетке қосылған кез келген жерде оқуға мүмкіндік береді, бұл әсіресе қашықтан оқыту жағдайында өте маңызды.

Артышылықтарымен қатар, қиындықтары да кездеседі. Көптеген мектептер мен оқу орындарында тиісті техникалық жабдықтардың болмауы цифрлық құралдарды тиімді пайдалануға кедергі келтіруі мүмкін. Бұл мәселені шешу үшін мемлекет тарапынан қаржылай қолдау қажет. Мұғалімдердің цифрлық құралдарды пайдалану дағдыларының жетіспеушілігі оқыту сапасына әсер етуі мүмкін. Сондықтан мұғалімдерді үнемі оқытып, біліктіліктерін арттыру қажет. Цифрлық құралдардың мазмұны сапалы әрі оқушыларға түсінікті болуы керек. Бұл жерде педагогтар мен IT мамандарының тығыз ынтымақтастығы маңызды.

Дискуссия

Жасанды интеллект негізіндегі құралдар оқушылардың оқу үлгерімін талдап, оларға жеке ұсыныстар беруге қабілетті болады. Бұл оқыту процесін одан әрі тиімді етеді. Цифрлық және дәстүрлі оқыту әдістерін біріктіру арқылы оқыту сапасын арттыруға болады. Бұл тәсіл оқушыларға әртүрлі әдістерді қолдана отырып, пәнді жан-жақты меңгеруге мүмкіндік береді.

Цифрлық құралдар арқылы оқушылардың өмір бойы білім алуға мүмкіндігі артады. Оқу процесі мектеп қабырғасымен шектелмей, әрбір адамның қажеттіліктеріне сәйкес жүргізіледі.

Математикалық білім беруді цифрландыру білім беру процесін жетілдірудің маңызды кадамдарының бірі болып табылады. Электрондық құралдарды тиімді пайдалану арқылы оқушылардың математикалық білімін тереңдетуге, олардың логикалық ойлау қабілетін дамытуға және оқу процесін қызықты әрі қолжетімді етуге болады. Алайда, бұл процесті сәтті жүзеге асыру үшін техникалық инфрақұрылым, мұғалімдердің дайындығы және мазмұн сапасы сияқты мәселелерді шешу қажет.

Қорытынды

Осылайша, электрондық білім беру ресурстарын әзірлеу үшін оқу пәндерінің мазмұнын іріктеудің жаңа форматы ұсынылды. Құрылымдық-менталдық схемалары мен сұрақ-тапсырма формасын қолдана отырып, тақырып мазмұнының тік сабақтастығы негізінде инновациялық электрондық құралдарын құру тәсілі негізделген.

Сынақ прототипі ретінде: инверттелген оқулық форматы бар «теңдеулер» мектеп тақырыптары бойынша электрондық құралы; теңдеулерді шешуге үйрету бойынша автоматтандырылған тренажерлер; интерактивті энциклопедия түріндегі электрондық құрал әзірленді.

Ұсынылған әзірлемелер теңдеулерді шешуді үйренуге арналған автоматтандырылған тренажерді қамтитын интерактивті «төңкерілген» энциклопедия түріндегі «теңдеулер» тақырыбы бойынша электрондық құралды құрудың инновациялық әдісін қолданудың орынды екенін көрсетті. Оқулықтың ерекшелігі оның тік сабақтастығында. Оқулықта 6-дан 11-сыныпқа дейінгі «теңдеулер сызығы» бойынша оқу материалы бар. Алынған сауалнама құрылған электрондық құралдары кешенінің дидактикалық қасиеттеріне жоғары баға берді.

Мектеп математикасының «Теңдеулер» тақырыбын мысалға ала отырып, оқытудың әзірленген инновациялық құралдары оқушылардың өзін-өзі оқытуы мен өзін-өзі бақылауы үшін инновациялық электронды оқулықтар жасау мүмкіндігі мен қажеттілігін көрсетті. Ұсынылған тәсілді мектеп пен университеттегі кәсіби пәндердің басқа мазмұндық бағыттары үшін қолдануға болады.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

[1] Ibrayeva.A. Assessment of digital transformation in the education system of Kazakhstan / A. Ibrayeva, S. Yegemberdiyeva //Экономическая серия Вестника ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. № 4, 2022, – P. 152-160

[2] Agafonova S. V., Bryukhova N. G., Kaigorodov B. V., Kuznetsova Yu. V. Digital Transformation of Education for Sustainability of the Caspian Region // Galactica Media: Journal of Media Studies. – Vol. 4, №3, 2022, – P. 208-222

[3] Pak N. Mental Technology of Digital Transformation of Education AIP Conference Proceedingst, №2, 2022 647, 040023

[4] Асауленко Е.В. Автоматизированная система диагностики умения решать расчетные задачи на основе структурно-ментальных схем / Е.В. Асауленко // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. Т. 17. – № 1, 2020, – С. 49-62

[5] Найссер У. Познание и реальность. Смысл и принципы когнитивной психологии. Пер. с англ. В.В. Лучкова / У. Найссер. М.: Прогресс,- 1981, – С. 232

[6] Eppler, Martin J. A comparison between concept maps, mind maps, conceptual diagrams, and visual metaphors as complementary tools for knowledge construction and sharing / Martin J. Eppler // Information Visualization. № 5, 2006, – С. 202- 210

[7] Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине / Н. Винер. – 2-е издание – М.: Наука; Главная редакция изданий для зарубежных стран, 1983, – С. 344

[8] Асауленко Е.В. Искусственный интеллект с позиции ментальных схем / Е.В. Асауленко // Открытое образование. – № 4, 2014, – С. 50-54

[9] West, Darrell M. *Using Technology to Personalize Learning and Assess Students in Real-Time* / Darrell M. West. – Washington : Center of technology innovations at Brookings, 2011, – С. 19

[10] Бархатова Д. А. Педагогический дизайн «перевернутых» учебных ресурсов для домашнего изучения / Д. А. Бархатова, Л. Б. Хегай, Н. И. Пак // *Перспективы науки и образования*. № 6(60), 2022, – С. 244-262. <http://doi.org/10.32744/pse.2022.6.14>

[11] Буторин Д.Н. Автоматизированная система распознавания алгоритма решения математической задачи // *Открытое образование*. —№ 5 (106), 2014, – С. 28-34

[12] Evgeny Asaulenko, Nikolai Pak, Yesen Bidaibekov and Bauyrzhan Nauzarbayev. *An approach to automating the process of teaching students to solve computational problems - European proceedings of social and behavioural sciences-epsbs volume 116 - icesst 2021*. – P. 384-396 doi: 10.15405/epsbs.2021.09.02.42 ;

[13] Габдулганеева, Д.М., Мамонтова, М.Д. Обучение решению и диагностика хода решения математических задач на основе ментальных схем /Д.М. Габдулганеева, М.Д. Мамонтова // *Актуальные проблемы информатики и информационных технологий в образовании: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием в рамках XVI международного научно-практического форума студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука XXI века»*, 2016, – С. 51-54

[14] Слепченко, Н.Н., Цибульский, Г.М., Ямских, Т.Н. От модели обучаемого к его адаптации в интеллектуальных обучающих системах / Н.Н. Слепченко, Г.М. Цибульский, Т.Н. Ямских // *Информатизация образования и науки*. – № 1 (37), 2018, – С.68-79

[15] Пак Н.И., Назарбаев Б.А. Подходы к трансформации цифровых образовательных ресурсов для домашнего обучения// *Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова*. № 3 (59), 2021, – С. 113-119

[16] Bray Barbara A., McClaskey Kathleen A. *Make Learning Personal: The What, Who, WOW, When, and Why* / Barbara A Bray, Kathleen A. McClaskey. – Thousand Oaks: SAGE Publications, 2014, – С. 288.

[17] Бархатова Д.А., Ломаско П.С., Симонова А.Л., Хегай Л.Б. Образовательная платформа «перевернутых» учебных ресурсов для дистанционного обучения школьников – Монография, Красноярск, РИО КГПУ, 2022, 118 с.

[18] Чернышев Д.А. *Как люди думают?* / Дмитрий Чернышев. М.: Манн, Иванов и Фебер, 2013, 304 с

[19] Габриэль Вайнберг, Лорен Маккан *Супермышление: как обходить ментальные ловушки и принимать эффективные решения* – Москва: Эксмо, 2021, – С. 480

[20] Ошанова Н.Т., Буканова А.К. Оқу үдерісінде қолданылатын ментальды карталар// *Қазақстанның ғылымы мен өмірі «Педагогика сериясы»*. Нұрсұлтан. - № 10/2 (142), 2020, - Б. 259-263

References

[1] Ibrayeva.A. (2022) *Assessment of digital transformation in the education system of Kazakhstan* / A. Ibrayeva, S. Yegemberdiyeva. *Экономическая серия Вестника ЕНУ им. Л.Н. Гумилева*. No. 4. 152-160. (In Russian)

[2] Agafonova S. V., Bryukhova N. G., Kaigorodov B. V., Kuznetsova Yu. V (2022) *Digital Transformation of Education for Sustainability of the Caspian Region*. *Galactica Media: Journal of Media Studies*. Vol. 4, No. 3. 208-222.

[3] Pak N. (2022) *Mental Technology of Digital Transformation of Education* AIP Conference Proceedingst, 2647, 040023

[4] Asaulenko E.V. (2020) *Avtomatizirovannaya sistema diagnostiki umeniya reshat' raschetnye zadachi na osnove strukturno-mental'nyh skhem* [Automated diagnostic system for the ability to solve computational problems based on structural-mental schemes]. *Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Informatizaciya obrazovaniya*. T. 17. № 1. 49 62. (In Russian)

[5] Najsser U. (1981) *Poznanie i real'nost'. Smysl i principy kognitivnoj psihologii* [Cognition and Reality. The Meaning and Principles of Cognitive Psychology]. *Per. s angl. V.V. Luchkova. U. Najsser. M.: Progress.*,. 232. (In Russian)

[6] Eppler, Martin J. (2006) *A comparison between concept maps, mind maps, conceptual diagrams, and visual metaphors as complementary tools for knowledge construction and sharing*. *Martin J. Eppler Information Visualization*. № 5. 202- 210. (In Russian)

- [7] Viner N. (1983) *Kibernetika, ili upravlenie i svyaz' v zhivotnom i mashine* [Cybernetics, or control and communication in animals and machines]. N. Viner. 2-e izdanie M.: Nauka; Glavnaya redakciya izdanij dlya zarubezhnyh stran., 344. (In Russian)
- [8] Asaulenko E.V. (2014) *Iskusstvennyj intellekt s pozicii mental'nyh skhem* [Artificial Intelligence from the Perspective of Mental Schemes]. E.V. Asaulenko *Otkrytoe obrazovanie*. № 4. 50-54. (In Russian)
- [9] West, Darrell M. (2011) *Using Technology to Personalize Learning and Assess Students in Real-Time*. Darrell M. West. Washington : Center of technology innovations at Brookings, 19.
- [10] Barhatova D. A. (2022) *Pedagogicheskij dizajn «perevernutyh» uchebnyh resursov dlya domashnego izucheniya* [Pedagogical Design of Flipped Learning Resources for Home Study]. D. A. Barhatova, L. B. Hegaj, N. I. Pak *Perspektivy nauki i obrazovaniya*. № 6(60). S. 244-262. (In Russian) <http://doi.org/10.32744/pse.2022.6.14>
- [11] Butorin D.N. (2014) *Avtomatizirovannaya sistema raspoznavaniya algoritma resheniya matematicheskoy zadachi* [Automated system for recognizing the algorithm for solving a mathematical problem] *Otkrytoe obrazovanie*. № 5 (106). 28-34. (In Russian)
- [12] Evgeny Asaulenko, Nikolai Pak, Yesen Bidaibekov and Bauyrzhan Nauzarbayev. *An approach to automating the process of teaching students to solve computational problems - European proceedings of social and behavioural sciences-epsbs volume 116 - ices2021*. pages 384-396 doi: 10.15405/epsbs.2021.09.02.42 ;
- [13] Gabdulganeeva, D.M., Mamontova, M.D. (2016) *Obuchenie resheniyu i diagnostika hoda resheniya matematicheskikh zadach na osnove mental'nyh skhem* [Teaching solutions and diagnostics of the progress of solving mathematical problems based on mental schemes]. D.M. Gabdulganeeva, M.D. Mamontova //Aktual'nye problemy informatiki i informacionnyh tekhnologij v obrazovanii: materialy Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem v ramkah XVI mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma studentov, aspirantov i molodyh uchenykh «Molodezh' i nauka XXI veka» . 51-54. (In Russian)
- [14] Slepchenko, N.N., Cibul'skij, G.M., Yamskih, T.N.(2018) *Ot modeli obuchaemogo k ego adaptacii v intellektual'nyh obuchayushchih sistemah* [From the model of the learner to its adaptation in intelligent learning systems]. N.N. Slepchenko, G.M. Cibul'skij, T.N. Yamskih, *Informatizaciya obrazovaniya i nauki*. № 1 (37). 68-79. (In Russian)
- [15] Pak N.I., Nazarbaev B.A. (2021) *Podhody k transformacii cifrovyyh obrazovatel'nyh resursov dlya domashnego obucheniya* [Approaches to transforming digital educational resources for home learning]. *Izvestiya Kyrgyzskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I. Razzakova*. № 3 (59). 113-119. (In Russian)
- [16] Bray Barbara A., McClaskey Kathleen A. (2014) *Make Learning Personal: The What, Who, WOW, When, and Why*, Barbara A Bray, Kathleen A. McClaskey. Thousand Oaks: SAGE Publications, 288 .
- [17] Barhatova D.A., Lomasko P.S., Simonova A.L., Hegaj L.B. (2022) *Obrazovatel'naya platforma «perevernutyh» uchebnyh resursov dlya distancionnogo obucheniya shkol'nikov* [Educational platform of "flipped" learning resources for distance learning of schoolchildren]. *Monografiya, Krasnoyarsk, RIO KGPU*, 118. (In Russian)
- [18] CHernyshev D.A. (2013) *Kak lyudi dumayut?* [How do people think?]. Dmitriy CHernyshev. M.: Mann, Ivanov i Feber, 304. (In Russian)
- [19] Gabrieel' Vajnberg, Loren Makkan (2021) *Supermyshlenie: kak obhodit' mental'nye lovushki i prinimat' effektivnye resheniya* [Superthinking: How to Avoid Mental Traps and Make Effective Decisions]. Moskva: Eksmo, 480. (In Russian)
- [20] Oshanova N.T., Bukanova A.K. (2020) *Oku yderisinde koldanylatyn mentaldy kartalar* [Mental maps used in the educational process]. *Kazakstannyn gylymy men omiri «Pedagogika seriyasy»*. Nursultan. № 10/2 (142). 259-263. (In Kazakh)

М.Ж.Мынжасарова*

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

*e-mail: mynzhasarova.m@mail.ru

МЕКТЕП ПЕН ЖОҒАРЫ ОҚУ ОРНЫНДА ГЕОМЕТРИЯ ПӘНІН ОҚЫТУДЫҢ САБАҚТАСТЫҒЫ

Аңдатпа

Мектепте әр оқушыға уақыт талабына сай сапалы геометриялық білім берілуі қажет. Себебі геометрия пәні жоғары оқу орнында білім алудың алғашқы оқу жылында физика-математикалық бағытта жеке пән ретінде, ал техникалық бағытта жоғары математиканың құрамындағы негізгі пәндердің бірі ретінде оқытылады. Бірінші курс білім алушылары бұл пәнді игеруде қиындықтарға тап болады. Себебі біріншіден білім алушының геометриялық білімі жеткілікті жоғары емес, екіншіден жоғары оқу орнында оқытуды ұйымдастыру формасының мектептен өзгешелігі. Мақалада орта және жоғары оқу орны білім беру деңгейлерінде геометрия пәнін оқытудың сабақтастығы мәселесі қарастырылды. Сабақтастық екі жақты, яғни мазмұнды және процессуалды тұрғыда кешенді түрде қарауды қажет етеді. Мазмұн сабақтастығын анықтауда аталған білім беру деңгейлеріне арналған геометрия пәнінің оқу бағдарламаларына талдау жасалды. Талдау нәтижесінде геометрия пәнінің бағдарламалары талаптарындағы перспективті-сабақтастық байланыстар анықталды. Процессуалды сабақтастық тұрғысынан аталған білім беру деңгейлерінде геометрия пәнін оқыту үдерісін ұйымдастыру салыстырылды. Мақалада бірінші курс білім алушылары үшін геометрия пәнін оқытуда сабақтастықты жүзеге асыруға бағытталған әдістемелік нұсқаулар ұсынылды.

Түйін сөздер: геометриялық білім беру, мазмұнды және процессуалды сабақтастық, білім беру бағдарламасы, орта және жоғары оқу орны білім беру деңгейлерінде геометриялық білімнің сабақтастығы, жоғары оқу орнында геометрияны оқыту үдерісін ұйымдастыру.

М.Ж.Мынжасарова

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

ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ ПРЕПОДАВАНИЯ ГЕОМЕТРИИ В ШКОЛЕ И ВУЗЕ

Аннотация

В школе каждому ученику необходимо обеспечить качественное геометрическое образование, отвечающее требованиям времени. Это связано с тем, что геометрия преподается в первом учебном году обучения в высшем учебном заведении как отдельный предмет в физико-математическом направлении, а в техническом - как один из основных предметов в составе высшей математики. Первокурсники сталкиваются с трудностями в освоении данной дисциплины. Потому что, во-первых, геометрические знания обучающегося недостаточно высоки, во-вторых, форма организации обучения в вузе отличается от школьной. В статье рассмотрена проблема преемственности преподавания геометрии на уровне среднего и высшего образования. Преемственность требует комплексного подхода в двустороннем, то есть содержательном и процессуальном плане. В определении преемственности содержания проведен анализ учебных программ по геометрии для указанных уровней образования. В результате анализа выявлены перспективно-преемственные связи в требованиях программ дисциплины геометрия. С точки зрения процессуальной преемственности сравнивалась организация процесса преподавания геометрии на указанных уровнях образования. В статье представлены методические указания, направленные на реализацию преемственности в преподавании геометрии для первокурсников.

Ключевые слова: геометрическое образование, содержательная и процессуальная преемственность, образовательная программа, преемственность геометрических знаний на уровне среднего и высшего образования, организация процесса обучения геометрии в вузе.

M.Zh. Mynzhasarova

Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

CONTINUITY OF GEOMETRY TEACHING AT SCHOOL AND UNIVERSITY

Abstract

At school, every student needs to be provided with a high-quality geometric education that meets the requirements of the time. This is due to the fact that geometry is taught in the first academic year of higher education as a separate subject in the field of physics and mathematics, and in technical - as one of the main subjects in higher mathematics. First-year students face difficulties in mastering this discipline. Because, firstly, the student's geometric knowledge is not high enough, and secondly, the form of organization of education at the university differs from the school one. The article addresses the issue of ensuring continuity in the teaching of geometry across secondary and higher education. Achieving continuity necessitates a thorough approach that encompasses both content and procedural aspects. To determine content continuity, geometry curricula at these educational levels were analyzed. This analysis uncovered prospective continuity relationships within the geometry program requirements. Regarding procedural continuity, the methods of organizing the teaching process for geometry at these educational stages were compared. The article provides methodological recommendations designed to facilitate continuity in geometry instruction for first-year university students.

Keywords: geometric education, substantive and procedural continuity, educational program, the continuity of geometric knowledge at the level of secondary and higher education, organization of the geometry learning process at the university.

Негізгі ережелер

Геометрия орта және жоғары оқу орны білім беру деңгейлерінде оқытылатын негізгі пәндердің бірі болып саналады. Сондықтан геометрия курсын оқытудың болашақ маманның математикалық дайындығына қажеттілігін түсініп, оқушы мен білім алушыға геометриялық білім беруде сабақтастықты жүзеге асыру негізінде терең білім берілуі қажет. Орта және жоғары оқу орны білім беру деңгейлерінде геометрия курсын оқытуда сабақтастықты мазмұнды және процессуалды дамытудың кешенді тәсілі олардың оқу нәтижелерін жақсартуға мүмкіндік береді.

Кіріспе

Білім берудің жаңа парадигмасы білім жүйесін бүтіндей игерген тұлғаны толыққанды дамыту міндетіне басымдық танытады. Тұлға белгілі бір білім мен іскерлік дағдыларды игеріп қана қоймай, сонымен қатар өмірде кездесетін маңызды мәселелерді тиімді шеше алуы қажет. Жеке тұлғаны қалыптастыру үдерісі қоғамда және әртүрлі ортада өзін-өзі тануына және өзіндік орнын табуға мүмкіндік беретін білім, тәжірибе және әртүрлі қабілеттерді меңгертуге бағытталған. Білім жүйесінің алдында мансабына қажетті ең жақсы білім мен құзыреттілікті қамтамасыз ету үшін болашақ маманның дайындығы қандай болуы тиіс? Әрбір білім алушының бастапқы білімін, дағдыларын және оқуға әртүрлі қабілетін танып білу және қарқынды оқыту үдерісі мен тәжірибесін қамтамасыз ету үшін не істеу керек? деген сұрақтар туындайды.

Үзіліссіз білім беруді біріншіден білім алушылардың таңдау жасауының, екіншіден білім беру жүйесінің әрбір деңгейіндегі сабақтастықты қамтамасыз ететін барлық компоненттерінің келісілген әрі перспективті байланысының іске асырылуы деп түсінуге болады.

Сабақтастық үзіліссіз білім берудегі педагогикалық үдерісте оңтайлы жағдай туғызу үшін керек. «Сабақтастық» ұғымы ғылымның әртүрлі салаларында қолданылады, әрі көп мағыналы түсінік боп табылады. Сабақтастық мәселесі білім беру жүйесінің екі деңгейінің түйіскен жерінде, атап айтқанда орта және жоғары оқу орны арасында айқын көрінетінін соңғы жылдардағы білім беру саласындағы ғылыми зерттеулердің нәтижелері көрсетті, ал оқыту тәжірибесі растады.

Геометрияны зерттеу кеңістіктік елестетуді және логикалық ойлауды дамытуға ықпал етеді, сондықтан ол жоғары даму әлеуетіне ие. Сонымен қатар, беделді ғылыми және

педагогикалық қоғамның пікірінше, оқушылардың да, білім алушылардың да геометриялық білім деңгейі бүгінде жеткілікті жоғары емес. Мектепте оқушылардың геометрия курсы оқу үдерісінде пәннің өзіндік ерекшелігіне қарай қиындықтарға кездесуі, жоғары оқу орнында геометрияны оқытып-үйретуге бөлінетін кредит санының қысқаруы сияқты геометриялық білім берудегі мәселелер жиі айтылып жүр.

Орта және жоғары оқу орны білім беру деңгейлерінде геометриялық білім берудің әлсіреуі, геометрияны оқытуды білікті маманның математикалық дайындығының үздіксіз үдерісі ретінде қарастыру қажеттілігі оқушы мен білім алушыға геометриялық білім беруде сабақтастықты жүзеге асырудың маңыздылығын анықтады.

Зерттеу әдіснамасы

Математиканы оқытудағы сабақтастықты қамтамасыз ету мәселесіне психологтар, педагогтар және әдіскерлердің зерттеулері бағытталған. Математиканы оқытудағы сабақтастық мәселесінің әр түрлі аспектілері Ю.М. Колягин, А.М. Пышкало, А.А. Столяр, Р.С. Черкасов, Г.Д. Глейзер, Н.Я. Виленкин, А.Г. Мордкович, Л.П. Стойлова, В.А. Гусев, Г.Л. Луканкин В.М. Монахов, А.А. Люблинская және т.б. белгілі ғалымдармен зерттелген.

Математикалық білім берудегі сабақтастық мәселесі әр түрлі қырынан қарастырылған. Атап айтқанда:

- математиканы оқыту мазмұны, құралдары, формасы мен әдістерінің сабақтастығын З.А. Магомеддибиров, Н.Л. Гребенникова және т.б. дидактикалық тұрғыдан талдаған;

- баланың психикалық функциясының дамуы мен оқу іс-әрекетін қалыптастыру заңдылықтарын байланыстыра отырып А.Б. Воронцов, А.А. Леонтьев және т.б. сабақтастықты психологиялық тұрғыдан зерттеген;

- математикалық ұғымдарды қалыптастыруда сабақтастықты жүзеге асыруды Г.В. Воителева, З.М. Шугаипова, Н.И. Ларина, О.Э. Городиченко және т.б. әдістемелік тұрғыдан саралаған.

Отандық ғалымдар Т.Қ. Оспанов, М.А. Мұбараковтың еңбектерінде және т.б. ғылыми зерттеу жұмыстарда сабақтастық мәселесі әр қырынан қарастырылған. Т.Қ. Оспановтың зерттеуінде дидактика тұрғысынан математиканы оқытудағы сабақтастық мәселесінің теориялық және практикалық қырларына баса көңіл бөлінген [1]. Үздіксіз білім беру жүйесінде математиканы оқытуда сабақтастықты жүзеге асырудың ғылыми-әдістемелік негізін анықтау мәселесіне М.А. Мұбараковтың зерттеу жұмысы арналған [2].

Математиканы оқытудағы сабақтастық мәселесінің қазіргі уақытта да өзектілігін келесі екі зерттеу жұмысынан көруге болады. Бірінші зерттеу жұмысында орта және жоғары оқу орны білім беру деңгейлері арасында математиканы оқытуда сабақтастықты іске асыруға қажетті бірнеше шарттар ұсынылған:

- математикалық білім беруде үздіксіздік принципін сақтау және орта және жоғары оқу орны білім беру деңгейлері арасында ынтымақтастықты орнату;

- геометрия курсына «Аналитикалық геометрия» курсының толық оқытылмайтынын назарда ұстау және екінші ретті сызықтар мен координаталар әдісін оқытуда мектепте қарастырылған көптеген ұғымдардың шектеулігін ескеру;

- таңдау курстарында студенттердің білімдерін тереңдету және пәнаралық байланысты орнату [3]. Екінші зерттеу жұмысында сабақтастықты іске асыру үшін мазмұндық байланыс құру қажеттілігі ұсынылған. Мектеп бағдарламаларына енгізілген өзгерістердің жоғары оқу орны бағдарламаларында көрініс тауып, бағдарламалар мазмұнында сабақтастық сақталу қажет. Болашақ математика мұғалімдерін даярлауға арналған іргелі пәндердің әдістемелік және логикалық байланыстарын қарастыруды, білім беру бағдарламаларын жан-жақты талдауды ұсынады [4].

Жоғарыда аталған ғалымдардың еңбектерін талдау нәтижесі орта және жоғары оқу орны білім беру деңгейлерінде геометрияны оқытудың сабақтастықтығына арнайы зерттеудің қажеттігін көрсетеді.

Зерттеу нәтижелері

Сабақтастық мәселесі әрдайым ғалымдардың назарын аударды. Философтар Е.А. Баллер, Л.П. Депенчук және басқалар сабақтастықты барлық ғылымдарға тән жалпы философиялық категория деп санайды. Оқытудағы сабақтастықты оқу пәнінің бөлімдері арасында дұрыс қатынастар мен қажетті байланыстарды орнату, оқытудың әрбір кезеңінде оқушылардың білімі мен дағдыларына нақты талаптар қою, оқу материалын беру және түсіндіру логикасы, сондай-ақ оны меңгеруді ұйымдастыру тәсілдері деп анықтауға болады. Сабақтастық мәселесіне кешенді түрде, яғни мазмұнды және процессуалды тұрғыда қарастыру қажет.

Мазмұнды сабақтастық:

- 1) ұғымдарды бірдей түсіндіруде, терминологияда;
- 2) ұғымдарды дамытуда абстракция деңгейін біртіндеп көтеруде;
- 3) ұғымдарды жүйелі оқытып-үйретуде;
- 4) оқытудың тірек нәтижелерін қолдануда, өзектендіруде;
- 5) оқытудың перспективті сипатында байқалады.

Процессуалды құрамды сабақтастық өзінің құрамына оқытудың формалары, құралдары мен әдістерін, оқытудың тәсілдер мен әдістерін енгізеді [5, 206].

Орта және жоғары оқу орны білім беру деңгейлерінде геометрия пәнін оқытуда мазмұнды сабақтастық қарастырады:

- геометрия мен мектеп математикасының басқа ұғымдары арасындағы сабақтастықты қамтамасыз ету;
- геометрияны оқытып-үйрету кезеңдері арасында сабақтастықты қамтамасыз ету;
- оқыту деңгейлерінің арасындағы (бастауыш – негізгі орта; негізгі орта – орта, орта – жоғары оқу орны) сабақтастықты жүзеге асыру.

Білім беру жүйесінің қай деңгейін алсақ та, ондағы оқытудың табысты және нәтижелі болуы алдымен, өзінің алдындағы деңгейде оқыту нәтижелеріне тікелей тәуелді болады. Сондай-ақ алдыңғы деңгейде оқыту ісінде міндетті түрде баланы келесі деңгейде оқытуға дайындау маңызды болып табылады. Демек, төменнен жоғары қарағанда перспективті байланыс, ал жоғарыдан төмен қарағанда сабақтастық байланыс туралы айтуға болады. Сонымен, «сабақтастық байланыс» және «перспективті байланыс» ұғымдары бірін-бірі теріске шығармайтын, қайта бірін-бірі толықтыра түсетін, өзара кері ұғымдар болып табылады [5, 23 б]. Қандай пәнді алсақ та, оның оқыту үдерісінің нәтижелі болуына перспективті және сабақтастық байланыстар үлкен ықпал жасайды. Осы тұрғыдан алғанда оқу пәніне оқытудағы перспективті және сабақтастықтың сипатты белгілері маңызды болып табылады:

- сабақтастық – бұл оқып-үйретілетіннің бұрында оқып-үйретілгенмен байланысы, өтіліп кеткенге, белгіліге тірек;
- перспективті – бұл оқып-үйретілгеннің келесі кезеңдерде оқып-үйретілетінмен байланысын орнату;
- сабақтастық байланысты жүзеге асыру сипаты әрбір келесі кезеңдерде бұдан бұрынғы кезеңде білім алушылардың алған пәндік білім, дағды және машықтарын пайдаланудың қажеттілігімен анықталады, яғни оқытудың тірек нәтижелерін белсендіру;
- перспективті байланыс сипаты әрбір келесі кезеңде алдағы пәнге оқыту негізін қалау мүмкіндігімен анықталады, яғни болашақтың талаптарына бағдарлау;
- перспективті және сабақтастықты жүзеге асыру білімді кеңейту және тереңдету, білік пен дағдыны жетілдіру мен дамытудың қажетті шарты болып табылады;
- оқытудың белгілі бір кезеңі мен деңгейінде орнатылған осы немесе басқа байланыс салыстырмалы перспективті-сабақтастық болып табылады, яғни «жоғарыдан төмен» қарағанда тура сабақтастық байланыс, ал «төменнен жоғарыға» қарағанда – тура перспективті байланыс қарастырылады [6].

Жалпы алғанда, перспективті және сабақтастықты байланыстар геометрияны оқытудың әдістемелік жүйесінің барлық компоненттері бойынша сақталуы қажет.

Дискуссия

Орта және жоғары оқу орны білім беру деңгейлерінде геометрия пәнін оқытуда сабақтастықтың мазмұнды аспектісінің жүзеге асырылуын қарастырайық.

Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2012 жылғы 23 тамыздағы №1080 қаулысымен бекітілген Орта білім берудің (бастауыш, негізгі орта, жалпы орта білім беру) мемлекеттік жалпыға міндетті стандартына сәйкес әзірленген Негізгі орта білім беру деңгейінің 7-9-сыныптарына арналған «Геометрия» пәнінен жаңартылған мазмұндағы үлгілік оқу бағдарламаларына талдау жасалды.

Оқу бағдарламасының мақсаты - «Геометрия» пәнінің мазмұнын сапалы игеруді қамтамасыз ету, оқушылардың функционалдық сауаттылығын қалыптастыру, сонымен қатар басқа пәндермен кіріктіре отырып, жалпы адами құндылықтар негізінде және ұлттық мәдениеттің озық салт-дәстүрлері арқылы оқушылардың зияткерлік деңгейін дамыту [7].

7-9 сыныптардың «Геометрия» пәнінің базалық білім мазмұны келесі тараулардан тұрады (Кесте 1).

Кесте 1. 7-9 сыныптар «Геометрия» пәнінің базалық білім мазмұны

Сынып	Тараулардың атауы			
	1	2	3	4
7-сынып	Геометрияның алғашқы мәліметтері	Үшбұрыштар	Түзулердің өзара орналасуы	Шеңбер. Геометриялық салулар
8-сынып	Көпбұрыштар. Төртбұрыштарды зерттеу	Тікбұрышты үшбұрыштың қабырғалары мен бұрыштары арасындағы қатынастар	Аудан	Жазықтықтағы тікбұрышты координаталар жүйесі
9-сынып	Жазықтықтағы векторлар	Жазықтықта түрлендіру	Үшбұрыштарды шешу	Шеңбер. Дұрыс көпбұрыштар

Жалпы орта білім беру деңгейінің жаратылыстану-математика бағытындағы 10-11-сыныптарына арналған «Геометрия» пәнінен жаңартылған мазмұндағы үлгілік оқу бағдарламаларына талдау жасалды [8].

10-11 сыныптардың «Геометрия» пәнінің базалық білім мазмұны бірнеше тараулардан тұрады (Кесте 2).

Кесте 2. 10-11 сыныптар «Геометрия» пәнінің базалық білім мазмұны

Сынып	Тараулардың атауы			
	1	2	3	4
10-сынып	Стереометрия аксиомалары. Кеңістіктегі параллельдік	Кеңістіктегі перпендикулярлық	Кеңістіктегі тікбұрышты координаталар жүйесі және векторлар	
11-сынып	Көпжақтар	Кеңістіктегі түзу мен жазықтық теңдеулерінің қолданылуы	Айналу денелері және олардың элементтері	Денелердің көлемдері

«Геометрия» пәнінің білім мазмұны келесі бөлімдерге бөлінген (Сурет 1). Аталған бөлімдер күтілетін нәтижелер сыныптар бойынша оқыту мақсаттарынан құралған бөлімшелерден тұрады.

Оқу бағдарламасы 7-9 және 10-11 сыныптарға арналған «Геометрия» оқу пәнінен жаңартылған мазмұндағы үлгілік оқу бағдарламасының ұзақ мерзімді жоспарына сәйкес жүзеге асырылады.



Сурет 1. 7-11 сыныптар «Геометрия» пәнінің мазмұны

Академиялық еркіндіктің аясында ЖОО білім бағдарламалары жүйелі түрде жаңартылып отырады және кафедралардың таңдау компоненті пәндерінің мазмұнын өз бетінше анықтауына мүмкіндік береді. Білім беру бағдарламаларының мазмұны жалпы білім беру пәндері, базалық пәндер, кәсіптендіру пәндерінен тұрады және олар міндетті компонент пен таңдау компоненті деп екіге бөлінеді. «6B05401-Математика» мамандығы бойынша білім алушыларға базалық пән «Аналитикалық геометрия» (5 кредит) таңдау компонентінің пәні ретінде оқытылады [9].

«Аналитикалық геометрия» пәні физика-математикалық бағыттағы мамандарды дайындауда басты пәндердің бірі болып табылады. Бұл пән бірінші курс білім алушыларына оқытылатын іргелі пәндердің қатарына жатады. Болашақ математика маманының кәсіби құзыреттілігін қалыптастыруда маңызды роль атқарады. Білім алушыларды геометрияның негізгі ұғымдарымен және басқа пәндерді оқуда қолдануға қажетті әдістермен таныстыру, білім алушыларға координаталар әдісін, анықтауыштарды есептеу арқылы геометриялық есептерді шығаруды үйрету, түзу мен жазықтықтың теңдеулерін зерттеу арқылы олардың өзара орналасуын анықтауды, екінші ретті сызықтар мен беттерді канондық теңдеулері арқылы зерттеп, олардың координаталық өстер мен жазықтықтармен қиылысуын анықтап, кескіндеуді үйретеді.

Математикалық энциклопедиялық сөздікте аналитикалық геометрия «геометриялық нысандар координаттар әдісі негізінде алгебраның құралдарымен қарастырылатын геометрия бөлімі» дегенді білдіреді.

Аналитикалық геометрияның негізінде координаттар әдісін қолданып геометриялық нысандарды зерттеу жатыр. Бұл әдісті XVII ғасырда француз математиктері Рене Декарт пен Пьер Ферма ұсынған. Бұл әдіс геометриялық фигураларды нүктелердің координаталары арасындағы байланыс арқылы зерттеуге мүмкіндік береді. Яғни, кез келген геометриялық фигураны бір геометриялық шартты қанағаттандыратын нүктелер жиыны ретінде қарастыруға болады, ал бұл шарт нүкте координаталары x пен y байланыстыратын теңдеу түрінде жазылады. Аналитикалық геометрияның негізгі тәсілі осы теңдеу арқылы жазылған фигураның қасиеттерін алгебраның көмегімен зерттеу болып табылады.

Аналитикалық геометрияға арналған алғашқы жүйелі оқулықтардың бірі Гийом де Лопиталдың «Анықталған және анықталмаған теңдеулерді шешуге арналған коникалық қималар жайлы аналитикалық трактат» атты еңбегі саналады. Бұл еңбекте координаттар әдісі қолданылып, коникалық қималар мен олардың қасиеттері талданады.

Аналитикалық геометрияның көмегімен геометриялық фигуралардың көптеген қасиеттері зерттеледі. Аналитикалық геометрияның маңызды бір артықшылығы – геометриялық мәселелерді алгебралық теңдеулер арқылы шешуге мүмкіндік береді. Бұл әдіс көптеген күрделі геометриялық мәселелерді оңай шешуге және түрлі геометриялық фигуралардың қасиеттерін жан-жақты зерттеуге жол ашады [10].

«Аналитикалық геометрия» пәнінің негізгі мақсаты - білім алушыларға негізгі геометриялық ұғымдар мен түсініктерді таныстыру және нысандардың геометриялық қасиеттерін аналитикалық әдістермен зерттеуді үйрету.

«Аналитикалық геометрия» пәнінің мазмұны екі бөлімнен тұрады:

1. Жазықтықтағы аналитикалық геометрия;
2. Кеңістіктегі аналитикалық геометрия.

«Аналитикалық геометрия» пәнінің білім мазмұны бірнеше тараулардан тұрады (Кесте 3).

Кесте 3. ЖОО-ғы «Аналитикалық геометрия» пәнінің мазмұны

Бөлім	Тараулардың атауы		
	1	2	3
Жазықтықтағы аналитикалық геометрия	Координаттарды түрлендіру	Жазықтықтағы түзулер	Екінші ретті сызықтар
Кеңістіктегі аналитикалық геометрия	Векторлық алгебра элементтері	Кеңістіктегі түзулер мен жазықтықтар	Екінші ретті беттер

Геометрияны оқытуда сабақтастықты жүзеге асыру негізінен оқыту мазмұнына, бағдарламаларда нақтылануына, сондай-ақ оқулықтарда іске асырылуына байланысты. Оқу бағдарламаларын талдау нәтижелері келесі кестелерде келтірілген (Кесте 4 және Кесте 5).

Кесте 4. 7-11 сыныптар геометрия пәнінің бағдарламалары талаптарындағы перспективті-сабақтастық байланыстар [7, 8]

Оқыту мазмұны	7-9 сыныптың геометрия курсымен сабақтастық байланысты қамтамасыз ететін білім, білік және дағдысына қойылатын негізгі талаптар	10-11 сыныптар оқушыларының геометриялық дайындығына қойылатын талаптар	Салыстыру нәтижесі
Геометриялық фигуралар туралы түсінік	қарапайым фигуралардың анықтамаларын білу, оларды өлшеу және салу; сыбайлас және вертикаль бұрыштар; биссектриса және перпендикуляр, сондай-ақ олардың қасиеттерін білу; үшбұрыштар және олардың түрлері; үшбұрыштың биссектрисалары, медиана-лары, биіктіктері анықтамаларын білу, оларды салып білу; үшбұрыштар теңдігінің белгілерін білу, есептерді шығаруда осы белгілерді қолдану; шеңбер, дөңгелек және олардың элементтері мен бөліктерінің анықтама-лары мен қасиеттерін білу; төртбұрыш түрлері мен көпбұрыштар анықтамасын, қасиеттері мен белгілерін білу; шеңбер доғасының ұзындығы, сектор мен сегмент ауданының формуласын қорыту және есептер шығаруда қолдану.	тетраэдр, параллелепипед, тікбұрышты параллелепипед элементтерін және қасиет-терін білуі тиіс; көпжақты бұрыш, геометрия-лық дене ұғымдарын білуі тиіс; көпжақтар және олардың элементтерін, түрлерін білуі, кескіндей алуы тиіс; айналу денелері және олардың элементтерін, түрлерін білуі тиіс; айналу денелерінің жазбасын, бүйір және толық беттерінің аудандарын табуды меңгеруі тиіс.	даму бар

<p>Геометриялық фигуралардың өзара орналасуы</p>	<p>жазықтықтағы түзулердің параллельдік белгілерін білу; ішкі айқын және тұстас бұрыштарды тану; перпендикуляр түзу-лердің қасиеттерін білу; шеңберге жүргізілген жанамааның қасиеттерін білу; түзу мен шеңбердің, екі шеңбердің өзара орналасу жағдайларын талдау; үшбұрышқа, төртбұрышқа іштей және сырттай сызылған шеңберлердің қасиет-тері мен белгілерін білу, қолдану.</p>	<p>кеңістіктегі түзу мен жазық-тықтың, жазықтықтардың параллельдік, перпендикуляр-лық белгілерін және қасиеттерін білуі, қолдануы тиіс; айналу денелерінің жазықтық-пен қималарын кескіндей алу тиіс.</p>	<p>даму бар</p>
<p>Метрикалық қатынастар</p>	<p>тікбұрышты үшбұрыштағы қабырғалар мен бұрыштар арасындағы қатынас-тардың анықтамаларын білу; негізгі тригонометриялық тепе-теңдіктерді қорытып шығару және қолдану; шаршы, тіктөртбұрыш, трапеция параллелограмм, үшбұрыш, ромб, ауданы формулаларын қорыту және қолдану; екі нүктенің арақашықтығын, кесінді ортасын табу; шеңбердің және түзудің теңдеулерін білу.</p>	<p>көпжақтардың бүйір және толық бетінің аудандарын табу формулаларын қорытуы, оны есептер шығаруда қолдануы тиіс; денелер көлемдерінің жалпы қасиеттерін білуі тиіс; призма, пирамида, цилиндр, конус, шар және оның бөліктерінің көлемдерін табу-ды меңгеруі тиіс.</p>	<p>даму бар</p>
<p>Векторлар және түрлендірулер</p>	<p>жазықтықтағы вектор және оның негізгі ұғымдарының анықтамаларын білу; векторларға амалдар қолдану ережелерін білу; векторлардың коллинеарлық шартын қолдану; векторды коллинеар емес екі вектор бойынша жіктеу; жазықтықты түрлендіру, қозғалыс және олардың қасиеттерін білу; симметрия, параллель көшіру және бұру кезінде фигуралардың бейнелерін салу.</p>	<p>кеңістіктегі векторлар, амал-дар және олардың қасиет-терін, векторлардың коллинеарлық және компла-нарлық шарттарын білуі тиіс; жазықтықтың, кеңістіктегі түзудің теңдеулерін есептер шығаруда қолдануды меңгеруі тиіс.</p>	<p>даму бар</p>

Кестелерде келтірілген мәліметтерден жалпы алғанда орта және жоғары оқу орны білім беру деңгейлері бағдарламаларында геометрия бойынша білім, білік және дағдыларға қойылатын талаптарға қатысты қажетті перспективті-сабақтастық байланыстардың барын байқауға болады. Тек екінші ретті сызықтардың ішінде эллипс, гипербола, параболаға тірек болатын оқу мазмұны мектептің геометрия оқу бағдарламаларында қамтылмағанын көруге болады. Дегенмен мектептің геометрия оқулықтарын талдау барысында тек Ә.Н. Шыныбеков, Д.Ә. Шыныбеков, Р.Н. Жұмабаевтардың оқулығында екінші ретті сызықтарға қатысты материалдың бар екендігі анықталды. Бұл оқулықта екінші ретті сызықтарға қатысты негізгі ұғымдар ұсынылған және оларды анықтауға тапсырмалар берілген [11]. Сонымен қатар параболаға тірек болатын оқу мазмұнын 7-сыныпқа арналған «Алгебра» пәнінің оқулықтарынан кездестіруге болады.

Кесте 5. 10-11 сыныптар мен ЖОО геометрия пәнінің бағдарламалары талаптарындағы перспективті-сабақтастық байланыстар [8, 9]

Оқыту мазмұны	10-11 сыныптың геометрия курсымен сабақтастық байланысты қамтамасыз ететін білім, білік және дағдысына қойылатын негізгі талаптар	ЖОО студенттерінің геометриялық дайындығына қойылатын талаптар	Салыстыру нәтижесі
Геометриялық фигуралар туралы түсінік	тетраэдр, параллелепипед, тікбұрыш-ты параллелепипед анықтамаларын, элементтерін және қасиеттерін білу, кескіндей алу; көпжақ, призма, пирамида анықтама-ларын және олардың элементтерін, түрлерін білу және кескіндей алу; цилиндр, конус, сфера, шар анықтамаларын және олардың элементтерін білу, кескіндей алу.	екі векторға салынған үшбұрыш-тың, параллелограмның ауданын табу формулаларын білуі тиіс; үш векторға салынған параллелепипед, пирамида, тетраэдр көлемдерін табу формулаларын білуі тиіс; векторларға қатысты негізгі есептерді шығара алуы тиіс.	даму бар
Геометриялық фигуралардың өзара орналасуы	кеңістіктегі параллель, перпендикуляр және айқас түзулер анықтамаларын, қасиеттерін білу және кескіндей алу; түзу мен жазықтықтың, жазықтық-тардың параллельдік, перпендикулярлық белгілерін және қасиеттерін білу, есептер шығаруда қолдану; цилиндрдің, конустың шар, сфераның жазықтықпен қималарын кескіндеу; көпжақтар мен айналу денелерінің комбинацияларын жазықтықта кескіндеу.	түзу және жазықтықтың теңдеулерін білуі тиіс; екі және үш түзудің орналасуын білуі тиіс; түзулер шоғының теңдеуін білуі және қолдануы тиіс; жазықтықтар байламы мен шоғының теңдеуін білуі және қолдануы тиіс; екі, үш жазықтықтардың орналасуын білуі тиіс; түзу мен жазықтыққа қатысты негізгі есептерді шығара алуы тиіс.	даму бар
Метрикалық қатынастар	түзу мен жазықтық, жазықтықтар арасындағы бұрыштың анықтамаларын білу, кескіндей алу, шамасын табу; тікбұрышты параллелепипедтің қасиеттерін қорытып шығару; призма, пирамида, цилиндр, конустың беттерінің аудандары мен олардың көлемдерін табу формулаларын қорытып шығару, қолдану; сфера бетінің ауданын, шар мен оның бөліктерінің көлемдерін табу формулаларын білу, қолдану.	екінші ретті сызықтар мен беттердің анықтамаларын, негізгі элементтерін, қасиет-терін білуі және оларды кескіндей алуы тиіс; екінші ретті сызықтар мен беттердің канондық теңдеулерін білуі тиіс; екінші ретті сызықтар мен беттердің жалпы теңдеуін канондыққа келтіруді білуі тиіс; екінші ретті сызықтар мен беттерге қатысты негізгі есептерді шығара алуы тиіс.	тірек жоқ
Векторлар және түрлендірулер	кеңістіктегі векторлар, координата-ларымен берілген векторлар және оларға амалдар қолдануды білу; векторлардың коллинеарлық және компланарлық	векторларға қолданатын амал-дар мен координаталық әдісті білуі тиіс; векторларды көбейту түрлерін, олардың негізгі	даму бар

	<p>шартын білу; векторды үш компланар емес вектор бойынша жіктеу; жазықтықтың жалпы теңдеуін, кеңістіктегі түзудің канондық, параметрлік, екі нүкте арқылы өтетін теңдеулерін құру; нүктеден жазықтыққа дейінгі арақашықтықты, түзулер арасындағы, түзу мен жазықтық арасындағы бұрышты табу формулаларын білу және есептер шығаруда қолдану.</p>	<p>қасиеттері және есептеу формулаларының геометриялық мағынасын білуі тиіс; векторларды скаляр, векторлық және аралас көбейтуге қатысты есептерді шығаруды меңгеруі тиіс; векторларға қатысты тепе-теңдіктерді дәлелдей алуы тиіс.</p>	
--	---	---	--

Жалпы алғанда орта және жоғары оқу орны білім беру деңгейлерінде білім беру тәжірибесінде геометрияны оқытуда мазмұндық-әдістемелік байланыс бар. Тек Орта және жоғары оқу орны білім беру деңгейлерінде геометрияны оқыту үдерісін ұйымдастыруда айырмашылықтар бар.

Жоғары оқу орнында оқытудың дәріс түрі бірінші курс білім алушыларының көпшілігі үшін оқу-танымдық іс-әрекеттің салыстырмалы түрде жаңа түрі болып табылады. Дәріс материалын игеру білім алушыларға белгілі бір қиындықтар туғызады, себебі біруақытта тыңдауды, қабылдауды, түсінуді және жазуды қажет етеді. Оқыту үдерісінде әдістемелік нұсқауларды қолдануға болады, олардың негізгі мақсаты оқытудың бірінші жылындағы геометрия курсы бойынша дәрістің мазмұны мен ерекшеліктері бойынша білім алушыларды бағдарлау болып табылады.

Мұндай нұсқаулар әрбір дәріске дейін білім алушыға алдын-ала өзіндік жұмыс тапсырмасы ретінде берілуі қажет. Олар мыналарды қамтиды:

- оқытып-үйретуге арналған барлық тақырыптар тізбесі, олардың арасындағы байланыстар көрсетілген курстың құрылымдық-логикалық сызбасы;
- дәрісті тыңдау және жазу кезінде назар аудару қажет негізгі ұғымдар, маңызды жерлері ерекшеленіп көрсетілген барлық оқытып-үйретілетін тақырыптар бойынша дәріс жоспарлары;
- білім алушылардың жиі жіберетін қателіктері мен әрбір тақырыпты оқып-үйренуде туындайтын қиындықтары сипатталған нұсқаулықтар;
- алдағы дәрісте пайдаланатын бұрын өтілген материалды қайталауға арналған сұрақтар;
- оқытып-үйретілетін тақырыппен байланысты кейбір мәселелерді өз бетінше зерттеуге, мысалы, оқытып-үйретілетін материалдың мектеп геометрия курсымен байланысын анықтауға, мектеп курсының есептерін шығаруда жоғары оқу орнында үйренген әдістерді қолдануға арналған тапсырмалар.

Практикалық сабақтарда білім алушылардың негізгі іс-әрекеті - бұл есептермен жұмыс болып табылады. Жоғары оқу орнында геометрияны оқытудың қолданыстағы тәжірибесінде бұл іс-әрекет, әдетте, оқулықтар мен оқу құралдарындағы геометриялық есептерді шығарумен анықталады. Жоғары оқу орнында қолдануға ұсынылған геометриядан есептер жинақтарын талдау ұсынылған есептер мен жаттығуларының көпшілігі орта және жоғары оқу орны білім беру деңгейлері арасындағы сабақтастық байланыстарды жүзеге асыруға бағытталмағанын көрсетті [12, 13].

Сонымен бірге білім алушылардың бұрын өтілген материал мен жаңа білім арасында мазмұнды сабақтастық байланыстарын орната алмауы соңғысын ішінара меңгеруге әкеледі, бұл өз кезегінде студенттерде геометриялық материал туралы тұтас, жалпыланған білім қалыптасуға кедергі келтіреді.

Тапсырмалар мен жаттығулардың белгілі бір түрлері мазмұнды сабақтастық байланыстарды орнатуға ықпал етеді.

Олар:

- мектеп геометрия курсының білімін қайталауға және өзектендіруге;
- есептерді шығару әдістерінде мектеп геометрия курсымен байланыс орнатуға;
- геометрия бойынша білімді жалпылауға және жүйелеуге берілген тапсырмалар.

Білім алушылардың өзіндік жұмыс тапсырмалары аналитикалық геометрияның әрбір бөлімі бойынша көп нұсқалы болып құрылып және әрбір нұсқа әртүрлі деңгейлі тапсырмалардан тұратыны, сонымен қатар оларды бағалау критерийлерінің ұсынылуы әрбір бөлім бойынша студенттің білім деңгейін анықтауға толық мүмкіндік береді. Сонымен қатар кейбір тапсырмалар барлық мүмкін әдістермен орындауға берілсе, бұл да мектептің геометрия курсымен байланыс орнатуға мүмкіндік туғазытын болады.

Қорытынды

Қазіргі уақытта оқу үдерісін заман талаптарына сай білім беру мазмұнына сәйкес ұйымдастыру – жоғары оқу орнында білім берудің әдістемелік жүйесіне, әрбір білім алушыға қажет геометриялық білім беруді талап етеді.

Жоғары оқу орнында оқудың бірінші жылында білім алушылар оқитын арнайы математикалық пәндердің ішінде геометрия ерекше орын алады, бұл көбінесе осы пәннің ерекшелігімен негізделеді.

Негізгі ерекшелігі - мазмұнының мектеп геометрия курсымен тікелей байланысы, бұл аталған курс аясында орта және жоғары оқу орны білім беру деңгейлері арасындағы сабақтастықты жүзеге асыру қажеттілігін анықтайды.

Жоғары оқу орнында оқытудың алғашқы кезеңі - болашақ маманның даму үдерісіндегі маңызды кезең. Оның күрделілігі – білім алушының жеке басының құндылық-танымдық бағдарларының бүкіл жүйесін қайта құру, танымдық іс-әрекеттің жаңа әдістері мен формаларын игеру. Бірінші курс білім алушыларының көпшілігі мектепте оқытудың мазмұнынан, ұйымдастырушылық формалары мен әдістерінен, қатаң талаптарымен, оқу материалы көлемінің ұлғаюымен ерекшеленетін оқу-тәрбие жұмысының жаңа жүйесі жағдайында оқуда белгілі бір қиындықтарға тап болады. Мектеп пен ЖОО-да оқытуды ұйымдастырудың айырмашылығы олардың арасындағы сабақтастықты жүзеге асыруда қиындықтар туғызады.

Жоғары оқу орнының бірінші курс білім алушыларына геометрияны оқытуда сабақтастықтың келесі бағыттарын жүзеге асыру қажет:

- дәрістерде орта және жоғары оқу орны білім беру деңгейлері арасындағы сабақтастықты іске асыру бағыттарын ескеретін арнайы әзірленген әдістемелік ұсыныстарды қолдану арқылы;

- практикалық сабақтарда геометриялық есептердің белгілі бір түрлерін шығаруда мектеп геометрия курсының білімін қайталау және өзектендіру; есептерді шығару әдістерінде мектеп геометрия курсымен өзара байланыс орнату; геометрия бойынша білімді жалпылау және жүйелеу арқылы;

- білім алушылардың оқып-үйретілетін материалды игеруін жүйелі және мақсатты түрде бақылау арқылы.

Осылай екі өзара байланысты аспектілерде, мазмұнды және процессуалды тұрғыдан жүзеге асырылатын орта және жоғары оқу орны білім беру деңгейлері арасындағы сабақтастыққа негізделген бірінші курс білім алушыларына геометрияны оқытудың кешенді тәсілі геометрия бойынша олардың оқу нәтижелерін жақсартуға және білімі мен дағдыларының сапасын арттыруға мүмкіндік береді.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

[1] Оспанов Т.К. Перспективность и преемственность в обучении как условия активизации образовательной подготовки учащихся (на материале обучения математике младших школьников): автореф. канд. пед. наук.: 13.00.01. -Алматы, 1990.-25с.

[2] Мубаракوف А. М. Научно-педагогические основы преемственности обучения математике в системе непрерывного образования: автореф. ... докт. пед. наук.: 13.00.02. –Алматы, 2003.- 52 с.

[3] Әбілқасымова А.Е., Қасқатаева Б.Р, Тұяқов Е.А, Бажи А.А., Умиралханов А.Н. Қазақстандағы орта мектеп пен педагогикалық жогары оқу орындарында математиканы оқытудың сабақтастық мәселелері. // Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы РҚБ-нің Хабаршысы -2023. - №4(404). б.7-25. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1467.531>

[4] Мадияров Н.К., Турсынқұлова Э.А., Көкеш А.Н. Болашақ математика мұғалімдерін даярлау үдерісіндегі мектеп пен ЖОО-дағы геометриялық салу есептері мазмұнының сабақтастығы // Педагогика және психология. –2023. –№1(54). б.21–34. <https://doi.org/10.51889/2077-6861.2023.1.30.015>

[5] Мынжасарова М.Ж. Бастауыш және негізгі орта білім беру деңгейлерінде стохастика элементтерін оқытып-үйретудегі сабақтастық: пед. ғыл. канд. ... дис.: 13.00.02. -Астана, 2010. - 166 б.

[6] Dzhumanazarovna S.A., Bagitovna K.F, Bakirovna A.A., Evgenievna A.L., Zhangazinovna M.M., Meirkhanovna B.A. Training of future teachers for the implementation of continuity of preschool and primary Mathematical education. Jurnal Sakrawala Pendidikan v.41, n.2, may 2022, p.531-540. <https://doi.org/10.21831/cp.v41i2.43641>

[7] Негізгі орта білім беру деңгейінің 7-9-сыныптарына арналған "Геометрия" пәнінен үлгілік оқу бағдарламасы. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2000021688#z42>

[8] Жалпы орта білім беру деңгейінің жаратылыстану-математика бағытындағы 10-11-сыныптарына арналған "Геометрия" оқу пәнінен жаңартылған мазмұндағы үлгілік оқу бағдарламасына қосымша. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V1900018382>

[9] Образовательная программа. 6B05401-Математика. –Алматы: КазНПУ им.Абая, 2022. https://www.kaznpu.kz/docs/plan/fizmat/bac/605401-_.pdf

[10] 5B060100-«Математика» мамандығы бойынша «Түптік оқу бағдарламалары». –Алматы: Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, 2017. -140б.

[11] Шыныбеков А.Н. т.б. Геометрия. Жалпы білім беретін мектептің жаратылыстану-математика бағытындағы 10-сыныбына арналған оқулық / Ә.Н.Шыныбеков, Д.Ә.Шыныбеков, Р.Н.Жұмабаев. –Алматы: Атамұра, 2020. -112 б.

[12] Бадаев С.А. Аналитикалық геометрия: оқу құралы. - Алматы: Қазақ университеті, 2010. 258б.

[13] Харасахал В.В., Джумагазиева С.Х. Аналитикалық геометрия: Есептер жинағы. -Алматы: Қазақ университеті, 2003. -216б.

References

[1] Ospanov T.K. (1990) Perspektivnost i preemstvennost v obuchenii kak uslovija aktivizacii obrazovatelnoj podgotovki uchashhihsja (na materiale obuchenija matematike mladshih sholnikov) [Perspective and preparedness in training as an opportunity to activate educational training (in the material of teaching mathematics of young teachers)]: avtoref. kand. ped. nauk.: 13.00.01. Almaty, 25s. (in Russian)

[2] Mubarakov A.M. (2003) Nauchno-pedagogicheskie osnovy preemstvennosti obuchenija matematike v sisteme nepreryvnogo obrazovaniya [Scientific and pedagogical foundations of mathematics education in the system of non-primary education]: avtoref. ... dokt. ped. nauk.: 13.00.02. Almaty, 52 s. (in Russian)

[3] Әбілқасымова А.Е., Қасқатаева Б.Р, Тұяқов Е.А, Бажи А.А., Умиралханов А.Н. (2023) Kazakstandagy orta mektep pen pedagogikalыk zhogary oku oryndarynda matematikany okytudyn sabaktastyk мәселелері [Problems of continuity of teaching mathematics in secondary school and pedagogical universities in Kazakhstan]. Kazakstan Respublikasy Ul'tыk gыlym akademijasy RKB-nin Habarshysy. №4(404), 7-25. (In Kazakh) <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1467.531>

[4] Madijarov N.K., Tursynkulova Je.A., Kөkesh A.N. (2023) Bolashak matematika mugalimderin dajarlaw yderisindegi mektep pen ZhOO-dagy geometrijalyk salu esepтери mazmunynyn sabaktastygy [Continuity of the content of geometric construction problems in schools and universities in the process of training future mathematics teachers]. Pedagogika zhәne psihologija. №1(54), 21–34. (In Kazakh) <https://doi.org/10.51889/2077-6861.2023.1.30.015>

- [5] Mynzhasarova M.Zh. (2010) *Bastauysh zhәне negizgi orta bilim beru dengejlerinde stohastika jelementterin oқыtyp-ўjretudegi sabaktastyk [Continuity in teaching stochastic elements at the levels of Primary and Basic Secondary Education]: ped. gyl. kand. ... dis.: 13.00.02. Astana, 166 b. (In Kazakh)*
- [6] Dzhumanazarovna S.A., Bagitovna K.F., Bakirovna A.A., Evgenievna A.L., Zhangazinovna M.M., Meirkhanovna B.A. (2022) *Training of future teachers for the implementation of continuity of preschool and primary Mathematical education. Jurnal Cakrawala Pendidikan v.41, n.2, 531-540. <https://doi.org/10.21831/cp.v41i2.43641>*
- [7] *Negizgi orta bilim beru dengejinin 7-9-synyptaryna arналган "Geometrija" paninen ulgilik oku bagdarlamasy [Standard curriculum in the discipline "geometry" for Grades 7-9 of the basic secondary level of education]. (In Kazakh) <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2000021688#z42>*
- [8] *Zhalpy orta bilim beru dengejinin zharatylystanu-matematika bagtyndagy 10-11-synyptaryna arналган "Geometrija" oku paninen zhanartyлган mazmundagy ulgilik oku bagdarlamasyна kosymsha [Appendix to the standard curriculum of the updated content of the educational discipline "geometry" for grades 10-11 of the natural and mathematical direction of the level of General secondary education.]. (In Kazakh) <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V1900018382>*
- [9] *Obrazovatel'naja programma [Educational program. 6B05401-Mathematics] (2022). Almaty: KazNPU im.Abaja. (in Russian)*
- [10] *5V060100-«Matematika» mamandygy bojynsha «Tiptik oku bagdarlamalary»["Standard training programs" in the specialty 5B060100-"Mathematics"] (2017). Almaty: Әl-Farabi atyndagy Қазақ ultтық universiteti, 140b. (In Kazakh)*
- [11] *Shynybekov A.N. t.b. (2020) Geometrija. Zhalpy bilim beretin mekteptin zharatylystanu-matematika bagtyndagy 10-synybyna arналган okulyk [Geometry. Textbook for the 10th grade of a comprehensive school in the natural and mathematical direction]. Almaty: Atamura, 112 b. (In Kazakh)*
- [12] *Badaev S.A. (2010) Analitikalyk geometrija: oku kuraly [Analytical geometry: a textbook.]. Almaty: Kazak universiteti, 258b. (In Kazakh)*
- [13] *Harasahal V.V., Dzhumagazieva S.H. (2003) Analitikalyk geometrija: Esepter zhinagy [Analytical geometry: A collection of problems]. Almaty: Kazak universiteti, 216b. (In Kazakh)*

Г.О. Сейтбекова

Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан
*e-mail: sgulzhan25@mail.ru

МАТЕМАТИКА САБАҒЫНДА ОҚУШЫЛАРДЫҢ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ САУАТТЫЛЫҒЫН ДАМУ ЖӘНЕ БАҒАЛАУ

Аңдатпа

Мақалада оқушылардың функционалды математикалық және қаржылық сауаттылығын дамытудың өзекті мәселесі ретінде мектеп математика курсына тауар бағасының өзгеру пайызын есептеуге арналған тапсырмаларды шешудің тиімді тәсілдері туралы баяндалған. Зерттеудің мақсаты мен әдіс-тәсілдері көрсетіліп, сонымен қатар оқушыларға математикалық білім мен дағдыларды нақты өмірде қолдануға арналған үлгілік тапсырмалар мен бақылауға арналған тапсырмалардың бағалау критерийлері ұсынылған. Берілген тәсілдер арқылы қиындық деңгейі әр түрлі есептердің шешімін оңай, әрі тез табу жолдары қарастырылған. Мұндай өмірлік маңызы бар есептерді шешуге дағдылану тәжірибесі оқушылардың функционалды, математикалық және қаржылық сауаттылығының дамуына ықпал етеді. Болашақ математика мұғалімдері мен еліміздің педагогтар қауымына математиканы оқыту процесінде функционалды сауаттылықты дамыту мен бағалау тақырыбы шеңберінде көмекші дидактикалық материал ретінде және бағалау құралы ретінде қолдануға болатындығы айтылады.

Түйін сөздер: функционалды сауаттылық, бағалау, математикалық модель, пайызды есептеу, тауар бағасы, схемалық жазба.

Г. О. Сейтбекова

Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан
**РАЗВИТИЕ И ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ГРАМОТНОСТИ УЧАЩИХСЯ
НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ**

Аннотация

В статье рассматриваются эффективные подходы к решению задач по расчету процента изменения цены товара в школьном курсе математики как актуальной проблемы развития функциональной математической и финансовой грамотности учащихся. Показаны цель и методы исследования, а также предложены критерии оценивания типовых заданий и контрольных заданий для применения математических знаний и умений учащихся в реальной жизни. С помощью данных подходов предусмотрены способы легкого и быстрого поиска решений задач с разным уровнем сложности. Практика привыкания к решению таких жизненно важных задач способствует развитию функциональной, математической и финансовой грамотности учащихся. Будущим учителям математики и педагогам страны будет предложено использовать математику в процессе обучения в качестве вспомогательного дидактического материала и инструмента оценки в рамках темы развития и оценки функциональной грамотности.

Ключевые слова: функциональная грамотность, оценивание, математическая модель, расчет процента, цена товара, схематическая запись.

G. O. Seitbekova

Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan
**DEVELOPMENT AND ASSESSMENT OF FUNCTIONAL LITERACY OF STUDENTS IN
MATHEMATICS LESSONS**

Abstract

The article discusses effective approaches to solving problems of calculating the percentage change in the price of goods in the school mathematics course as an urgent problem of the development of functional mathematical and financial literacy of students. The purpose and methods of the study are shown, as well as

criteria for evaluating standard tasks and control tasks for applying mathematical knowledge and skills of students in real life are proposed. Using these approaches, there are ways to easily and quickly find solutions to problems with different levels of complexity. The practice of getting used to solving such vital tasks contributes to the development of functional, mathematical and financial literacy of students. Future mathematics teachers and teachers of the country will be invited to use mathematics in the learning process as an auxiliary didactic material and an assessment tool within the framework of the topic of development and assessment of functional literacy.

Keywords: functional literacy, assessment, mathematical model, percentage calculation, product price, schematic record.

Негізгі ережелер

Функционалдық сауаттылықты дамытудың нәтижесі білім алушылардың алған теориялық білімдерін практикалық жағдайда тиімді қолдануға және әлеуметтік бейімделу процесінде сәтті пайдалануға мүмкіндік беретін негізгі құзыреттер жүйесін игеру болып табылады. Практикалық мәселелерді шешуде оқушылардың ақыл-ой белсенділігін арттыру аса маңызды, ал PISA халықаралық зерттеулеріне дайындық мектеп тәжірибесінде функционалдық сауаттылық тапсырмаларына қатысты математикалық ұғымдарды түсініп қолдану арқылы жаңа деңгейге көтеріледі.

Сондықтан, математика сабағында оқушылардың функционалдық математикалық және қаржылық сауаттылығын арттыру мен бағалау арқылы танымдық және шығармашылық дағдыларын қалыптастыру математика мұғалімдері үшін өзекті мәселе болып отыр.

Кіріспе

Функционалдық сауаттылық білім берудің барлық деңгейлерінде жалпы білім беру құзыреттілігін көрсетеді, ол қазіргі кезеңде мемлекеттік стандарттарды енгізу арқылы қамтамасыз етіледі. Сонымен қатар, функционалдық сауаттылық еліміздің білім беруді дамыту тұжырымдамасында айтылған. Онда тек функционалдық сауаттылық (заманауи техниканы, тілдерді және т.б. білу) қазіргі адамға әлеуметтік және табиғи ортаны игеруге, кең мағынада әлем азаматы болуға мүмкіндік беретіндігі баса айтылған [1,2]. Жалпы мектеп математика курсына «баға туралы» есептерді шешуді қарастырғанмен, оларды шешудің жан-жақты тиімді тәсілдері көрсетілмеген. Осындай мәселелерге байланысты, тауарлар мен қызметтердің бағасы мен пайыздық өлшемі туралы тақырыптар аясында көптеген оқушылардың функционалдық математикалық және қаржылық сауаттылығының дамуы өз дәрежесінен төмендеу болып отыр [3]. Адамдар тауарлар мен қызметтердің бағасы мен пайыздық өлшеміне байланысты өмірлік жағдаяттармен күн сайын кездеседі. Олар қаржылық шығындарға ұшырамауы үшін мектеп математикасында кездесетін баға мен пайыз туралы тапсырмаларды жақсы меңгеруі тиіс [4,5].

Зерттеу мақсаты: Мектеп математика курсына дағдыларды күнделікті өмірде кездесетін мәселелерге қолданудың тиімді әдістерін зерттеу арқылы оқушылардың математикалық функционалдық сауаттылығын, танымдық және шығармашылық дағдыларын қалыптастыру.

Зерттеу әдіснамасы

Зерттеу барысы тұжырымдамалық көзқарас оқушылардың математикалық сауаттылығын дамытуда педагогикалық мақсаттарға қол жеткізу үшін білім беру процесін құрылымдау ерекшелігін және бүкіл оқу барысында олардың функционалдық сауаттылығын бағалау ерекшелігін анықтауға негізделген [6]. Физиологиялық жетілу кезіндегі балалардың функционалдық сауаттылығын дамытуда себеп-салдарлық талдау әдістерін қолдану математикалық, қаржылық және ғылыми сауаттылықтың дамуының ерекшеліктерін анықтауға мүмкіндік беретін зерттеу мақсаттарын жүзеге асыруға көмектесетіні анық. Жалпы мектеп математика курсына дағдыларды «баға туралы» есептерді шешудің әдіс-тәсілдерінің ішіндегі оңтайлы тәсілдерінің бірі модельдеу әдісі болып табылады. Модельдеу әдісін қолдану

оқушылардың күнделікті тұрмыс-тіршіліктегі жағдайларды толық түсініп, ғылыми тұрғыда талдау жасау дағдыларын қалыптастырып, шығармашылық ойлауын дамытады [7].

Сабақ өту барысында салыстырмалы және дедуктивті әдістерді қолдану оқушылардың функционалдық сауаттылығын диагностикалау мен бағалаудың тәсілдерінің принциптерін анықтауға мүмкіндік береді.

Зерттеудің әдістері: Модельдеу әдісі, салыстырмалы және дедуктивті әдістер.

Зерттеу нәтижелері

Есептерді шешпес бұрын, бағаның өзгеруі туралы жиі кездесетін түсініктемелерді талдап, оларды «баға туралы» көптеген күрделі есептерді шешуде оқушылардың қолдануына ыңғайлы математикалық модельдер мен схемалық жазбалар тиімді көрсетілді.

Ең маңызды типтік жағдайларды қарастырайық.

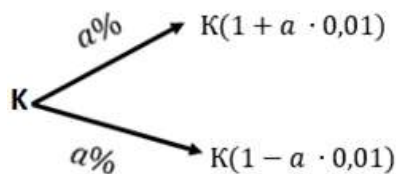
1. Егер кейбір тауарлардың бастапқы бағасы ақша бірлігіне тең болса, онда оны $a\%$ - ға көтергеннен кейін оның бағасы (1) формуламен есептеледі.

$$K + K \cdot a \cdot 0,01 = K(1 + a \cdot 0,01) \quad (1)$$

Сол сияқты, егер бастапқы баға $a\%$ - ға төмендесе, оның бағасы (2) формуламен есептеледі.

$$K - K \cdot a \cdot 0,01 = K(1 - a \cdot 0,01) \quad (2)$$

Көптеген оқушылардың қажетті формулаларды оңай түсініп, есте сақтауы үшін көрнекі схема түрінде түсіндірген тиімді болар еді. Сонымен, 1-суретте K -дан жоғарыға қарай бағытталған сызық бағаның өсуін, ал K -дан төмен қарай бағытталған сызық бағаның кемуін көрсетеді (сурет -1).



Сурет 1. Бағаның өсу, кему жағдайлары

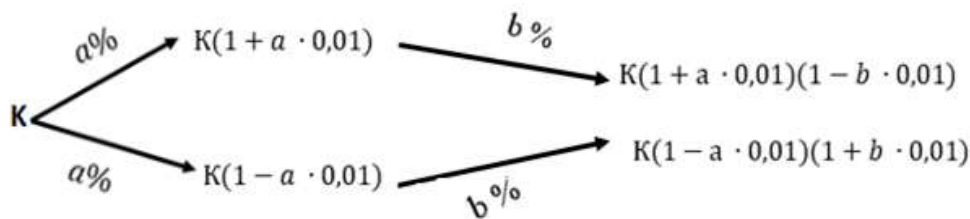
2. Бастапқы K бағасының $a\%$ - ға қымбаттап және кейіннен $b\%$ - ға арзандауы нәтижесінде шыққан бағаны (3) формулаға салып есептеген тиімді.

$$K \cdot (1 + a \cdot 0,01) \cdot (1 - b \cdot 0,01) \quad (3)$$

Сол сияқты, егер бастапқы баға алдымен $a\%$ - ға арзандап, содан кейін $b\%$ - ға қымбаттаса, онда нәтижесіндегі соңғы баға (4) формуламен есептеледі.

$$K \cdot (1 - a \cdot 0,01) \cdot (1 + b \cdot 0,01) \quad (4)$$

Мұғалімнің жетекшілігімен түсінген оқушылар схеманы өз бетінше салып, бастапқы бағаның өзгерістерін көрсете алады (сурет -2).



Сурет 2. Тауар бағасының өзгерісі.

Қаржылық тәжірибеде пайыздарды есептеу үшін көбінесе схемаларда көрсетілген формалар жазбасы қолданылады. Біз жазбалардың бұл түрін стандартты форма деп атаймыз. Стандартты формада тауардың бастапқы бағасын кеміткен немесе арттырған пайыздар саны бірден көрінбейді. Сондықтан, көптеген оқушылар бұл жағдайды ескермейді де, жазбаларға немқұрайлы қарайды. Соның салдарынан оларға бағаның пайыздық өзгерісі туралы есептерді шығару қиындайды.

Мәселе есептерді шешуге кіріспес бұрын, дайындық сипатындағы бірнеше тапсырманы орындау тиімді. Мысалдар келтірейік.

Есеп 1. Тауардың бастапқы бағасы K теңге ал жаңа бағасы S теңге болсын. Жаңа баға келесі формуламен $S = K \cdot (1 + a \cdot 0,01)$ есептелетін болса, онда бастапқы бағаның өзгеру сипатын (арзандайды немесе қымбаттайды) және сол өзгерістің пайызын анықтаңыз.

Алдын ала жүргізілген түсіндіру жұмыстары оқушыларға қойылған сұрақтарға оңай жауап беруге мүмкіндік береді және баға $a\%$ - ға өседі деген жауап алады.

Есеп 2. Тауардың жаңа бағасы мына формуламен $S = K \cdot (1 - 12 \cdot 0,01)$ есептелсін. Тауар бағасының қанша пайызға қымбаттағанын немесе арзандағанын табыңыз?

Оқушылар мына жағдайға көңіл аударуы керек: жақшадағы «минус» белгісі тауар бағасының арзандағанын көрсетеді. Көбейткіш 0,01 болса, онда 12 саны бағаның өзгеру пайызын көрсетеді. Жауабы: 12 %- ға арзандады.

Есеп 3. Тауардың бастапқы бағасы K , ал жаңа бағасы S . Жаңа баға келесі формуламен анықталсын $S = K + 0,2 \cdot K$. Бастапқы бағаның неше пайызға (қымбаттау немесе арзандау) өзгергенін анықтаңыз.

Тапсырма сұрақтарына жауап беру үшін стандартты формаға келтіру жеткілікті. Ол үшін келесідей теңбе-тең түрлендірулер жасалады: $K + 0,2 \cdot K = K \cdot (1 + 0,2) = K \cdot (1 + 20 \cdot 0,01)$

Алынған өрнек тапсырмада қойылған сұрақтарға оңай жауап беруге мүмкіндік береді.

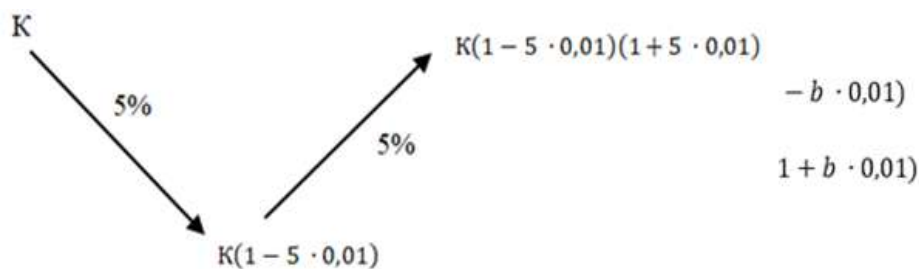
Жауабы: Бастапқы бағасы 20 %- ға өсті.

Әрине, қабілетті оқушылар есеп шартындағы берілген өрнектен бастапқы бағаның өзгеру сипаты мен пайызын анықтай алады десек те, жоғарыда аталған әрекеттер алгоритмін білу артық етпейді, әсіресе тапсырманы орындау уақыты шектеулі болғанда, есеп шешімін тез табуға мүмкіндік болады.

Есеп 4. Тауардың бағасы алдымен 5% - ға арзандады, сосын 5% - ға қымбаттады. Бастапқы баға өзгерді ме, егер өзгерген болса қанша пайызға өзгергенін анықтаңыз.

Есептің шешімін алдымен ауызша талқылаған дұрыс, әсіресе ең шыдамсыз оқушылар «бастапқы баға өзгерген жоқ» деп бірден жауап береді. Ал үздік оқушылар «бағаны 5% - ға арзандату үшін есептелетін бастапқы бағаның 5% - ы арзандағаннан кейінгі шыққан бағаның 5%- ынан көп. Демек, бастапқы баға кемиді» деген пікір айтады да, кему пайызын табу үшін қажетті есептеулерге көшеді.

Бірақ, көптеген оқушылар бұл пайымдаудың мәнін түсінбейді, сондықтан стандартты алгоритм бойынша есептеуді қалайды. Оқушылар алдымен бастапқы бағаны K деп, соңғы ізделінді бағаны S деп белгілеп алады да, түрлендіру схемасын құрастырады, содан кейін ғана олар есептеуге көшеді (3-сурет).



Сурет 3. Түрлендірудің стандартты схемасы

Оқушылар есептеулерді келесі алгоритм бойынша біртіндеп орындайды:

$$S = K \cdot (1 - 5 \cdot 0,01) \cdot (1 + 5 \cdot 0,01) = K \cdot (1 - 25 \cdot 0,0001) = K \cdot (1 - 0,25 \cdot 0,01)$$

Алынған стандартты форма бастапқы бағаның 0,25 % төмендегенін көрсетеді.

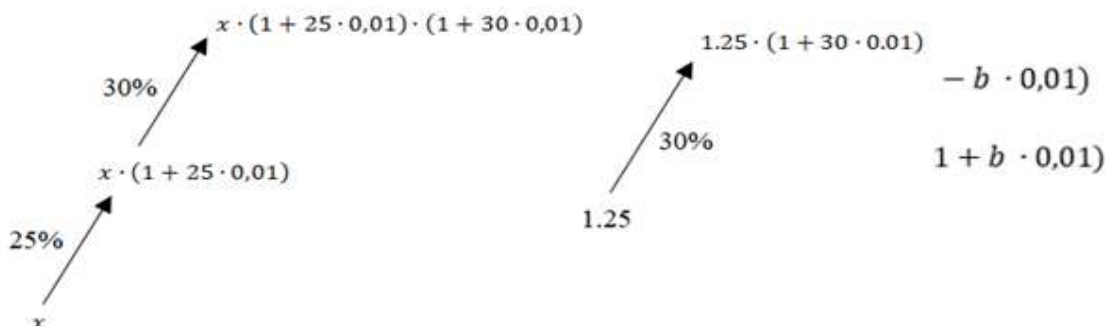
Жауабы: 0,25% арзандайды.

Тапсырма сұрағына жауап алғаннан кейін, мысалы, егер тапсырмада баға алдымен 5% - ға қымбаттап, содан кейін 5% - ға арзандаса, нәтиже өзгере ме, жоқ па, соны талқылауға болады. Мектеп оқушылары бастапқы бағаның өзгеруінің нәтижесі жүргізілген түрлендірулердің тәртібіне қарамай-ақ, бірден бастапқы баға 0,25% - ға төмендейді деген қорытындыға келеді.

Енді тауар бағасына байланысты мәтіндік есептерді қарастырайық.

Есеп 5. Тауарлардың бағасы 25% - ға, содан кейін тағы 30% - ға қымбаттады. Басқа тауар бағасы 30% - ға қымбаттап, бірінші тауар бағасына тең болды. Егер баға қымбаттағанға дейін екіншісі 1,25 мың теңге болса, бірінші тауардың бастапқы бағасы қандай?

Оқушылар бірінші тауардың ізделінді бағасын x теңге деп белгілеп алады да, түрлендіру схемасын құрастырады және бірінші мен екінші тауарлардың жаңа бағаларын теңестіретін теңдеуді құрайды (4-сурет).



Сурет 4. Түрлендіру схемасы арқылы теңдеу құру

$$x \cdot (1 + 25 \cdot 0,01) \cdot (1 + 30 \cdot 0,01) = 1,25 \cdot (1 + 30 \cdot 0,01)$$

$$1,25x = 1,25$$

$$x = 1.$$

Жауабы: Бірінші тауардың бастапқы бағасы 1 мың теңге.

Дискуссия

Алынған білім мен тәжірибені оқушының сол сабақтағы білімін бағалау мақсатында берілген тапсырмаларды шешуге пайдалану тиімді. Осы критерий бойынша бағалау жағдайдың өзіндік ерекшелігі мен талдаудағы динамикамен бірге жүретін мынадай тапсырмаларды жазбаша орындау негізінде беріледі (Кесте-1).

Тапсырма 1. Машинаның сатылу бағасы 15% -ға қымбаттады. Бір жылдан соң тағы да 25% -ға қымбаттады. Машина бағасы бастапқы сатылу бағасынан қанша пайызға қымбаттады [8]. (5-сыныптың математикалық олимпиадасында берілген есеп).

Тапсырма 2. Егер тіктөртбұрышты параллелепедтің ұзындығы мен енін 20%-ға арттырып, ал биіктігін 20%-ға кемітсек, онда оның көлемі қанша пайызға артады [9]. (6-сыныптың математикалық олимпиадасында берілген есеп).

Кесте-1. Бағалау критерийі

№	Жауабы	Бағалау критерийі
1	<p>Тапсырма шешімінің мүмкін нұсқалары:</p> <p>1-нұсқа: K машинаның бастапқы бағасы: $S = K \cdot (1 + 15 \cdot 0,01) \cdot (1 + 25 \cdot 0,01) = K \cdot 1,4375 = K \cdot (1 + 43,75 \cdot 0,01)$</p> <p>Жауабы: машина бағасы 43,75%-ға қымбаттады.</p> <p>2-нұсқа: x- машинаның бастапқы бағасы 15% = 0,15 және 25% = 0,25 (пайыз анықтамасы бойынша) 15%-ға артса, онда машина бағасы: $x + x \cdot 0,15 = 1,15x$ Бір жылдан соң тағы да 25%-ға артса, онда машина бағасы $1,15x + 1,15x \cdot 0,25 = 1,15x + 0,2875x = 1,4375x$ $1,4375x$-тан машинаның бастапқы бағасын алып тастаймыз, сонда: $1,4375x - x = 0,4375x$.</p> <p>Бұл бастапқы бағасының неше пайызға артқанын табу үшін: $\frac{0,4375x}{x} \cdot 100\% = 43,75\%$</p> <p>Жауабы: машина бағасы 43,75%-ға қымбаттады.</p> <p>3-нұсқа: 15 % = 0,15 және 25 % = 0,25 (пайыз анықтамасы бойынша) Машинаның жаңа бағасы 15%-ға артса, онда машина бағасы: $x + x \cdot 0,15 = 1,15x$, 25%-ға артса, онда машина бағасы: $x + x \cdot 0,25 = 1,25x$ машина бағасының қаншаға өзгергенін табу үшін сандық көбейткіштерді көбейтеміз, сонда $1,15 \cdot 1,25 = 1,4375$.</p> <p>Машинаның бағасы $(1,4375 - 1) \cdot 100\% = 43,75\%$ қымбаттады.</p> <p>Жауабы: машина бағасы 43,75%-ға қымбаттады.</p>	<p>2 балл – дұрыс жауап және шешу жолы дұрыс көрсетілсе;</p> <p>1 балл - шешімге сәйкес өрнек дұрыс құрылса, бірақ арифмети-калық қателерге байланысты есеп жауабы дұрыс емес болса;</p> <p>0 балл – қате жауап берілсе немесе жауап мүлдем болмаса.</p>
2	<p>Тапсырма шешімінің мүмкін нұсқалары:</p> <p>1-нұсқа: Параллелепедтің көлемі үш өлшемінің көбейтіндісіне тең. $V = abc$. Есеп шарты бойынша $V = a(1 + 20 \cdot 0,01) \cdot b(1 + 20 \cdot 0,01) \cdot c(1 + 20 \cdot 0,01) = 1,152 \cdot a \cdot b \cdot c = abc \cdot (1 + 15,2 \cdot 0,01)$</p> <p>Жауабы: Параллелепед көлемі 15,2%-ға өсті.</p> <p>2-нұсқа: Параллелепедтің көлемі үш өлшемінің көбейтіндісіне тең. $V = abc$. 20% = 0,2 (пайыз анықтамасы бойынша). Параллелепед енімен ұзындығы 20 %-ға артса, онда ұзындығы: $a + a \cdot 0,2 = 1,2a$; ені: $b + b \cdot 0,2 = 1,2b$ Биіктігі 20%-ға кемісе, онда биіктігі: $x - x \cdot 0,2 = 0,8x$.</p> <p>Параллелепедтің көлемі қаншаға өзгергенін табу үшін сандық көбейткіштерді көбейтеміз, сонда $1,2 \cdot 1,2 \cdot 0,8 = 1,152$. Параллелепедтің көлемі $(1,152 - 1) \cdot 100\% = 15,2\%$ өседі.</p> <p>Жауабы: Параллелепед көлемі 15,2%-ға өсті.</p>	<p>2 балл – дұрыс жауап және шешу жолы дұрыс көрсетілсе;</p> <p>1 балл - шешімге сәйкес өрнек дұрыс құрылды, бірақ арифметикалық қателерге байланысты есеп жауабы дұрыс емес.</p> <p>0 балл – қате жауап берілсе немесе жауап мүлдем болмаса</p>

Көптеген ғалымдардың пайымдауларына математикалық сауаттылық функционалдық сауаттылықтың құрамдас бөлігі ретінде адамның өзі өмір сүріп отырған әлемдегі математиканың рөлін анықтау, түсіну және болашақта математикалық пайымдауларға қызығушылық танытатын азаматтарға тән қажеттіліктерді қанағаттандыру қабілеті.

Қорытынды

Жалпы математикалық сауаттылық келесідей ерекшеліктерімен сипатталады: қоршаған табиғи ортада туындайтын және математикалық тұрғыда шешілетін мәселелерді тани білу; туындаған мәселелерді математика тілінде тұжырымдау; математикалық фактілер мен әдістерді қолдану арқылы мәселелерді шешу; пайдаланылған шешім әдістерін талдау; алынған нәтижелерді қойылған проблеманы ескере отырып түсіндіру; шешімнің нәтижелерін қорытындылау [10].

Мектеп оқушыларының бойында математикалық сауаттылықты қалыптастыру шығармашылық ойлауды, белгілі бір қолданбалы есептерді шешуде алған теориялық білімдерін дұрыс пайдалана білу дағдыларын дамытуды білдіреді. Нәтижесінде оқушылар математика сабақтарында алған білімдері өмірде пайдалы болмайтындығына күмәнданбайды. Қоршаған ортадағы шындықты сабақта ұтымды пайдалану арқылы күнделікті өмірде математикалық білімді қолдану оқушыларға материалды жақсы игеруге көмектеседі. Жаңа білім алуға деген ынтасы артады.

Тауар бағасының өзгеру пайызын есептеу тәсілдеріне жоғарыда ұсынылған формулаларды, стандартты формалар мен түрлендіру схемаларын құрастыраудың әдістерін қолданған өте тиімді. Осы тәсілдермен қиындық деңгейі әр түрлі есептердің шешімін оңай, әрі тез табуға болады. Мұндай өмірлік маңызы бар күнделікті қолданыстағы есептерді шешуге дағдылану тәжірибесі оқушылардың функционалдық, математикалық және қаржылық сауаттылығының дамуына ықпал етеді.

Болашақ математика пәні мұғалімдері мен еліміздің педагогтар қауымына математиканы оқыту процесінде функционалдық сауаттылықты дамыту мен бағалау тақырыбы шеңберінде көмекші дидактикалық материал ретінде және бағалау құралы ретінде пайдалана алады.

Тауардың пайыздық өзгерісін анықтауға берілген күрделі есептерді шешудің тиімді тәсілдерін меңгерген оқушы математикалық олимпиадаларда, ҰБТ тапсыру кезінде және 15 жастағы білім алушылардың оқу жетістігін бағалайтын PISA халықаралық зерттеуіне негізделінген құзыреттіліктерді кешенді бағалау мақсатында берілген тест сұрақтарында көптеп кездесетін «баға туралы», пайыздық өзгерісін табу туралы есептерді шешуден жоғары ұпай жинайтындығына сенімім мол.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

[1] Семкин А.В., Баймухамбетова П.Ж., Читательская грамотность младших школьников республики Казахстан в современных условиях. Журнал «НАУКА И РЕАЛЬНОСТЬ» 2021, 8 (4), 153-157 б.

[2] Ханли Н., Оспанова У.А., Баймаханбетов М.А. Развитие функциональной грамотности в школах: тематический дискурс анализ. Вестник КазНУ Серия "Педагогические науки" 2022, 70 (1), 16-30 б.

[3] Mesesan, N., Albulescu, I. development of functional literacy through a review of the literature on holistic education. Q: education, reflection, Development-end 2018. European writings on social and behavioral sciences, 2019, (pp. 192-202). Frinton: Academy of the future.

[4] Clemencich, E., Virtich, M.P., Kovacic, J. M. 2023. the role of pedagogical education in the development of scientific literacy. Athens Journal of Education, 10, 1-22 б.

[5] Наметкулова Ф., Шойынбаева Г.Т., Сугирбекова А.К. Болашақ мұғалімдерді физикалық эксперимент арқылы оқушылардың функционалдық сауаттылығын қалыптастыруға дайындау. Қазақстан Республикасы Ұлттық Ғылым академиясының хабаршысы, 2022, 5 (399), 100-112 б.

[6] Жанасбаева Ұ.Б., Жанасбаев К.Б. Математикалық олимпиада есептері, оқу-әдістемелік құрал, Алматы, 2012, 90 б.

[7] Сурхаев М.А. и др. Модернизация системы подготовки будущих учителей в информационной образовательной среде // Наука и мир. - Волгоград, 2016, №2, том.3. - С. 96-97.

[8] Оспанова У.А., Кулахметова А.Р., Функционалдық сауаттылықтың базалық дағдыларын бағалау бойынша халықаралық салыстырмалы және елдік зерттеулер (PIAAC, IALS, ALL): 2023, 142 № 1 (2023): Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы.

[9] Денищева Л.О. Особенности формирования и оценки математической грамотности школьников / Л.О. Денищева, Н.В. Савинцева, И.С. Сафуанов, А.В.Ушаков, В.А.Чугунов, Ю.А.Семеняченко // Наука для образования сегодня. – 2021. – Т. 11. – № 4. – С. 113–135. DOI: <http://dx.doi.org/10.15293/2658-6762.2104.06>

[10] Рослова Л.О. О готовности учителей к формированию функциональной математической грамотности школьников / Л.О. Рослова, И.И. Карамова // Профильная школа. – 2020. – Т. 8. – № 4. – С. 14-26. – DOI 10.12737/1998-0744-2020-14-26.

References

[1] Semkin A.V., Bajmuhambetova P.Zh., (2021) Chitatel'skaya gramotnost' mladshih shkol'nikov respubliky Kazahstan v sovremennykh usloviyakh [Reading literacy of junior schoolchildren of the Republic of Kazakhstan in modern conditions]. NAUKA I REAL'NOST', 8 (4), 153-157. (In Russian)

[2] Hanli N., Ospanova U.A., Bajmahanbetov M.A. (2022) Razvitie funktsional'noy gramotnosti v shkolah: tematicheskij diskurs analiz. [Developing functional literacy in schools: a thematic discourse analysis]. Vestnik KazNU Seriya "Pedagogicheskie nauki", 70 (1), 16-30. (In Russian)

[3] Mesesan, N., Albulescu, I. development of functional literacy through a review of the literature on holistic education. Q: education, reflection, Development-end 2018. European writings on social and behavioral sciences, 2019, (pp. 192-202). Frinton: Academy of the future.

[4] Clemencich, E., Virtich, M.P., Kovacic, J. M. 2023.the role of pedagogical education in the development of scientific literacy. Athens Journal of Education, 10, 1-22 б.

[5] Nametkulova F., Shojynbaeva G.T., Sugirbekova A.K. (2022) Bolashak mugalimderdi fizikaluk eksperiment argyly okushylardyn funktsionaldyk sauattylygyn kalyptastyruqa daiyndau. [Preparing future teachers to build students' functional literacy through physical experimentation]. Kazakstan Respublikasy ylytты gylym akademiya synyn habarshysy, 5 (399), 100-112. (In Kazakh)

[6] Zhanasbaeva Ұ.Б., Zhanasbaev K.Б. (2012) Matematikalыk olimpiada esepтери, oku-әdistemelik kural [Tasks of the Mathematical Olympiad, teaching aid]. Алматы, 90. (In Kazakh)

[7] Surhaev M.A. i dr. (2016) Modernizatsiya sistemy podgotovki budushchih uchitelej v informatsionnoj obrazovatel'noj srede. [Modernization of the system of training future teachers in the information educational environment] Nauka i mir. - Volgograd, №2, tom.3. 96-97. (In Russian)

[8] Ospanova U.A., Kulahmetova A.R., (2023) Funktsionaldyk sauattylyktyn bazalyk dagdylaryn bagalau boiynsha halykaralyk salystyrmaly zhane eldik zertteuler [International comparative and country studies on the assessment of basic functional literacy skills]. EYU-n habarshys 142 № 1. (In Kazakh)

[9] L.O. Denishcheva, N.V. Savinceva, I.S. Safuanov, A.V.Ushakov, V.A.Chugunov, Yu.A.Semenyachenko (2021) Osobennosti formirovaniya i ocenki matematicheskoy gramotnosti shkol'nikov [Features of formation and assessment of mathematical literacy of schoolchildren] Nauka dlya obrazovaniya segodnya. T. 11. № 4. 113–135. (In Russian) DOI: <http://dx.doi.org/10.15293/2658-6762.2104.06>

[10] Roslova L.O. I.I. Karamova (2020) O gotovnosti uchitelej k formirovaniyu funktsional'noj matematicheskoy gramotnosti shkol'nikov [On teachers' readiness to form functional mathematical literacy of schoolchildren]. Profil'naya shkola. T. 8. № 4. 14-26. (In Russian) DOI 10.12737/1998-0744-2020-14-26.

Г.М. Усайнова^{1*}, А.Ж. Сейтмұратов¹, А.А. Ахатай¹

¹Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан
*e-mail: gulzhamal.u@mail.ru

БОЛАШАҚ МАТЕМАТИКА МҰҒАЛІМДЕРІН КӘСІБИ ДАЯРЛАУДА ПЕДАГОГИКАЛЫҚ ДИЗАЙН НЕГІЗДЕРІН ҚОЛДАНУ ӘДІСТЕРІ

Аңдатпа

Мақалада цифрлық мәдениетті қалыптастыру контекстінде мұғалімдерді даярлау мен біліктілігін арттыруды жаңғырту міндетінің өзектілігі дәлелденген. Мақаланың негізгі мақсаты-білім беруді цифрландыру жағдайында болашақ мұғалімдерге арналған кәсіптік білім беру бағдарламасын әзірлеудің авторлық тұжырымдамасын негіздеу. Болашақ мұғалімдерді кәсіби даярлаудың тиімді әдістерін іздеу университеттің оқу процесінде педагогикалық дизайн мүмкіндіктерін талдау және түсіну қажеттілігіне әкелді. Мақалада "педагогикалық дизайн" ұғымына талдау жасалды, осы терминнің анықтамалары талданды және оның негізгі принциптері сипатталды. Сондай-ақ, педагогикалық дизайнды жасау үшін қажет бірнеше шетелдік модельдер, соның ішінде ADDIE моделінің ерекшеліктері және оның білім берудегі тиімділігі қарастырылды. Мақала ADDIE моделіне негізделген 5 модульден тұратын курстың педагогикалық дизайн моделін ұсынады және осы курсты әзірлеуге негіз болған сауалнама сұрақтары мен нәтижелерін талдайды. Алынған статистикалық деректерді пайдалана отырып, проблема анықталды және оны шешу жолдары ұсынылды. Педагогикалық жобалаудың тиімділігін арттыру мақсатында университеттің жұмыс оқу бағдарламасына "Мектеп математикасы курсына педагогикалық дизайн" тақырыбында курсты енгізу жоспарлануда. Мақалада педагогикалық дизайн ұғымы екі тұрғыдан қарастырылады. Біріншіден, бұл оқушылардың психологиялық ерекшеліктерін дамытуды және жоғары нәтижелерге қол жеткізуді қамтамасыз ететін ақпараттық-білім беру ортасын құрудағы, түрлендірудегі және сүйемелдеудегі мұғалімнің шығармашылық қызметі. Екіншіден, бұл оқыту кезінде қойылған мақсаттарға қол жеткізуді қамтамасыз ететін әртүрлі құралдар арқылы оқу оқиғаларын басқару стратегияларын зерттеумен және әзірлеумен байланысты педагогикалық ғылымның бағыты. Мақала авторлық тұрғыдан оқыту процесінде педагогикалық дизайнның құрылымы мен мазмұнын ұсынады.

Түйін сөздер: педагогикалық дизайн, модуль, цифрлық білім, математика мұғалімі, кәсіби даярлау.

Г.М. Усайнова^{1*}, А.Ж. Сейтмұратов¹, А.А. Ахатай¹

¹Қызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан
**МЕТОДЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОСНОВ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ДИЗАЙНА В
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ МАТЕМАТИКИ**

Аннотация

В статье аргументирована актуальность задачи модернизации подготовки и повышения квалификации учителей в контексте формирования цифровой культуры. Основная цель статьи заключается в обосновании авторской концепции разработки профессиональной образовательной программы для будущих педагогов в условиях цифровизации образования. Поиск эффективных методов профессиональной подготовки будущих учителей привел к необходимости анализа и осмысления возможностей педагогического дизайна в учебном процессе вуза. В статье проведен анализ понятия "педагогический дизайн", проанализированы определения данного термина и описаны его основные принципы. Также были рассмотрены несколько зарубежных моделей, необходимых для создания педагогического дизайна, включая специфические особенности модели ADDIE и ее эффективность в образовании. Статья представляет модель педагогического проектирования курса, состоящую из 5 модулей на основе модели ADDIE, и анализирует вопросы анкетирования и результаты, которые послужили основой для разработки данного курса. С использованием полученных статистических данных была выявлена проблема и предложены пути ее решения. В целях повышения эффективности педагогического проектирования в рабочую учебную программу университета

планируется внедрение курса на тему "Педагогический дизайн в курсе школьной математики". В статье рассматривается понятие педагогического дизайна с двух точек зрения. Во-первых, это творческая деятельность учителя в создании, преобразовании и сопровождении информационно-образовательной среды, обеспечивающей развитие психологических особенностей учащихся и достижение высоких результатов. Во-вторых, это направление педагогической науки, связанное с изучением и разработкой стратегий управления учебными событиями с помощью различных средств, обеспечивающих достижение поставленных целей при обучении. Статья представляет структуру и содержание педагогического дизайна в процессе обучения с авторской точки зрения.

Ключевые слова: педагогический дизайн, модуль, цифровое образование, учитель математики, профессиональная подготовка.

G.M. Ussainova^{1*}, A.Zh. Seitmuratov¹, A.A. Akhatay¹

¹Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

METHODS OF APPLYING THE BASICS OF PEDAGOGICAL DESIGN IN THE PROFESSIONAL TRAINING OF FUTURE MATHEMATICS TEACHERS

Abstract

The article argues the relevance of the task of modernizing the training and advanced training of teachers in the context of the formation of digital culture. The main purpose of the article is to substantiate the author's concept of developing a professional educational program for future teachers in the context of digitalization of education. The search for effective methods of professional training of future teachers has led to the need to analyze and comprehend the possibilities of pedagogical design in the educational process of the university. The article analyzes the concept of "pedagogical design", analyzes the definitions of this term and describes its basic principles. Several foreign models necessary for the creation of pedagogical design were also considered, including the specific features of the ADDIE model and its effectiveness in education. The article presents a model of pedagogical course design consisting of 5 modules based on the ADDIE model, and analyzes the survey questions and the results that served as the basis for the development of this course. Using the obtained statistical data, the problem was identified and ways to solve it were proposed. In order to increase the effectiveness of pedagogical design, it is planned to introduce a course on "Pedagogical design in the course of school mathematics" into the working curriculum of the university. The article examines the concept of pedagogical design from two points of view. Firstly, it is the creative activity of the teacher in creating, transforming and maintaining an information and educational environment that ensures the development of psychological characteristics of students and the achievement of high results. Secondly, this is a field of pedagogical science related to the study and development of strategies for managing educational events using various means to ensure the achievement of set learning goals. The article presents the structure and content of pedagogical design in the learning process from the author's point of view.

Keywords: instructional design, module, digital education, mathematics teacher, professional training.

Негізгі ережелер

Зерттеу цифрландыру дәуірінде болашақ мұғалімдерді табысты дайындау үшін мұғалімдердің цифрлық мәдениетін қалыптастыру арқылы білім беруді жаңғыртудың маңыздылығын негіздейді. Жұмыста мектеп оқушыларының дамуына және жоғары нәтижелерге қол жеткізуіне ықпал ететін оңтайлы білім беру ортасын құруға бағытталған мұғалімнің шығармашылық қызметі ретінде педагогикалық дизайн түсінігі ашылады. ADDIE моделі оқу процесіндегі оның ерекшелігі мен тиімділігін егжей-тегжейлі талдай отырып, педагогикалық жобалау құралдарының бірі ретінде зерттеледі. Жұмыста статистикалық мәліметтерді пайдалана отырып, "Мектеп математикасы курсына педагогикалық дизайн" курсы әзірлеу, сонымен қатар проблемаларды анықтау және оларды шешу жолдарын ұсыну барысы сипатталған. Оқыту үрдісінің контекстінде авторлық көзқараспен қарастырылған педагогикалық дизайн құрылымы мен мазмұнының негізгі аспектілері берілген.

Кіріспе

Бүгінде педагогика саласы ғылымның ең маңызды тармағының біріне айналды. Сондықтан, бұл салаға түбегейлі жаңа көзқарас қажет. Заманауи технологияның көмегімен білім беру

жүйесін жедел әрі тиімді жаңғыртуға болады. Біз білім саласын ең үздік халықаралық стандарттарға сай дамытуымыз керек", - деді Мемлекет басшысы [1].

Қазіргі уақытта қазақстандық білім беру жүйесінде білім беру сапасының стандарттарының өзгеруі сияқты сыртқы факторлардың ғана емес, сонымен қатар даму тенденцияларын тудыратын ішкі қайшылықтардың әсерінен айтарлықтай өзгерістер болып жатыр.

Қазақстан Республикасының Президенті Қ.Ж. Тоқаев өз жолдауларында ұлтты болашақта дамыған елдердің біріне айналдыруға итермелеу үшін заманауи білімнің қажеттілігін атап көрсетеді. Тиімді қарым-қатынас перспективаларды қалыптастыруда, ақпаратты таратуды жеңілдетуде және зерттеулерді сенімді жүргізуде шешуші рөл атқарады. Демек, цифрлық дамудың қазіргі кезеңі білім беру жүйесіндегі оқу процесінің әдіснамалық міндеттеріне басымдық береді.

Қазіргі уақытта жеке адамдар өздерінің қалаған мамандықтарына сәйкес келетін білімді таңдау еркіндігіне ие, бұл оларға болашақ жолдарын сенімді түрде құруға мүмкіндік береді. Өзгерістер мен жаңа бастамалардың пайда болуы әртүрлі салаларда жаңа тұжырымдамалардың пайда болуына жол ашады.

Қазақ орта мектептерінде жаңартылған білім беру мазмұнын енгізе отырып, жоғары оқу орындарында болашақ математика мұғалімдерінің әдістемелік дайындығын арттыру мәселесі өзекті болып отыр. Қазақстандық мектептердің жаңартылған білім беру мазмұнына сәтті көшуі мұғалімдердің инновациялық процестердің негізгі принциптерін түсінуіне және олардың осы өзгерістерді қабылдауға дайындығына байланысты. Демек, мұғалімдерді даярлау жүйесіндегі, әсіресе математика пәнінің мұғалімдері үшін есеп беру шаралары күшейтілді [2].

Жоғары оқу орындарының негізгі рөлі орта білім берудегі жаңартылған білім беру мазмұнына тез бейімделу болып табылады. Университеттерде болашақ математика мұғалімдерін даярлаудағы қиындықтардың бірі-жаңа стандарттағы мұғалімдерді даярлауға бағытталған білім беру бағдарламаларын әзірлеу.

Болашақ математика мұғалімдерін даярлауға байланысты мәселелердің қазіргі заманда маңызы зор. Цифрлық білім беру технологиялары мен ғылыми әдістемелерді адам өмірі мен кәсіптерінің барлық қырлары бойынша кеңінен интеграциялау мектептерде оқытудың жалпы стандарттарын жоғарылатуды талап етеді. Демек, бұл болашақ математика мұғалімдерінің дайындығын арттыру қажеттілігін көрсетеді.

Математика мұғалімдерін даярлау сапасына қатысты негізгі мәселелерге мыналар жатады: мұғалімдердің кәсіби даярлығының сапасын бақылаудың теориялық негіздерін құру, математика мұғалімдерінің теориялық және әдістемелік дайындығын жетілдіру, математика мұғалімдерін даярлаудағы теорияларды жетілдіру, мұғалімдердің математикалық білімінің мазмұнын жобалау және құрылымдау. Атап айтқанда, білім беруді цифрландыру жағдайында болашақ математика мұғалімдерінің жоғары оқу орындарында кәсіби математика мұғалімдерін даярлау шеңберінде педагогикалық дизайнмен айналысудағы әдістемелік құзыреттілігін арттыру маңызды мәнге ие болады [3].

Тек жоғары білікті мұғалімдер ғана мектептерде математиканы оқытудың жоғары стандарттарын қамтамасыз ете алады. Демек, болашақ математика мұғалімдерінің университет деңгейінде адекватты әдістемелік дайындығы, олардың педагогикалық мекемелерде заманауи стандарттарға сәйкес, сондай-ақ заманауи педагогикалық әдістемелер арқылы білім алуы сапалы білім берудің кепілі болып табылады.

Теориялық аспектісі

Сандық білім беру жағдайында болашақ математика мұғалімдерін кәсіби даярлау шеңберінде педагогикалық дизайнды құру теориялық және әдістемелік делимитация, әдістемелік қамтамасыз ету және талдау арқылы мәселенің астын сызу үшін қарастырылады.

Жалпы Қазақстанда педагогикалық дизайн бойынша отандық зерттеулер мен авторлық жұмыстардың тапшылығы байқалады.

Кейбір ғалымдардың пікірінше, математикалық пәндерді оқытудың жүйелік-әдіснамалық негізі оқыту процесінің тиімділігін арттырудың және болашақ математика мұғалімдерінің

тұлғалық дамуына ықпал етудің, әсіресе олардың кәсіби өсуіне қолайлы жағдай туғызудың басты педагогикалық шарты өсу болып табылады [4].

Қазіргі уақытта көптеген зерттеулер педагогикалық жоғары оқу орындарында болашақ математика мұғалімдерін әдістемелік даярлау мәселесіне арналған. Мысалы, Н.Л. Стефанова мен Н. С. Подходованың монографиясы қазіргі математикалық білім берудің әдістемелік жүйесін дамытудың теориялық аспектілерін қарастырады. А.М. Пышкало оқытудың мақсаты, мазмұны, әдістері, формалары мен құралдары сияқты элементтерді қамтитын "математиканы оқытудың әдістемелік жүйесі" ұғымын енгізеді. Осы Уақытта В. И. Снегурованың диссертациялық зерттеуінде әдістемелік жүйенің тиімділігін бағалау критерийлері қарастырылған.

Педагогикалық дизайнның теориялық негіздеріне үлес қосқан орыс ғалымдарының қатарына М.Ю.Бухаркина, М.В.Моисеева, М.И.Нежурина, Е.В.Оспенникова, А.Ю.Уваров және т.б ғалымдарды жатқызуға болады. Ал, Р.Глазер, Т.Рэган және П.Смит сияқты шетелдік зерттеушілер де бұл салада айтарлықтай өз үлестерін қосты. Педагогикалық дизайнды шетелдік білім беру жүйелерінде қолдану өте жақсы зерттелген. Педагогикалық дизайн негізінде ресейлік білім беру жүйесінде де болашақ педагогтарды даярлау мәселелері Г.А. Бордовской, А. Д. Иванников, К. Г. Кречетников, Е. С. Полат еңбектерінде талқыланған. Ал, елімізде Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің аға оқытушысы А. А. Міндетбаева педагогикалық дизайн негіздерін қолдану әдістерін өз ғылыми жұмысында зерттеді[5].

Осы тақырыптың теориялық және практикалық аспектілерін қарастыра отырып, болашақ математика мұғалімдеріне педагогикалық дизайн дағдыларын беру әдістемесін қарастырайық.

Біріншіден, педагогикалық дизайн нені білдіретінін түсінуге тырысайық.

«Педагогикалық дизайн» термині ағылшын тіліндегі «instructional design, ID» термині негізінде анықталған және ол білім беру дизайны немесе оқу материалдарын әзірлеу деген мағынаны білдіреді. Ол екі ұғымды біріктіреді – оқу, нұсқаулық, білім беру және design - жоспар, сызба, модель, композиция.

Педагогикалық жобалаудың мақсаты - тиімді және жүйелі білім беру жобаларын құруға ықпал ете отырып, жеке студенттерге бейімделген жоспарлау мен оқытудың кешенді негізін құру.

"Нұсқаулық дизайн" немесе "педагогикалық дизайн" термині дизайн тұжырымдамасының өзімен тығыз байланысты. Дизайн ғылым ретінде танылады және нақты мақсаттарды басшылыққа алатын стратегиялық жоспарды білдіреді. Педагогикалық дизайн, салыстырмалы түрде жаңа сала, психология мен мультимедиялық теория элементтерін өзінің теориясы мен мазмұнына біріктіреді.

Негізінде, педагогикалық дизайн тартымды, тиімді және жемісті оқу және оқу материалдарын жасауға арналған оқу құралы ретінде қызмет етеді. Педагогикалық дизайнның маңыздылығын баса көрсете отырып, "дәрігер адам денсаулығын жобалайды, сәулетші кеңістікті жобалайды, ал педагогикалық дизайнер адам білімін жобалайды" деп жиі айтылады.

Педагогикалық дизайн-бұл оқу/оқыту теориясына негізделген оқу материалдарын әзірлеудің құрылымдық процесі, ол осы материалдарды пайдалана отырып, оқытудың жоғары сапасына сенімділікті қамтамасыз етеді. Педагогикалық дизайн оқу қажеттіліктерін талдауды, оқу нәтижелерін тұжырымдауды және анықталған қажеттіліктерді қанағаттандыру және алға қойылған мақсаттарға жету үшін құралдар жинағын (яғни, оқу материалдарын) әзірлеуді қамтиды [6].

Сонымен қатар, педагогикалық дизайн оқу материалдары мен іс-әрекеттерін жасауды, енгізуді және бағалауды, оны мектеп жағдайында сабақтарды жоспарлау мен орындауға қолдануды көздейді.

Роберт Ганье педагогикалық дизайн принциптерін, оның ішінде оқушылардың назарын аудару, оқу мақсаттарын нақтылау, оқу материалын ұсыну, оқылған материалды есте сақтауға

мүмкіндік беретін нұсқаулық ұсыну, тәжірибе арқылы білімді нығайту, бағалау үшін кері байланысты ұйымдастыру және оқушылардың үлгерімін бағалауды атап өтті [7].

Педагогикалық дизайн оқу мақсатынан, оқу материалдарынан және цифрлық құралдардан тұрады. Сондай-ақ, «Педагогиканы қайта зерделеу» кітабында педагогикалық дизайнға төмендегідей анықтамалар берілген:

- Педагогика сияқты, дизайн да — теория мен практиканы біріктіретін термин. Ол нақты бір тұғырмен қатар, қоршаған жағдайларға үнемі бейімделіп отыратын контекске сай келетін тәжірибелердің жиынтығын қамтиды.

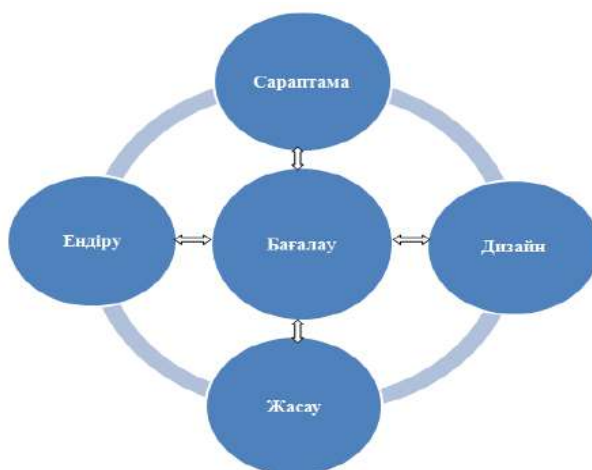
- Екіншіден, «дизайн» дегеніміз — жаңа цифрлық экономикадағы өте құнды іс-әрекет және барған сайын біздің өзара маңызды қарым-қатынасымыздың көбі дизайндалған кеңістіктер немесе интерфейстер негізінде жүзеге асатындықтан, мәні артып отырған пәнаралық қабілеттілік.

- Үшіншіден, оқыту курстарының сапасын жақсарту мен білім беруді кәсібилендіру бұл курстарды әзірлеуде шартты тұғырларды ұстануды білдіреді. Сабақ жоспары, бақылаушы құжаттар мен оқу құралдары сияқты «жобалаулар» әдетте жеке немесе кәсіби шолу мен сапа артуының дәлелі ретінде жасалады [8].

Сонымен, педагогикалық дизайн – бұл стратегиялардың жүйелі қосымшасы және педагогикалық мәселелерді шешуге арналған бихевиоризмді, когнитивті және конструктивті теориясы.

Басқа педагогикалық формалардан жоспарлау, әзірлеу және бағалау процесіне кіретін есептеулері және оның деңгейі бойынша ерекшеленеді [12].

Педагогикалық жобалаудың әр түрлі модельдері бар, олардың әрқайсысы оқыту мақсаттарын анықтау, осы мақсаттарға жетуді жоспарлау әдістері, жоспарланған іс-шараларды жүзеге асыру, стратегияларды қарастыру және бағалау сияқты жалпы сипаттамаларға ие. Мысалға ADDIE, SAM, SMART және ALD модельдерін атап айтуға болады. SAM моделі дайындықтан, циклдік әзірлеуден және әрекет картасынан тұратын итеративті даму циклдарына баса назар аударады. Ал SMART моделі – нақты тұжырымдалған және өлшенетін мақсаттарға негізделген жобаны басқару жүйесі. Оның мәні атаудың өзінде тұр, яғни Specific – арнайы, Measurable – өлшенетін, Attainable – қолжетімді, Relevant – қазіргі және Timebound – уақытпен шектелген. Яғни, мақсаты нақты, қолжетімді және белгілі бір мерзімге байланысты болуы керек. Analysis – талдау, Design – жобалау, Development – жасау, Implementation – жүзеге асыру және Evaluation – бағалау кезеңдерін қамтитын ADDIE моделі жүйелі көзқарасы мен тәжірибеде дәлелденген тиімділігінің арқасында кеңінен қолданылады [9]. Енді педагогикалық дизайнның жиі кездесетін типтік моделі-ADDIE моделіне түсініктеме берейік (1-Суретте көрсетілгендей).



Сурет 1. «ADDIE» моделі

- Analysis/Анализ/Сараптама – білім алушылар және оқыту мәселелерінің оқыту ортасы;
- Design/Дизайн/Дизайн – педагогикалық қызметті құрудың жоспарын құрастыру;
- Development/Разработка/Жасау - педагогикалық қызметті құру;
- Implementation/Внедрение/Ендіру - жобалауды ендіру;
- Evaluation/Оценка/Бағалау – білім алушыларды бағалау жұмыстары және берілген

жобаның тиімділігі [10].

"ADDIE" фазалары жабық тізбек принципі бойынша жұмыс істейді, бұл процестің оңтайлы орындалуы үшін қайталауды қажет етеді. Педагогикалық жобалау кезеңін мақсатты түрде оңтайландыруға болатынымен, іске асыру студенттердің қажеттіліктерін зерттегеннен кейін ғана жүзеге асырылады. Бұл процесс қашықтықтан оқыту технологиясында ерекше маңызға ие болады, себебі мұнда оқытушылар мен студенттер арасындағы жеке қарым-қатынастың шектеулі болуына байланысты. Сонымен, А.Ю. Уваров педагогикалық дизайнды зерттеушілердің бірі ретінде бұл ұғымды «тиімді оқу жұмысын туралы білімді (қағидаларды) пайдалану, (оқыту және оқу) жобалау, дамыту, бағалау және оқу материалдарын пайдалану процесінде жүйелі білімді қолдану» деп анықтама берді.

Электрондық оқулықтар сияқты заманауи оқу материалдарын жасау-бұл бірлескен жұмыс. Әр түрлі мамандар, соның ішінде жоспарлаушылар, суретшілер, әдіскерлер, бағдарламашылар және басқалар бірлесіп жұмыс істейді. Егер бір адамға оқу материалын дайындау тапсырылса, ол жоспарлау, жобалау және бағдарламалаумен айналысуы керек, бұл дағдылардың күрделі үйлесімі. Қазіргі уақытта электронды оқулықтарды көпсалалы топтар әзірлеуде, онда суретшілер иллюстрациялар мен дизайн бағдарламаларын жасайды, пән мамандары сценарийді әзірлейді және тапсырмаларды жасайды, операторлар бейне мазмұнын түсіреді, бағдарламашылар компьютерлік үлгілерді құрастырады, ал педагогикалық дизайнер (немесе әдіскер) жұмыстың жалпы мағынасы мен педагогикалық тиімділігін қадағалайды [11].

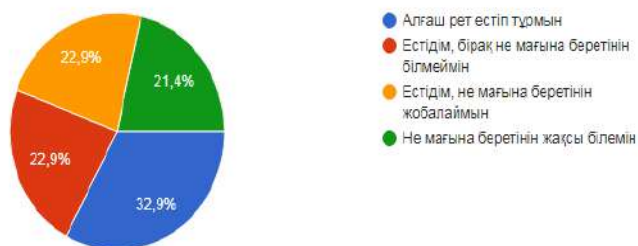
Аталған модельдердің ішінен ADDIE моделін басшылыққа ала отырып, «Мектеп математикасы курсындағы педагогикалық дизайн» тақырыбындағы курстың моделі жасалуда. Аталған тақырыптағы курстың негізгі мақсаты – заманауи білім беруде цифрлық технологияларды кешенді қолдану, мұғалімдердің цифрлық құзыреттілігін арттыру.

Зерттеу нәтижелері

ADDIE моделінің алғашқы кезеңі – Analysis – талдауға сәйкес алдымен университет оқытушылары мен «Математика» білім беру бағдарламасы бойынша білім алушыларынан сауалнама алынып, негізгі мәселелер анықталды. Жүргізілген сауалнама бойынша нәжелер проценттік көрсеткіште ұсынылып отыр. Сауалнама нәтижелері бойынша «педагогикалық дизайн» ұғымына көбірек насихат жасалуы қажет екені белгілі болды. Сауалнамаға қатысушылардың басым көпшілігінің жауабы дәлел болды.

"Педагогикалық дизайн" ұғымы туралы естуіңіз бар ма?

70 жауап



Сурет 2. Сауалнаманың бірінші сұрағы бойынша көрсеткіші

Педагогикалық дизайн арқылы оқу материалдарын тиімді және нәтижелі педагогикалық құрал ретінде пайдалану қажеттілігі мойындалды.

"Педагогикалық дизайн" дегенді қалай түсінесіз?

68 жауап



Сурет 3. Сауалнаманың екінші сұрағы бойынша көрсеткіші

Болашақ мұғалімдерді жаңа технологиямен оқытып, оларға сандық білім беру ресурстарын қалай дайындау керектігін, педагогикалық дизайнның артықшылықтарын білім беру үдерісінде тиімді қолдану жолдарының қажеттілігін көрсетті.

Сіздің ойыңызша педагогикалық дизайнның артықшылықтары?

69 жауап

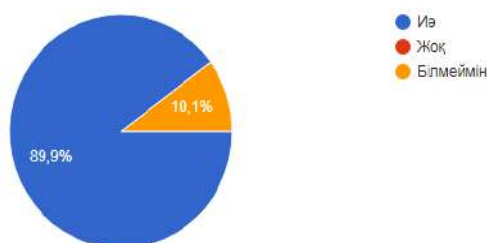


Сурет 4. Сауалнаманың үшінші сұрағы бойынша көрсеткіші

Педагогикалық дизайн негіздерін меңгеру мұғалімдерге тәжірибе жүзінде өз көмегін тигізетіндігі, педагогикалық дизайн негіздерін қолдана отырып білім беру сапасын арттыруға болатындығы анықталды.

Педагогикалық дизайн - бұл оқыту мен оқу материалдары тартымды, тиімді, нәтижелі болатын педагогикалық инструмент. Бұл білім беру тәсілі қажет деп ойлайсыз ба?

69 жауап



Сурет 5. Сауалнаманың төртінші сұрағы бойынша көрсеткіші

Нәтиже барысында оқу процесінде "Мектеп математика курсына педагогикалық дизайн" атты жаңа курсты оқу жоспарына енгізу арқылы мұғалімдерге тәжірибе жүзінде өз көмегін тигізетіндігі анықталды.

Дизайн деңгейінде алдын ала белгіленген талаптарды анықтап және олардың шешімін табу жүзеге асады. Ол оқытуда мультимедиялық мүмкіндіктерді қолдануды өз қызметіне алады. Осыған байланысты елімізде білім саласына бұл пәнді оқыту пәні ретінде енгізу қолға алынса оның маңыздылығы зор болмақ. Бұл әсіресе білім бағытында оқып жатқан білім алушылар, яғни болашақ мұғалімдер үшін аса құнды, аса қажет пән болып табылар еді. Осы курсты оқу негізінде кез-келген оқытушыға өз пәні үшін нақты, тиімді жобалауына және оны кәсіби түрде құрастыруына мүмкіндік туатыны сөзсіз. Ал бұл білім осы «Педагогикалық дизайн» ғылымы негізінде толық беріледі.

ADDIE моделі сауалнамасында көрсетілген мәселелер "Жобалау" кезеңін ұйымдастырудың негізі болды. Сабақтарды түсіндіру және тапсырмаларды түрлендіру кезінде онлайн платформалармен көбірек танысу университет оқытушылары мен математика студенттері үшін өте маңызды екені анықталды. Осы модельдің "Жасау" кезеңіне сәйкес курстың педагогикалық дизайнының өзегін құрайтын жұмыстың мазмұны әзірленетін болады.

Кейіннен ADDIE педагогикалық дизайн моделіне сәйкес "Іске асыру" кезеңі жүзеге асырылады. Сонымен қатар, іске асырудың тиімділігін бағалай отырып, ADDIE моделіне негізделген бағалау жүргізілетін болады.

Мұндағы мақсат - ғылыми зерттеулердің дәйектілігін қамтамасыз ету арқылы оның практикалық маңыздылығын анықтау. Зерттеу нәтижелерін болашақ математика мұғалімдерін жоғары оқу орындарында кәсіби даярлауда, әсіресе математика әдістерін оқытудың педагогикалық процесінде қолдануға болады. Сонымен қатар, оларды институттарда білім беру жүйесі мамандарының біліктілігін арттыру және математиканы оқытын колледж студенттеріне кеңес беру үшін пайдалануға болады.

Педагогикалық дизайнның міндеті – жоспарланған педагогикалық нәтижеге жету үшін нақты педагогикалық әрекеттерді құрастыру; мазмұны мен мақсатты аудиторияны ескере отырып, білім мен күзінділікте қалаған өзгерістерді жүзеге асырудың ең тиімді педагогикалық ортасын құру процесі. Сонымен, педагогикалық дизайн білім алушыға бағытталған, жеке тұлғаға бағытталған білім беру бағдарламасын және оны дамытудың оңтайлы ортасын сапалы құрастыру үшін тұлғаға әсер етудің педагогикалық-психологиялық құралдарын білдіреді.

Дискуссия

Берілген анықтамаларды, мәліметтерді талдай келе, біздің зерттеу аямызда, педагогикалық дизайн – бұл оқыту мен оқу материалдары тартымды, тиімді, нәтижелі болатын педагогикалық құрал ретінде қарастырамыз. Педагогикалық дизайн, ең алдымен, кусты мазмұнды ақпаратпен толтыруға, көрсетілімнің дәйектілігін қалыптастыруға және оқу материалын ұсынудың заманауи әдістерін енгізуге бағытталған. Курстың жүйелі дамуы білім алушы үшін қолжетімді түрде ақпараттың толық берілуіне байланысты. Бірақ ұсыну фактісі білім алушының материалдың мазмұнын нақты қабылдауына қол жеткізу сияқты маңызды емес, қабылдаудың қолжетімділігін, алған білімдерін практикада қолдану мүмкіндігін қамтамасыз ету маңызды.

Қорытынды

Қорытындылай келе, педагогикалық дизайнердің рөлін тек әдістемелік сауатты мұғалім ғана тиімді орындай алатыны анық, өйткені педагогикалық дизайн бағдарламасында оқытудың психологиялық-педагогикалық принциптері қамтылған.

Цифрлық білім беру саласында болашақ математика мұғалімдерін кәсіби даярлау жүйесінде педагогикалық дизайнды құру өте маңызды. Әдістемелер әзірленді, эксперимент нәтижелері алынды, қорытындылар мен ұсыныстар тұжырымдалды. Білім беру процесі үнемі дамып отыратын және үздіксіз дамуды қажет ететін субъект екендігі белгілі. Мұғалімдер де қоғамның қажеттіліктеріне сәйкес дамуы керек. Жаңа ұрпақты оқытуда цифрлық құралдарды

түсіну және қолдану тиімді сабақтар үшін өте маңызды. Демек, ақпараттық құзыреттілікті арттыруға бағытталған кез келген курстың ұсынатын көп нәрсесі бар.

«Жаңа дәуірдің ұстазы-рухани ағартушы және элеуметтік жағынан жетілген тұлға, әр түрлі педагогикалық құралдарды жетік меңгерген білікті маман, үнемі өзін-өзі жетілдіруге ұмтылатын шығармашыл тұлға». Ұсынылған курстың педагогикалық дизайнының мақсаты, міндеті жаңа формациядағы мұғалім болып қалыптасуға айтарлықтай септігін тигізеді.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

[1] Тоқаев Қ. Республикалық педагогтер съезі, 2024. https://kaz.tengrinews.kz/kazakhstan_news/tubegeyl-jana-kozkaras-kajet-tokaev-kazakstandagyi-blm-beru-354564/

[2] Сериков В.В. Обучение как вид педагогической деятельности: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 256 с.

[3] Грецова А. П. Развитие познавательных способностей старшеклассников средствами педагогического дизайна: дисс. к. пед. н. Саратов, 2016. 194 с.

[4] Краснянский М. Н., Радченко И. М. Основы педагогического дизайна и создания мультимедийных обучающих аудио/видео материалов. Тамбов: ТГТУ; Педагогический интернет-клуб, 2006. 56 б.

[5] Миндетбаева А. А., Мусаханова М. А. Болашақ информатика мұғалімдерін кәсіби даярлауда педагогикалық дизайн негіздерін қолдану әдістері. Түркістан қаласы. 2022. <https://azdok.org/kz/article/creation-software-complex-extracurricular-activities-informatics.11378719>

[6] Клепикова А. Г. Подготовка будущего учителя к использованию педагогического дизайна в профессиональной деятельности: автореф. дисс. Белгород, 2009. 21-24 с.

[7] Gagné R.M. Principles of instructional design. Thomson/Wadsworth, 2005. — 416 p. <https://archive.org/details/principlesofinst00gagn/page/n1/mode/2up>

[8] Битэм Э. Педагогиканы цифрлық дәуірде қайта зерделеу. ХХІ ғасырдағы оқыту дизайны. Алматы: «Ұлттық аударма бюросы» қоғамдық қоры. — 2019. 328 б. <https://openi.kz/kz/book/pedagogikany-cifrlыq-d-uirde-qayta-zerdeleu-hhi-gasyrdagy-oqytu-dizaynu>

[9] Курносова С.А. Педагогический дизайн: эксплицирование понятия. Междунар. журн. эксперимент. обр. — 2012. — № 8. — С. 36–42. <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=3030>

[10] Уваров А.Ю. Педагогический дизайн [Электронный ресурс]/А.Ю.Уваров// Электронный журнал «Вопросы Интернет-образования», №10, 2004. <https://ru.z-library.se/book/3297995/37184f/Педагогический-дизайн.html?dsource=recommend>

[11] Уваров А.Ю. Педагогический дизайн // Информатика: прил. к газ. «Первое сентября». – Б.м. – 2003. – 8-15 авт.(№30). – стр.2–31. <https://elib.bspu.by/bitstream/doc/34560/1/Пед.дизайн.Сетевой%20урок.pdf>

[12] Такушев И. А. Исследование педагогического дизайна в синхронии и диахронии / И.А. Такушев // Человек и образование. – 2015. – № 2 (43). – с. 95-99 http://obrazovanie21.narod.ru/Files/2015-2_095-099.pdf

References

[1] Tokayev K. (2024) Respublikalyq pedagogter sezi [Republican Congress of teachers]. (In Kazakh) https://kaz.tengrinews.kz/kazakhstan_news/tubegeyl-jana-kozkaras-kajet-tokaev-kazakstandagyi-blm-beru-354564/

[2] Serikov V.V. (2008) Obuchenie kak vid pedagogicheskoy dejatel'nosti: ucheb. posobie dlja stud. vyssh. ucheb. zavedenij [Teaching as a type of pedagogical activity: a textbook for students of higher educational institutions]. М.: Publishing center "Academy", 256 p. (In Russian)

[3] Gretsova A. P. (2016) Razvitie poznavatel'nyh sposobnostej starsheklassnikov sredstvami pedagogicheskogo dizajna [Development of cognitive abilities of high school students using pedagogical design]: dissertation. k. ped. n. Saratov, 194 p. (In Russian)

[4] Krasnyansky M. N., Radchenko I. M. (2006) Osnovy pedagogicheskogo dizajna i sozdaniya mul'timedijnyh obuchajushhih audio/video materialov [Fundamentals of educational design and creation of multimedia educational audio/video materials]. Tambov: TSTU; Pedagogical Internet Club, 56 b. (In Russian)

[5] Mindetbaeva A. A., Musakhanova M. A. (2022) *Bolaşaq informatika mūğalimderin käsibi daiarlauda pedagogikalyq dizain negizderin qoldanu ädisteri [Methods of using pedagogical design principles in professional training of future computer science teachers]. Turkistan kalasy. (In Kazakh) <https://azdok.org/kz/article/creation-software-complex-extracurricular-activities-informatics.11378719>*

[6] Klepikova A. G. (2009) *Podgotovka budushhego uchitelja k ispol'zovaniju pedagogicheskogo dizajna v professional'noj dejatel'nosti [Preparing a future teacher to use pedagogical design in professional activities]: abstract of thesis. diss. ... k. ped. n. Belgorod, 24 p. (In Russian)*

[7] Gagné R.M. (2005) *Principles of instructional design. — Thomson/Wadsworth, 416 p. <https://archive.org/details/principlesofinst00gagn/page/n1/mode/2up>*

[8] Bitham, E. (2019) *Pedagogikany sifrlıyq дәuirde qaita zerdeleu. XXI ғасырдағы оқыту dizainy [Rethinking Pedagogy in the Digital Age. Instructional design in the 21st century]. Almaty: “Ultyk audarma bureausy” kogamdyk kory. 328 b. (In Kazakh) <https://openu.kz/kz/book/pedagogikany-cifrlıyq-d-uirde-qayta-zerdeleu-hhi-gasyrdagy-oqytu-dizayny>*

[9] Kurnosova S.A. (2012) *Pedagogicheskij dizajn: jeksplicirovanie ponjatija [Pedagogical design: explication of the concept]. International. magazine experiment. arr. No. 8. - P. 36–42. (In Russian) <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=3030>*

[10] Uvarov A.Yu. (2004) *Pedagogicheskij dizajn [Pedagogical design] [Electronic resource]. Electronic journal “Issues of Internet education”, No. 10. (In Russian) https://ru.z-library.se/book/3297995/37184f/Педагогический_дизайн.html?dsource=recommend*

[11] Uvarov A.Yu. (2003) *Pedagogicheskij dizajn [Pedagogical design]. Informatics: appendix. to gas "First of September." B.m. August 8-15 (No. 30). pp. 2–31. (In Russian) <https://elib.bspu.by/bitstream/doc/34560/1/Пед.дизайн.Семевой%20урок.pdf>*

[12] Takushevich I.A. (2015) *Issledovanie pedagogicheskogo dizajna v sinhronii i diahronii [Study of pedagogical design in synchrony and diachrony]. Man and education. No. 2 (43). pp. 95-99. (In Russian) http://obrazovanie21.narod.ru/Files/2015-2_095-099.pdf*

ИНФОРМАТИКА
COMPUTER SCIENCE

IRSTI 81.93.29

10.51889/2959-5894.2024.86.2.017

N.B. Daukenov^{1*}, I.A. Tereikovskiy²

¹al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

*e-mail: nb.daukenov@gmail.com

**INTEGRATION AND AUTOMATION IN ACTIVE PROTECTION OF NETWORK
RESOURCES: PROSPECTS FOR DEVELOPMENT**

Abstract

This study investigates the future prospects of integration and automation in the active defense of network resources. The main objective of the paper is to evaluate the effectiveness of integrated and automated network resource defense systems in detecting and responding to cyber threats. By analyzing existing technologies, attack modeling, and defense responses, the study validates the importance of integration and automation in reducing threat detection time and improving detection accuracy. The research considers integrated and automated defense systems as the subject and their effectiveness in detecting and responding to cyber threats as the object of study. The objectives of the work include conducting an analysis of existing integration and automation technologies, modeling attack scenarios and defense responses, and examining the impact of integration and automation on threat detection time and accuracy. The results of the study confirm a reduction in threat detection time from 200 minutes to 20 minutes and an increase in detection accuracy from 75% to 95% after the implementation of integration and automation. The findings of the analysis highlight the key role of integration and automation in improving the protection of network resources, making systems more responsive and accurate in detecting and preventing cyberattacks.

Keywords: integration, automation, network resource protection, cyber threats, effectiveness, threat detection, response, information security.

Н.Б. Даукенов¹, И.А. Терейковский²

¹әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Игорь Сикорский атындағы Киев политехникалық институты, Киев қ., Украина

**ЖЕЛІЛІК РЕСУРСТАРДЫ БЕЛСЕНДІ ҚОРҒАУДА ИНТЕГРАЦИЯ ЖӘНЕ
АВТОМАТТАНДЫРУ: ДАМУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ**

Аңдатпа

Бұл зерттеу желілік ресурстарды белсенді қорғау саласындағы интеграция мен автоматтандырудың даму перспективаларын зерттейді. Жұмыстың негізгі мақсаты – киберқауіптерді анықтау және оларға әрекет етуде біріктірілген және автоматтандырылған желілік ресурстарды қорғау жүйелерінің тиімділігін бағалау. Қолданыстағы технологияларды талдау және шабуылдар мен қорғаныс жауаптарын модельдеу арқылы зерттеу қауіптерді анықтау уақытын қысқарту және анықтау дәлдігін жақсарту үшін интеграция мен автоматтандырудың маңыздылығын растайды. Зерттеу нысаны ретінде интеграцияланған және автоматтандырылған қауіпсіздік жүйелерін және олардың зерттеу пәні ретінде киберқауіптерді анықтау және оларға әрекет ету тиімділігін қарастырады. Жұмыстың міндеттеріне қолданыстағы интеграциялық және автоматтандыру технологияларын талдау, шабуыл сценарийлері мен қорғаныс реакцияларын модельдеу, сондай-ақ интеграция мен автоматтандырудың қауіпті анықтау уақыты мен дәлдігіне әсерін зерттеу кіреді. Зерттеу нәтижелері интеграция мен автоматтандыруды енгізгеннен кейін қауіпті анықтау уақытының 200 минуттан 20 минутқа дейін

қысқаруын және анықтау дәлдігінің 75%-дан 95%-ға дейін артқанын растайды. Талдау нәтижелері желі ресурстарын қорғауды жақсартуда, жүйелерді кибершабуылдарды анықтау және алдын алуда неғұрлым жауапты және дәл етуде интеграция мен автоматтандырудың негізгі рөлін көрсетеді.

Түйін сөздер: интеграция, автоматтандыру, желілік ресурстарды қорғау, киберқауіптер, тиімділік, қауіп-қатерді анықтау, ден қою, ақпараттық қауіпсіздік.

Н.Б. Даукенов¹, И.А. Терейковский²

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

² Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского, г. Киев, Украина

ИНТЕГРАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В АКТИВНОЙ ЗАЩИТЕ СЕТЕВЫХ РЕСУРСОВ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Аннотация

Данное исследование исследует перспективы развития интеграции и автоматизации в сфере активной защиты сетевых ресурсов. Основная цель работы заключается в оценке эффективности интегрированных и автоматизированных систем защиты сетевых ресурсов в обнаружении и реагировании на киберугрозы. Путем анализа существующих технологий, моделирования атак и защитных реакций, исследование подтверждает важность интеграции и автоматизации для сокращения времени обнаружения угрозы и повышения точности обнаружения. В рамках исследования рассматриваются интегрированные и автоматизированные системы защиты как объект и их эффективность в обнаружении и реагировании на киберугрозы как предмет исследования. Среди задач работы - проведение анализа существующих технологий интеграции и автоматизации, моделирование сценариев атак и защитных реакций, а также изучение влияния интеграции и автоматизации на время и точность обнаружения угрозы. Результаты исследования подтверждают уменьшение времени обнаружения угрозы с 200 минут до 20 минут и повышение точности обнаружения с 75% до 95% после внедрения интеграции и автоматизации. Выводы анализа подчеркивают ключевую роль интеграции и автоматизации в улучшении защиты сетевых ресурсов, делая системы более оперативными и точными в обнаружении и предотвращении кибератак.

Ключевые слова: интеграция, автоматизация, защита сетевых ресурсов, киберугрозы, эффективность, обнаружение угрозы, реагирование, информационная безопасность.

Main provisions

Critical Role of Integration and Automation. The study demonstrates that integration and automation are essential for modern cybersecurity. Traditional methods, reliant on manual intervention, are inadequate against sophisticated threats. Automated systems improve detection, analysis, and mitigation of cyber risks, providing real-time responses and enhancing overall security.

Significant Improvement in Threat Detection and Response. The implementation of integrated and automated security solutions significantly reduces threat detection time from 200 minutes to 20 minutes and increases detection accuracy from 75% to 95%. This enhances the efficiency of security operations and reduces the impact of potential cyberattacks.

Advancements in AI and ML. Technologies such as artificial intelligence and machine learning are crucial in advancing cybersecurity. They enable the analysis of large data sets to identify early signs of threats, allowing for proactive defense strategies that adapt to new and evolving cyber threats.

Challenges and Future Directions. Despite the benefits, challenges such as technical interoperability and organizational resistance remain. Future research should focus on developing adaptive, intelligent security systems, leveraging blockchain for data integrity, and using cloud technologies for scalable and flexible defenses.

Practical Implications. The study underscores the practical benefits of using simulation tools like Kali Linux, Metasploit, Snort, and Suricata in a controlled environment. Organizations are encouraged to adopt these advanced security measures to strengthen their defenses against an ever-evolving threat landscape.

Introduction

In the context of our dynamic and ever-changing digital environment, cybersecurity assumes a pivotal role in safeguarding the diverse range of risks that pose risks to both individual and institutional resources. The widespread use of the Internet of Things (IoT) has greatly broadened the range of potential risks by linking an unparalleled quantity of gadgets to the internet. The interconnectivity, although enabling advancements and ease in everyday activities, also exposes novel weaknesses and avenues for cybercriminals to exploit.

The Evolving Landscape of Cyber Threats. The emergence of the Internet of Things (IoT) has introduced a novel dimension to the digital landscape, facilitating the integration of domestic devices, industrial equipment, and critical infrastructure networks over the internet. The process of integration has resulted in the convergence of the physical and digital realms, hence enabling cyber threats to yield concrete and observable outcomes in the physical world. The deliberate targeting of these devices has the potential to interrupt critical services, damage individuals' personal information, and pose a significant risk to human life. The extensive range and magnitude of Internet of Things (IoT) devices provide a significant obstacle, as each device has the potential to be exploited by unscrupulous individuals [1,2].

The difficulties encountered in conventional cybersecurity methodologies. Traditionally, cybersecurity endeavors have predominantly depended on human involvement and a responsive strategy towards potential dangers. Security teams engage in the continuous monitoring of systems to detect any signs of compromise, promptly addressing problems as they occur. Nevertheless, this approach is becoming progressively inadequate in countering advanced, automated assaults that can surpass human reaction times. In addition, the extensive array of IoT devices worsens the situation by increasing the number of ways in which attacks can be initiated, rendering it difficult for security experts to manually safeguard each endpoint.

Integration and automation play a crucial role in the realm of cyber defense.

In response to the changing nature of threats, there is a noticeable trend towards incorporating and mechanizing cybersecurity measures. This method utilizes technology to optimize the process of identifying, analyzing, and mitigating hazards without the need for continuous human supervision. Organizations can enhance their ability to promptly and efficiently address risks by incorporating a variety of security solutions and automating repetitive operations. Automation is of paramount importance in the realm of predictive defense mechanisms, as it enables systems to proactively anticipate future attacks by analyzing patterns and anomalies, hence facilitating real-time adjustments to their defensive measures.

Enhancement and mechanization in the field of cyber defense. The field of cyber defense has witnessed notable progress in terms of integration and automation, with artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) emerging as prominent technologies. These technologies facilitate the examination of huge quantities of data in order to identify minor indications of cyber dangers, frequently prior to their escalation into comprehensive attacks. Nevertheless, the implementation of these sophisticated systems differs significantly among firms, affected by factors such as the availability of resources, regulatory obligations, and the perceived level of risk.

Advantages of a Comprehensive and Automated Methodology. There are several advantages associated with the implementation of integrated and automated cyber protection systems. These benefits encompass the capacity to handle and examine data on a large scale, expedited identification and reaction to incidents, and a decrease in the dependence on manual procedures that are susceptible to mistakes. In addition, automation enables the ongoing surveillance and modification of security postures, so ensuring the ongoing efficacy of defenses against ever-changing threats. Not only does this measure improve the security of network resources, but it also facilitates continuous business operations and safeguards critical information.

Challenges and Prospects for Future Development. Notwithstanding the evident advantages, the process of transitioning towards comprehensive and automated cyber protection systems is not devoid of obstacles. The constraints encompass technical obstacles, such as the presence of interoperability

concerns among diverse security systems, as well as organizational complexities, such as resistance to change and the necessity of enhancing the skills of the workforce. Furthermore, there exists a continuous competition among cybercriminals, who are also utilizing cutting-edge technologies to augment the complexity of their illicit activities.

When envisioning the future of cybersecurity, there is a discernible trend towards prioritizing the development of adaptive and intelligent systems capable of preemptively identifying and neutralizing potential threats before they materialize into actual harm. The successful implementation of these advanced systems hinges not only on technological advancements but also on the meticulous adoption and effective management of organizational cultures and processes. This integrated approach ensures that proactive cybersecurity measures align seamlessly with operational strategies, facilitating agile responses to evolving cyber landscapes and fortifying overall resilience against emerging threats. Thus, the convergence of cutting-edge technologies with cohesive organizational frameworks will be pivotal in safeguarding digital assets and sustaining robust defense mechanisms in the face of increasingly sophisticated cyber adversaries.

Research methodology

The next section provides a comprehensive explanation of the analytical techniques and instruments employed in the study to examine the integration and automation of network resources in active defense. The analysis relied on scholarly publications, articles in specialist journals, reports from research institutions, and conference proceedings pertaining to cybersecurity, integration, and automation in protection systems. Special emphasis was placed on papers pertaining to the most recent advancements in machine learning and artificial intelligence algorithms for the purpose of identifying potential threats. Additionally, the evaluation of the efficiency of integrated security and incident management (SIEM) systems was also conducted. Bruce Schneier is a highly esteemed authority in the field of cybersecurity and has authored a multitude of books and articles that encompass a wide range of subjects, including encryption and intricate cybersecurity. The author's work encompasses the core concepts that constitute the basis of information systems protection [1].

Ross Anderson holds the position of Professor of Computer Systems Security at the University of Cambridge. He is recognized as the author of Security Engineering, a scholarly work that explores multiple facets of information systems defense. This body of work delves into the imperative of integration and automation in enhancing the efficacy of defense measures [2].

Kevin Mitnick is a renowned hacker who has transitioned into a cybersecurity specialist. The author's literary works frequently explore the field of social engineering psychology and its implications for developing robust defense mechanisms [3].

In the field of machine learning and artificial intelligence for threat detection, notable researchers such as Andrew Ng, Yoshua Bengio, and Geoffrey Hinton have made substantial contributions. Their research on deep learning and neural networks has played a crucial role in shaping the advancement of contemporary threat detection systems. However, it is important to note that their specific research may not directly focus on cybersecurity [4,5,6].

The research on SIEM systems primarily centers around enhancing data integration and automating incident response, but the specific authors may differ. Journals such as the Journal of Network and Computer Applications and Security and Communication Networks frequently cover these subjects in their published articles.

The study employed simulation software to replicate authentic cyber-attack situations and corresponding protection strategies. The evaluation of the system's response to various forms of attacks, such as phishing, DDoS attacks, vulnerability exploitation, and malware, was facilitated by this. Several defense measures were also evaluated, such as intrusion prevention, event log analysis, and automated incident responses [7].

Simulation tools:

1. Kali Linux: This Linux system designed for penetration testing offers a comprehensive range of tools that facilitate the execution of attacks simulations. The utilization of Kali Linux facilitated the

establishment of a virtual environment whereby simulated assault operations were conducted on network resources that were safeguarded.

2. Metasploit: This penetration testing framework was used to develop and execute exploits targeting the defense systems under study. It was used to analyze the vulnerability of the systems to various types of attacks and the effectiveness of their defense mechanisms.

3. Snort: Acting as both an Intrusion Detection System (IDS) and Intrusion Prevention System (IPS), Snort was employed to systematically monitor network traffic for anomalous activities and deliver real-time responses to potential threats.

4. Suricata: This powerful IDS/IPS tool was also used to analyze traffic and detect attacks. Compared to Snort, Suricata provides additional multi-core processing capabilities and more advanced analysis, making it a valuable tool for testing the effectiveness of defense systems.

Simulation Procedure. As part of the study, a controlled virtual network was set up to simulate a corporate information system. On this network, various attack scenarios were deployed using the aforementioned tools to evaluate the ability of integrated and automated defense systems to effectively identify, block, and mitigate the effects of these attacks. Analysis of these simulations identified key aspects that impact the successful defense of network resources, including the speed of threat detection, the accuracy of identification, and the effectiveness of automated responses [8,9].

Results of the study

Integration and automation in the active protection of network resources play a key role in cybersecurity in today's digital world. As the number of cyberattacks increases and the methods of cyberattacks become more sophisticated, traditional approaches to protecting information systems need to be significantly strengthened with the introduction of integrated and automated solutions.

Integration in the active defense of network resources. The integration of various defense tools and systems allows for the creation of a single defense envelope covering all aspects of information security. This includes attack prevention, threat detection, incident response and post-attack recovery. Integration enables real-time communication and coordination between defense systems, which increases their effectiveness and reduces the time to respond to threats.

Automation in the active defense of network resources. Automating cybersecurity processes reduces human error, accelerates threat detection and neutralization, and optimizes resource utilization. Automated systems can analyze large amounts of data, identify patterns, and warn of potential attacks with high accuracy. In addition, they can automatically apply the necessary protection measures without direct intervention of specialists.

Future prospects. In the future, integration and automation in the active protection of network resources will continue to evolve, including the application of artificial intelligence and machine learning to enhance the analytical capabilities and effectiveness of security systems. The development of intelligent algorithms that can adapt to the changing threat landscape will be a key area of improvement in active defense techniques.

The adoption of advanced technologies such as blockchain to ensure data integrity and reliability, as well as the use of cloud technologies to increase the flexibility and scalability of defense systems, will also drive cybersecurity trends.

Here are some research studies that support the claims of integration and automation in active defense of network resources and their future prospects:

1) Security integration and automation can significantly improve threat detection and response performance in virtualized network services integrated with cloud orchestrators (Bringhenti et al., 2019) [10, p 7].

2) Spectrum Security cybersecurity protection models are developed for minimum and maximum detection and protection of industrial control automation networks, considering resilience to failure and double investment in detection and protection systems (Wiboonrat, 2023) [11, p 6].

3) An approach to integrate functional safety and cybersecurity assessments in business continuity management in energy companies using Industry 4.0 solutions is proposed, emphasizing the

importance of adapting to external systems and networks through different communication channels (Kosmowski et al., 2022) [12].

4) The automation of cyber threat detection and response, including the integration of cyber threat intelligence sharing platforms and policy-based security management systems, demonstrates the first steps towards integrating these approaches for immediate threat response (Amthor et al., 2019) [13].

These studies confirm that integration and automation are key aspects in strengthening the protection of network resources, offering new approaches to cybersecurity management. The importance of adapting and responding to the changing threat landscape with advanced technologies and innovative solutions is particularly emphasized.

This research paper summarizes the findings of a study conducted to analyze the vulnerabilities of business networks and evaluate the efficacy of protection systems in the face of various cyberattacks. To accomplish the predetermined goals, a virtual network environment was established to replicate a business network. Within this environment, a range of attack scenarios were simulated, encompassing phishing, DDoS, vulnerability exploitation, and malware introduction. In this study, the analysis was conducted utilizing contemporary information security tools, namely Snort and Suricata, which are IDS/IPS systems.

A systematic approach to establishing a virtualized network environment. Through the utilization of VMware and VirtualBox virtualization software, a simulated network was established, encompassing all essential elements of the company infrastructure, namely routers, switches, and servers. The aforementioned setting served as the foundation for subsequent modeling and analysis of cyberattacks.

Executing and evaluating adversary situations. The study involved the simulation and analysis of several sorts of assaults using Kali Linux and Metasploit.

To evaluate staff knowledge and the efficacy of inbound email filtering, fake phishing emails were created and distributed.

Distributed Denial of Service (DDoS) assaults were conducted to assess the network infrastructure's capacity to manage large-scale requests.

The evaluation of vulnerability databases and the prompt implementation of patches are crucial in assessing the significance of vulnerability exploitation.

Surveillance and examination. Network traffic monitoring and event log analysis were conducted using IDS/IPS Snort and Suricata. This development enabled the detection of attacks in real-time, as well as the evaluation of the effectiveness and agility of defense mechanisms.

Conducting an evaluation of the efficacy of defensive mechanisms. The examination of the gathered data unveiled notable disparities in the response time to simulated attacks and the precision of threat identification, contingent upon the nature of the attack and the configuration of the defense systems. The identification of key parameters that influence the efficacy of cyberattack detection and prevention was undertaken, alongside the proposal of strategies to enhance defense systems.

As part of the demonstration of our research on assessing the resilience of corporate networks to cyberattacks, we have developed and implemented software code that allows us to automate the execution of simulated attacks and the monitoring of network traffic. Below is a detailed description of the components of this code, which serves as the basis for performing experimental procedures in the virtual network environment we created.

```
# Import necessary libraries
import os
import time

# Define function to execute attack scenarios using Metasploit
def execute_attack_scenario(target_ip, attack_type):
    print(f"Executing {attack_type} attack on {target_ip}...")
    os.system(f"msfconsole -q -x 'use auxiliary/{attack_type}; set RHOSTS {target_ip}; exploit'")
```

```
# Define function to monitor network traffic using Snort
def monitor_network_traffic(interface):
    print(f"Monitoring network traffic on interface {interface}...")
    os.system(f"snort -i {interface} -A console")

# Define function to monitor network traffic using Suricata
def monitor_network_traffic_suricata(interface):
    print(f"Monitoring network traffic on interface {interface} using Suricata...")
    os.system(f"suricata -c /etc/suricata/suricata.yaml -i {interface}")

# Define target IP address and attack scenarios
target_ip = "192.168.1.100"
attack_scenarios = ["phishing", "ddos", "exploit", "malware"]

# Execute attack scenarios and monitor network traffic
for attack_type in attack_scenarios:
    execute_attack_scenario(target_ip, attack_type)

# Simulate monitoring of network traffic using Snort
monitor_network_traffic("eth0")

# Simulate monitoring of network traffic using Suricata
monitor_network_traffic_suricata("eth0")

# Wait for a period to collect data
time.sleep(300)
```

Automating simulated attacks using Metasploit. The `execute_attack_scenario` function, which takes as arguments the IP address of the target (`target_ip`) and the type of attack (`attack_type`), is used to simulate attacks on a virtual network. This function automates the process of launching attacks through the popular Metasploit pentesting framework, providing a unified and controlled way to test network defenses.

Monitoring network traffic using Snort. The `monitor_network_traffic` function is designed to monitor network traffic on a specified interface using the Snort intrusion detection system. This allows real-time monitoring of unauthorized access attempts and other suspicious activities on the network, thus providing valuable data for vulnerability analysis and network infrastructure efficiency.

Network traffic monitoring using Suricata. An alternative monitoring method is implemented through the `monitor_network_traffic_suricata` function, which, similar to the previous one, monitors activity on a network interface, but uses Suricata for this purpose. Suricata is a powerful intrusion detection, intrusion prevention and network traffic monitoring system, making it an ideal tool for providing security in complex network environments.

Implementation of experimental procedures. Using the functions defined above, we sequentially launched a series of simulated attacks against the target IP address chosen as a case study (192.168.1.100). The attack scenarios included phishing, DDoS, vulnerability exploitation, and malware injection. Following the attacks, network traffic was monitored using Snort and Suricata to gather data on the network infrastructure's response to cyber threats.

This code not only serves as a demonstrative tool for automating cybersecurity processes but also establishes a robust framework for conducting experimental research in the detection and mitigation of cyberattacks within a controlled environment. By utilizing tools such as Kali Linux, Metasploit, Snort, and Suricata, this framework enables systematic evaluation of integrated defense mechanisms

against diverse simulated threats. Such rigorous methodologies facilitate the refinement of defensive strategies, validation of incident response protocols, and preemptive identification of vulnerabilities, preempting potential exploitation in real-world scenarios. These simulations are instrumental in training cybersecurity personnel and optimizing organizational defenses, thereby enhancing overall resilience and preparedness against evolving cyber threats.

In Figure 1, comparisons of threat detection time and detection accuracy before and after the integration and automation process in network resource protection systems are visualized. As you can see from the visualization:

- Threat detection time decreased from 200 minutes to 20 minutes after the implementation of integration and automation. This tenfold improvement demonstrates a significant improvement in system responsiveness in responding to threats.

- Threat detection accuracy increased from 75% to 95%. Improved accuracy is critical to reducing false positives and ensuring that the cybersecurity team's resources are focused on real threats.

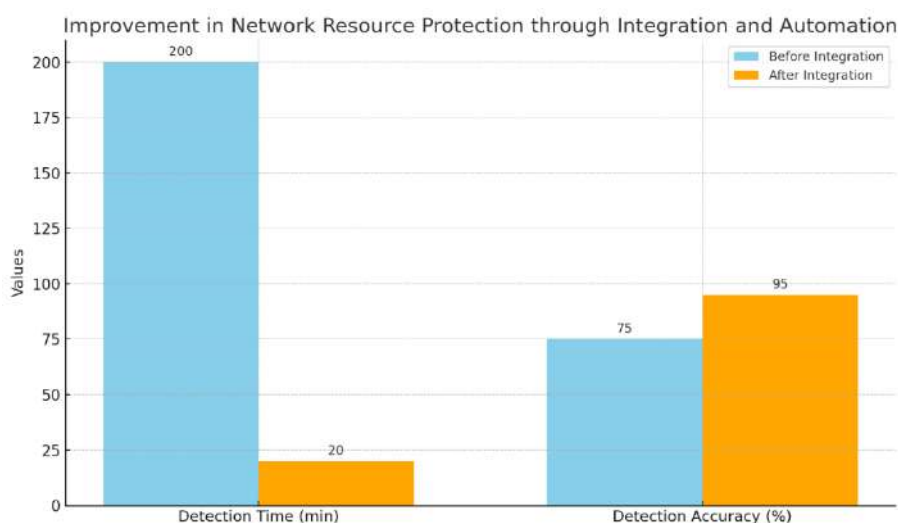


Figure 1. Improving network resources through integration

These results highlight the significant benefits that integration and automation can provide to improve the protection of network resources, making systems faster and more accurate in detecting and responding to cyber threats.

Discussion

The results of our study confirmed significant improvements in the effectiveness of network resource protection when integrated and automated defense systems are used. In this discussion section, we review the key aspects and conclusions that can be drawn from the presented data and experiments.

1. Reduced threat detection time:

- Our results showed that threat detection time decreased from 200 minutes to 20 minutes after implementing integration and automation. This tenfold improvement in cyber threat response time indicates a significant improvement in the agility of the defense system.

- This reduction in response time plays a critical role in reducing the time in which attackers can cause damage to information resources, which in turn helps to reduce potential losses and improve overall security.

2. Increased accuracy of threat detection:

- Our study also found an increase in threat detection accuracy from 75% to 95% after integration and automation. This improvement in accuracy helps reduce false positives and ensures that cybersecurity teams focus on real threats, which significantly improves response effectiveness.

3. Significance of integration and automation:

- Our findings illustrate the substantial advantages that integration and automation may offer in enhancing the security of network resources. These strategies enable systems to enhance their speed and precision in identifying and addressing cyber threats, a crucial aspect in a constantly evolving cyber threat landscape.

4. Potential avenues for future research: The findings of our study give rise to novel inquiries and avenues for future investigation. The optimization of integrated protection systems for various types of network infrastructures and business processes is a pertinent subject to consider. Additionally, we should contemplate expanding the capabilities of defense systems to more effectively identify and thwart emerging forms of cyber-attacks.

In summary, our study highlights the significance of incorporating integration and automation to safeguard network resources. It provides practical suggestions for enhancing cybersecurity and protecting information systems.

Conclusion

This study examines the potential of integrating and automating network resource defense strategies. The findings of our research unequivocally demonstrate that the implementation of integrated and automated defensive systems yields substantial enhancements in the identification and mitigation of cyber threats.

The enhancement of threat detection accuracy and the reduction of threat detection time by a factor of ten are crucial advancements that have the potential to greatly enhance the security of information systems. Furthermore, our research has substantiated the importance of integration and automation in mitigating response times and enhancing the dependability of network resource protection [14].

Based on the findings, it can be inferred that the incorporation of integration and automation tactics holds significant importance within the realm of cybersecurity, as they effectively contribute to enhancing the safeguarding of information systems. Additional investigation and advancement of these methodologies have the potential to yield enhanced and flexible security systems capable of effectively mitigating contemporary cyber threats.

This study makes a significant contribution to the comprehension and advancement of techniques for safeguarding network resources. Its findings can be utilized to create and execute more resilient and efficient cybersecurity strategies.

References

[1] Schneier B. *Security Engineering: A Guide to Building Dependable Distributed Systems*. John Wiley & Sons, 2000.

[2] Anderson R. *Security Engineering: A Guide to Building Dependable Distributed Systems*. John Wiley & Sons, 2008. URL: https://terrorgum.com/tfox/books/security_engineering_a_guide_to_building_dependable_distributed_systems.pdf.

[3] Mitnick K.D., William L.S. *The Art of Deception: Controlling the Human Element of Security*. John Wiley & Sons, 2002.

[4] Ng A., Michael I.J. *On Discriminative vs. Generative Classifiers: A comparison of logistic regression and naive Bayes*. *Advances in Neural Information Processing Systems 14 (NIPS 2001)*, 2002. URL: https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2001/file/7b7a53e239400a13bd6be6c91c4f6c4e-Paper.pdf.

[5] Bengio Y., Yann L. *Scaling learning algorithms towards AI. Large-Scale Kernel Machines*, 2007, pp. 321-356. DOI: <https://doi.org/10.7551/mitpress/7496.001.0001>.

[6] Hinton G.E., Salakhutdinov R.R. *Reducing the Dimensionality of Data with Neural Networks*. *Science* 313.5786 (2006): 504-507. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1127647>.

[7] Wang, S. I., Manning C.D. *Baselines and bigrams: Simple, good sentiment and topic classification*. *Proceedings of the 50th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 2: Short Papers)*, 2012, pp. 90-94. URL: <https://aclanthology.org/P12-2018>.

[8] Lee S., Montanez G.D. *The Importance of Encoding Versus Training with Sparse Coding and Vector Quantization*. *Machine Learning: ECML 2006*. Springer Berlin Heidelberg, 2006, pp. 924-931. URL: <http://www.robotics.stanford.edu/~ang/papers/icml11-EncodingVsTraining.pdf>.

[9] Zhang J., et al. *Towards end-to-end learning for dialog state tracking and management using deep reinforcement learning*. *arXiv preprint arXiv:1606.02560* (2016). DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1606.02560>.

[10] Bringhenti, D., Marchetto, G., Sisto, R., Valenza, F., & Yusupov, J. *Towards a fully automated and optimized network security functions orchestration*. *2019 4th International Conference on Computing, Communications and Security (ICCCS)*, 2019, pp. 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1109/CCCS.2019.8888130>.

[11] Wiboonrat, M. *Cybersecurity of Industrial Automation and Control System (IACS) Networks in Biomass Power Plants*. *2023 IEEE 32nd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 2023, pp. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISIE51358.2023.10228108>.

[12] Kosmowski, K., Piesik, E., Piesik, J., & Sliwinski, M. *Integrated Functional Safety and Cybersecurity Evaluation in a Framework for Business Continuity Management*. *Energies*, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15103610>.

[13] Amthor, P., Fischer, D., Kühnhauser, W.E., & Stelzer, D. *Automated Cyber Threat Sensing and Responding: Integrating Threat Intelligence into Security-Policy-Controlled Systems*. *Proceedings of the 14th International Conference on Availability, Reliability and Security*, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1145/3339252.3340509>.

[14] Garcia S., et al. *Enhancing network security through a distributed hybrid intrusion detection system*. *International Journal of Information Management* 47 (2019): 46-57.

Е.Т. Каламан^{1*}, Ж.К. Алимсеитова¹, Қ.Ж.Сабраев²

¹Сатпаев университеті, Алматы қ., Қазақстан

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: politeh.kalaman@gmail.com

УНИВЕРСИТЕТТІҢ ЕСЕПТЕУ ЖЕЛІСІНІҢ ОСАЛДЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН МОДЕЛЬДЕУГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ЖҮЙЕСІ

Аңдатпа

Ақпараттандыру объектісінің таратылған есептеу желісі үшін ақпараттық қауіпсіздік жүйесін қалыптастыру әдістемесі ұсынылды. Әдістеменің бірінші кезеңінде математикалық модельдеуді қолдану ұсынылады. Атап айтқанда, осалдық коэффициентін есептеу үшін ықтималдық теориясы аппаратын пайдалану негізінде математикалық модель көрсетілген. Бұл коэффициент ақпараттану объектісі желісінің ақпараттық қауіпсіздік деңгейін бағалауға мүмкіндік береді. Ақпараттық қауіпсіздік үшін тәуекелдердің рұқсат етілген және сыни деңгейін бағалау критерийлері де ұсынылған. Әрі қарай, таратылған есептеу желісінің ақпараттық қауіпсіздігі жүйесін қалыптастыру әдістемесінің екінші кезеңінде таратылған есептеу желісінің ақпараттық қауіпсіздігі компоненттерін имитациялық модельдеу және виртуалдандыру әдістері қолданылады. Эксперименттік зерттеулер барысында қорғалған таратылған есептеу желісінің моделі жасалды. Эксперименттік модельде желілік құрылғылар мен таратылған есептеу желісінің ақпараттық қауіпсіздігі компоненттері виртуалды машиналарда эмуляцияланды. Таратылған есептеу желісінің ресурстары Proxmox VE виртуализация жүйесі арқылы ойнатылды. PVE басқаратын таратылған есептеу желісі хосттарында IPS Suricata орналастырылды. SIEM ретінде Splunk жүйесі қолданылды. Таратылған есептеу желісі үшін ақпараттық қауіпсіздік жүйесін қалыптастырудың ұсынылған әдістемесі және осалдық коэффициентінің моделі ақпараттану объектісі таратылған есептеу желісінің осалдық деңгейлерінің сандық бағасын алуға мүмкіндік бергені көрсетілген.

Түйін сөздер: ақпараттық қауіпсіздік, ақпараттандыру объектісі, таратылған есептеу желісі, математикалық модель, осалдық коэффициенті, виртуализация, IDS, SIEM.

Е.Т. Каламан¹, Ж.К. Алимсеитова¹, Қ.Ж. Сабраев²

¹Сатпаев университет, г. Алматы, Казахстан

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УЯЗВИМОСТИ УНИВЕРСИТЕТСКОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Аннотация

Предложена методика формирования системы информационной безопасности для распределенной вычислительной сети объекта информатизации. На первом этапе методики предлагается использовать математическое моделирование. В частности, изложена математическая модель на основе задействования аппарата теории вероятностей для расчета коэффициента уязвимости. Данный коэффициент позволяет оценить уровень информационной безопасности сети объекта информатизации. Также предложены критерии для оценивания допустимого и критического уровня рисков для информационной безопасности. Далее на втором этапе методики формирования системы информационной безопасности распределенной вычислительной сети используются методы имитационного моделирования и виртуализации компонентов информационной безопасности распределенной вычислительной сети. В ходе экспериментальных исследований была построена модель защищенной распределенной вычислительной сети. В экспериментальной модели сетевые устройства и компоненты информационной безопасности распределенной вычислительной сети были эмулированы на виртуальных машинах. Ресурсы распределенной вычислительной сети были воспроизведены с помощью системы виртуализации Proxmox VE. На хостах распределенной вычислительной сети под управлением PVE была развернута IPS Suricata. В качестве SIEM

использовалась система Splunk. Показано, что предложенная методика формирования системы информационной безопасности для распределенной вычислительной сети и модель коэффициента уязвимости позволили получить количественную оценку уровней уязвимости распределенной вычислительной сети объекта информатизации.

Ключевые слова: информационная безопасность, объект информатизации, распределенная вычислительная сеть, математическая модель, коэффициент уязвимости, виртуализация, IDS, SIEM.

E.T. Kalkaman¹, Zh.K. Alimseitova¹, K.J. Sabrayev²

¹Satpayev University, Almaty, Kazakhstan

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

FORMATION SECURITY SYSTEM BASED ON MODELING OF VULNERABILITY INDICATORS OF THE UNIVERSITY COMPUTER NETWORK

Abstract

A method of forming an information security system for a distributed computer network of an informatization object is proposed. At the first stage of the methodology, it is proposed to use mathematical modeling. In particular, a mathematical model is presented based on the use of the apparatus of probability theory to calculate the vulnerability coefficient. This coefficient allows us to assess the level of information security of the network of the informatization object. Criteria for assessing the acceptable and critical level of risks for information security are also proposed. Further, at the second stage of the methodology for the formation of an information security system of a distributed computer network, methods of simulation modeling and virtualization of information security components of a distributed computer network are used. In the course of experimental research, a model of a secure distributed computing network was built. In the experimental model, network devices and information security components of a distributed computing network were emulated on virtual machines. The resources of the distributed computing network were reproduced using the Proxmox VE virtualization system. IPS Suricata was deployed on the hosts of a distributed computing network under PVE management. The Splunk system was used as a SIEM. It is shown that the proposed methodology for the formation of an information security system for a distributed computer network and the vulnerability coefficient model made it possible to obtain a quantitative assessment of the vulnerability levels of a distributed computer network of an informatization object.

Keywords: information security, informatization object, distributed computing network, mathematical model, vulnerability coefficient, virtualization, IDS, SIEM.

Негізгі ережелер

Мақаланың мақсаты таратылған есептеу желісі осалдық көрсеткіштерін модельдеу негізінде ақпаратты қорғау жүйесін қалыптастыру әдістемесін, сондай-ақ ақпараттандыру объекті желісінің осалдық коэффициентін сипаттайтын модельді дамыту. Мақсатқа жету үшін осалдық коэффициентін есептеу үшін ықтималдық теориясы аппаратын пайдалану негізінде математикалық модель жасалған, ақпараттық қауіпсіздік үшін тәуекелдердің рұқсат етілген және сыни деңгейін бағалау критерийлері ұсынылған. Эксперименттік зерттеулер барысында қорғалған таратылған есептеу желісінің моделі жасалды. Таратылған есептеу желісі үшін ақпараттық қауіпсіздік жүйесін қалыптастырудың ұсынылған әдістемесі және осалдық коэффициентінің моделі ақпараттану объекті таратылған есептеу желісінің осалдық деңгейлерінің сандық бағасын алуға мүмкіндік бергені көрсетілген.

Кіріспе

Компаниялардың (бұдан әрі ақпараттандыру объектілері немесе АОБ) ақпараттық қауіпсіздігіне (бұдан әрі АҚ) қауіп-қатерлердің ландшафты үздіксіз өзгеріп отыратын жағдайында, сондай-ақ компьютерлік зиянкестердің тактикасы мен стратегиясын жетілдіруге қарай АҚ жөніндегі мамандар көбінесе ақпаратты қорғау жүйелері (бұдан әрі АҚЖ) жұмысының тиімділігі мен сенімділігіне сүйенеді. Мұндай АҚЖ-ның негізгі міндеті ақпараттық жүйелерден (бұдан әрі АЖ) тыс ақпараттың (көбінесе құпия) ағып кетуіне жол бермеу болып табылады. Бірқатар зерттеулерде көрсетілгендей [1], ақпараттың ағып кетуіне

байланысты АҚ оқиғаларының көпшілігі қызметкерлердің қателіктеріне байланысты [2]. Ағып кетудің шамамен 25%-ы ғана хакерлердің [3], инсайдерлердің әрекеттерінен немесе АЖ пайдаланушыларының жаман ниетінен туындайды.

Инсайдерлер де, сыртқы құқық бұзушылар да ақпараттық қауіпсіздік құралдарын (немесе ақпаратты қорғау жүйесін - АҚЖ) жеңуге тырысатыны түсінікті. Бұл әсіресе мақсатты шабуылдар кезінде маңызды. Шабуылшы жақ пен қорғау жағының мұндай қарсыласуының нәтижесі көптеген факторларға байланысты. Нәтижесінде ақпараттандыру объектісінің АҚ жүйесі (бұдан әрі АҚЖ) қаншалықты мінсіз болса да, қорғаудың сәттілігіне алдын-ала кепілдік беру мүмкін емес.

Шабуылдардың саны да [4], шабуылдардың күрделілігі де [5], күрделене түскен сайын қазіргі заманғы көп тізбекті АҚЖ басқа мәселелерді де шешуге арналғанын айта кету керек [6]. Мұндай қосалқы міндеттерге мыналар жатқызылуы мүмкін: АЖ ішінде де, сыртқа да қажетсіз жіберу жағдайларының алдын алу; персонал АЖ ресурстарын өздерінің жеке мақсаттары үшін пайдаланатын жағдайларға жол бермеу; АОБ және/немесе оның АЖ таратылған есептеу желісінде трафикті мониторингтеу және деректерді жіберу арналарының жүктемесін оңтайландыру; персонал немесе бөгде адамдар қажетсіз ақпаратты жіберуге тырысатын жағдайларға жол бермеу (мысалы, спам немесе ақпараттың шамадан тыс көлемі); жіберілетін хабарламаларды архивтеу, бұл, мысалы, АҚ бойынша оқиғаны тереңірек талдау қажет болған жағдайда керек; персоналдың жұмыс орындарында болуын бақылау [7].

Егер АҚ-ті сыртқы бұзушылардан қорғау туралы айтатын болсақ, онда шабуылдарды анықтау жүйелері бүгінде көптеген компаниялар мен ұйымдардың таратылған есептеу желісі (ТЕЖ) АҚ контурларының ажырамас бөлігі болды. Бұл ретте, басып кіруді анықтау жүйелері (IDS) және басып кіруді болдырмау жүйелері (IPS) немесе біріктірілген IDS/IPS шешімдері қолданылады. Соңғы жағдайда бағдарламалық-аппараттық жасақтама болып табылатын IDS/IPS жүйелері желіні рұқсатсыз кіруден қорғауға қызмет етеді.

АОБ желісінің АҚ қамтамасыз етудің жүйелік тәсілін іске асыру үшін қорғау тарапына ақпаратты қорғаудың техникалық құралдарының арсеналын ғана қолдану жеткіліксіз. Мұндай АҚЖ жүйесін жобалау кезеңінде ғылыми әдістерді қолдану қажет. Мұндай ғылыми әдістерге, мысалы, белгілі бір АОБ үшін АҚ жүйелері мен процестерін математикалық немесе имитациялық модельдеу жатады. Мұндай модельдеудің басым мақсаты АОБ АҚ жүйесін басқаруға байланысты оңтайлы шешімдерді табу болып табылады. Сонымен қатар, әдетте, қосымша міндеттер туындайды, мысалы, жоғарыда аталған IDS/IPS сияқты белгілі бір АҚ механизмдерін қолдану тиімділігін бағалауға байланысты. Белгілі бір АОБ үшін АҚЖ модельдеудің бүкіл процесін шартты түрде екі компонентке бөлуге болады:

- модельдерді құру, мысалы, математикалық, физикалық немесе имитациялық;
- АҚЖ қажетті сипаттамаларын алу мақсатында модельдерді іске асыру.

Жоғарыда айтылғандардың барлығы зерттеу тақырыбының өзектілігін анықтады. Атап айтқанда, АОБ осалдық көрсеткіштерін математикалық және имитациялық модельдеу негізінде ТЕЖ АҚ жүйесін қалыптастыру әдістемесін дамыту.

Әдебиеттерге шолу

Белгілі бір АОБ үшін АҚ жүйесін құру туралы сөз болғанда, әдетте қорғау жағы екі мүмкін жағдайдың біріне тап болады.

Бірінші жағдайда АОБ үшін "нөлден" АҚ жүйесін құру керек. Шын мәнінде, АҚ жүйесі қорғау объектісінде бар шешімдерге сүйенбей және АОБ АҚ қамтамасыз етудің кешенді тәсілінің маңыздылығын түсінбей әзірленеді. Екінші жағдайда, АОБ-де АҚ кейбір құралдары бар. Ал қорғау жағында оның тиімділігін арттыру міндеті тұр. Мысалы, бұған АҚЖ құрамын оңтайландыру арқылы қол жеткізуге болады. Немесе қолда бар құралдарды АОБ-дағы ең құнды ақпараттық активтерді қорғау үшін қайта бөлу. Екінші нұсқа әлдеқайда жиі кездеседі [8]. Кибернетикалық шабуылдар туралы көңіл көншітпейтін статистикаға қарамастан [9] көбінесе АОБ менеджменті АҚ мәселелеріне тиісті назар аудармайды [10], егер

ол өзінің ақпараттық активтерін әлсіз қорғаудан немесе оның болмауынан туындаған мәселелерге тап болмаса [11].

Алайда, егер АОБ басшылары АҚ-дың дұрыс емес жағдайынан туындаған нақты мәселелерге тап болса [12], олар АҚ-ға үлкен қаржылық инвестиция салуға дайын. Мұндай жағдайлардың қайталануына жол бермеу басымдыққа ие болады [13].

[14] көрсетілгендей, АОБ АҚ-дың берілген деңгейіне жету өзара байланысты міндеттер кешенін сәтті шешуге байланысты. Мұндай міндеттерге, мысалы, мыналар кіруі мүмкін: АҚЖ әзірлеу және енгізу кезінде шешілетін техникалық-технологиялық, қаржылық, ұйымдастырушылық және басқа міндеттер.

Осылайша, жоғарыда айтылғандарға сүйене отырып, қазіргі АОБ-дің көпшілігінің ажырамас бөлігі ретінде ТЕЖ осалдық көрсеткіштерін модельдеу негізінде АҚ жүйесін қалыптастыру әдістемесін дамыту міндеті өзекті болып қала береді деп айтуға болады.

Зерттеу әдіснамасы

ТЕЖ осалдық көрсеткіштерін модельдеу негізінде АҚ жүйесін қалыптастыру әдістемесін, сондай-ақ АОБ желісінің осалдық коэффициентін сипаттайтын модельді дамыту.

Зерттеу нәтижелері

АОБ үшін белгілі бір АҚ жүйелерін таңдау мәселесін шешу үшін АҚ қауіптерінің пайда болуының бірыңғай динамикалық коэффициентін қарастыру қажет [15]. Бұл коэффициент $P^{DT} \in [0;1]$ АҚ қауіптерінің динамикасын ескеруге мүмкіндік береді, мысалы, АОБ ТЕЖ үшін, сондай-ақ ТЕЖ үшін қауіптердің ықтималдығын модельдеу.

Әдетте, белгілі бір уақыт аралығында жұмыс істейтін әрбір ұйымда немесе компанияда АҚ инциденттері бойынша белгілі бір статистика бар. Демек, қауіптерді іске асырудың статистикалық ықтималдығы туралы айтуға болады $P_{stat} \in [0;1]$. Сондай-ақ, АОБ ТЕЖ үшін қауіп-қатерлерді сараптамалық бағалауға сенуге болады $P_{expert} \in [0;1]$.

[15] ТЕЖ үшін АҚ қауіптерінің динамикалық компонентін ($DC \in [0;1]$) қарастыру ұсынылады:

$$DC = \begin{cases} P_{stat}^{n-1} > P_{stat}^n, & \left(\frac{P_{stat}^{n-1} - P_{stat}^n}{P_{stat}^n} \right); \\ P_{stat}^{n-1} \leq P_{stat}^n, & \left(-\frac{P_{stat}^{n-1} - P_{stat}^n}{P_{stat}^n} \right), \end{cases} \quad (1)$$

мұнда n – АҚ қауіптері туралы статистика, мысалы, АОБ ТЕЖ үшін. Деректер, мысалы, SIEM көмегімен АҚ оқиғаларын бақылау нәтижесінде немесе IPS/IDS жұмыс деректері негізінде қабылданады.

Әрі қарай, АОБ ТЕЖ қорғау элементтерін анықтаймыз. Бұл кезеңде, мысалы, сарапшының көмегімен ТЕЖ үшін осалдықтар мен қауіптердің гистограммалары жасалады.

Қауіп іске асырылған жағдайларда қорғау тарапы төтенше жағдайға тап болады. Мұндай жағдай қауіптерді жүзеге асырудың барлық ықтимал салдарын қарастыруды талап етеді. Мысалы, бұл АОБ үшін моральдық, материалдық, ақпараттық шығындарға және т.б. байланысты.

Қауіптерді іске асыру ықтималдығының максималды мәнін P_{max}^{DT} және минималды мәнін P_{min}^{DT} деп қабылдаймыз. Мұны осылай түсіндіруге болады:

- егер $P_n^{DT} > P_{\max}^{DT}$, онда бұл қауіп P_n^{DT} , мысалы, АОБ ТЕЖ үшін тереңірек талдау үшін қабылданады. Оған автоматты түрде жоғары басымдық беріледі және оның алдын алу шаралары қабылданады;

- егер $P_{\min}^{DT} > P_n^{DT} > P_{\max}^{DT}$, онда бұл қауіп P_n^{DT} орташа басымдыққа ие болады;

- егер $P_n^{DT} > P_{\min}^{DT}$, онда бұл қауіп P_n^{DT} төмен басымдықпен сипатталады.

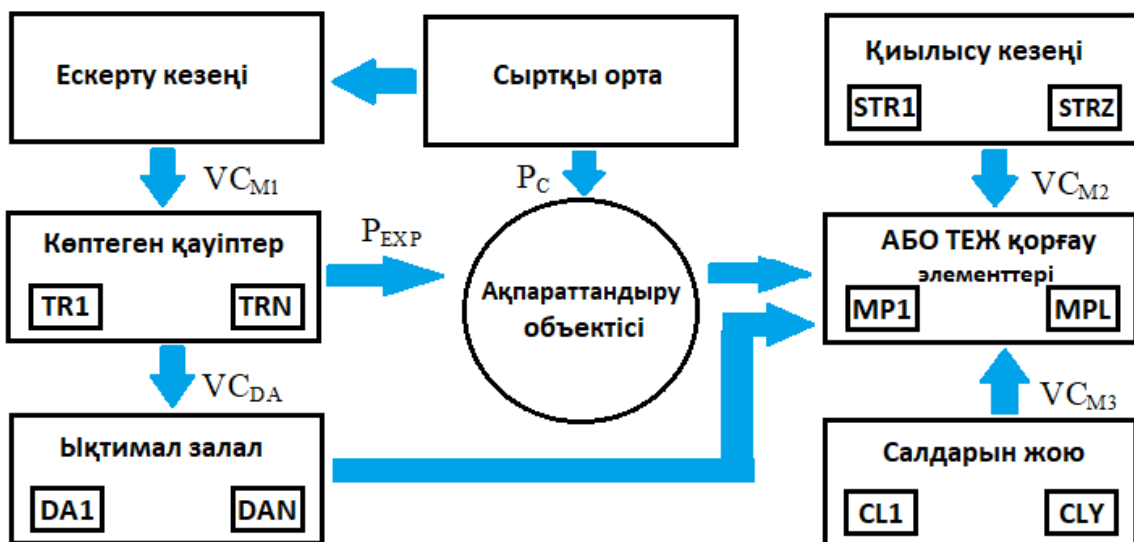
Демек, бірінші кезеңде АОБ АҚ бөлімінің қызметкерлеріне қауіптерді талдау және бағалау, мысалы, ТЕЖ үшін АҚЖ бар құрамымен қауіптерді сүзуді жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Әрі қарай, ТЕЖ осалдық коэффициентін қарастырамыз.

Осалдық деп ТЕЖ қорғау элементінің, мысалы, брандмауэрдің қауіп-қатерге ұшырау қасиеті түсініледі. Яғни, осы АҚЖ-ға тұрақсыздандырушы факторлар әсер етуі мүмкін. Брандмауэрге әсер ететін қарапайым тұрақсыздандырғыш факторлар ретінде бөлек қарастыруға болады:

- ТЕЖ АОБ-ге сенімсіз қосымшаға қол жеткізу;
- RAW Socket қолданумен ТЕЖ АОБ-ге қол жеткізу;
- АОБ ТЕЖ сенімді процестеріне бөгде DLL енгізу;
- ТЕЖ АОБ-дің сенімді процестерінде трояндық ағындарды құру;
- сенімді процестердің машиналық кодын өзгерту;
- сенімсіз процесті жасыру;
- және т. б.

АОБ ТЕЖ осалдық коэффициентін қазіргі уақыттағы АҚ деңгейін сандық бағалау ретінде түсіндіруге болады. Сонымен қатар, мұндай бағалау ТЕЖ және жалпы АОБ жұмысының нақты жағдайларымен байланысты. ТЕЖ осалдық коэффициентін (немесе жалпы АОБ) қалыптастыру тәсілі сурет 1-де көрсетілген.



Сурет 1. Университет желісінің осалдық коэффициентін қалыптастыру тәсілі

Сонда ТЕЖ осалдық коэффициентінің мәнін (VC), [15] жұмыс нәтижелерін ескере отырып осылай көрсетіміз:

$$VC = \sum_{i=1}^N VC_i \cdot \frac{\sum_j^M DC_{ij}}{\max \sum_j^M DC_{ij}}, \quad (2)$$

мұндағы VC_i – ТЕЖ АҚ үшін i – ші қауіп төнген кезде осалдық коэффициентінің мәні; DC_{ij} – АҚ үшін i – ші қауіп төнген кезде ТЕЖ j – ші компоненті (мысалы, АҚ құралдары) үшін зиян коэффициентінің мәні; N – ТЕЖ АҚ үшін қауіптер саны; M – ТЕЖ элементтерінің саны, оның ішінде АҚЖ.

Қауіптерді жою үшін әдетте ұйымдастырушылық шаралар жеткіліксіз. Тиімді қорғау, әдетте, ақпаратты қорғаудың техникалық құралдарын сатып алуға, персоналды оқытуға, жоғары білікті мамандарды тартуға және т. б. қаржылық инвестицияларды қажет етеді.

АҚЖ санын, олардың АҚ интегралды метрикаларына негізделген техникалық параметрлерін таңдау мәселесін шешу үшін АОБ ТЕЖ үшін мақсатты функция ретінде жылдық келтірілген шығындар қабылданды:

$$C = p \cdot \sum_{i=1}^n CE_i + \sum_{i=1}^m OC_i, \quad (3)$$

мұнда p – талданатын АОБ үшін ТЕЖ АҚ-ға күрделі салымдардың салыстырмалы тиімділігін сипаттайтын коэффициент, CE_i , OC_i – сәйкесінше ТЕЖ АҚ-ға күрделі және пайдалану шығындарының i -ші бабы; n, m – сәйкесінше ТЕЖ АҚ-ға күрделі және пайдалану шығындарының құрамдас бөліктерінің саны.

Модельді жеңілдету үшін ТЕЖ АҚ үшін жылдық келтірілген шығындар бұл ТЕЖ АҚ жүйесіне инвестициялау тиімділігін бағалаудың негізгі критерийі болып табылады. Мұндай жеңілдету модельдің жалпы жұмыс өнімділігін көрсетуге мүмкіндік береді. Мақсатты функцияның (МФ) есептеу формуласының қарапайымдылығы ТЕЖ үшін оңтайлы АҚЖ құрамын анықтау мәселесін шешу үшін модельдің сәйкестігіне нәтижелерді талдауды жеңілдетуге мүмкіндік береді.

ТЕЖ АҚ үшін нақты АҚЖ (қауіптердің нақты класы шеңберінде, мысалы, брендмауэр, IPS/IDS, SIEM және т. б.) сатып алуға арналған шығындарды келесі функциясымен ұсынылсын:

$$CE_{iu} = a_1 + a_2 \cdot IPI, \quad (4)$$

мұнда IPI – белгілі бір кластағы АҚЖ тиімділігінің интегралды көрсеткіші (мысалы, брендмауэр, IPS/IDS, SIEM және т.б.); a_1, a_2 – сызықтық жуықтауға арналған коэффициенттер.

Сол сияқты, ТЕЖ үшін басқа АҚЖ сыныптарын сатып алуға, монтаждауға, қосылуға, мысалы, АОБ ақпараттық жүйесіне, байланысты күрделі шығындарды білдіруге болады (мысалы, қол жеткізуді басқару құралдары),

Пайдалану шығындары мен шектеулерді ұқсас тәсілді ұстанумен білдіруге болады, [16, 17] жұмыстарда көрсетілгендей жуықтауға арналған өрнектер міндетті түрде сызықтық емес.

Ұсынылған әдістеде ТЕЖ (немесе АОБ) үшін АҚ жүйесінің сипаттамасын егжей-тегжейлі көрсету үшін қажет болатын көптеген негізгі жеке критерийлерді CR енгіземіз:

$$CR = \{CR_1, CR_2, CR_3, CR_4, CR_5\}, \quad (5)$$

мұнда CR_1 – белгілі бір сыныпқа жататын АҚЖ құны; CR_2 – тиісті АҚЖ-мен жабылатын АОБ АҚ үшін қауіптер кластарының саны; CR_3 – ТЕЖ үшін АҚЖ-ның бір немесе басқа сыныбының арқасында азаятын нивелирленген тәуекел мөлшері; CR_4 – тиісті АҚЖ үшін АҚ

сертификаттарының болуы; CR_5 – жалпы қорғау кешеніндегі және АОБ АҚ-дағы жеке АҚЖ үйлесімділік көрсеткіші.

Жоғарыда көрсетілген жеке критерийлерінің әрқайсысы 0-ден 1-ге дейін диапазонда өзгеруі мүмкін. Мысалы, CR_5 үшін, егер белгілі бір АҚЖ қорғалған ТЕЖ түйінінде орналасқан құралдар тобындағы басқалармен үйлесімді болса, онда $CR_5 = 1$ мәні (керісінше $CR_5 = 0$). Критерий CR_1 , үшін түсіндіру келесідей болуы мүмкін:

$$CR_1 = \begin{cases} 1, & \text{if } C_{ist} < C_{ist}^{\max}; \\ 0,5 & \text{if } 0,5 \cdot C_{ist}^{\max} \leq C_{ist} \leq C_{ist}^{\max}; \\ 0 & \text{if } C_{ist} > C_{ist}^{\max}, \end{cases} \quad (6)$$

мұнда C_{ist}, C_{ist}^{\max} – талданатын класс шеңберіндегі АҚЖ-ның орташа құны (мысалы, брендмауэр, қол жеткізуді шектеу құралдары, басып кіруді анықтау жүйелері және т.б.) және максималды құны. Критерий CR_2 , үшін түсіндіру келесідей болуы мүмкін:

$$CR_2 = \begin{cases} 1, & \text{if } \sum_{i=1}^n m_{ISR_{ii}}^{ist_k} = |IST|; \\ 0,5 & \text{if } 0,5 \cdot |IST| \leq \sum_{i=1}^n m_{ISR_{ii}}^{ist_k} \leq |IST|; \\ 0,25 & \text{if } 0 < \sum_{i=1}^n m_{ISR_{ii}}^{ist_k} \leq 0,5 \cdot |IST|; \\ 0 & \text{if } \sum_{i=1}^n m_{ISR_{ii}}^{ist_k} = 0, \end{cases} \quad (7)$$

мұнда IST – ТЕЖ АҚ үшін қауіптер көптігі (шамасы тұрақты емес және сыртқы факторларға тәуелді); n – нақты ТЕЖ үшін өзекті қауіптер саны; $m_{ISR_{ii}}^{ist_k}$ – қолданыстағы және жоспарланған қорғау құралдары мен ТЕЖ АҚ-мен өзекті кибернетикалық қауіптердің қабаттасу матрицасы. Критерий CR_3 , үшін түсіндіру келесідей болуы мүмкін [16]:

$$CR_3 = \begin{cases} 1, & \text{if } \sum_{i=1}^n R_{ISR} \cdot m_{ISR_{ii}}^{ist_k} < R_a; \\ 0,5 & \text{if } R_a \leq \sum_{i=1}^n R_{ISR} \cdot m_{ISR_{ii}}^{ist_k} \leq 0,5 \cdot R_{cr}; \\ 0,25 & \text{if } 0,5 \cdot R_{cr} \leq \sum_{i=1}^n R_{ISR} \cdot m_{ISR_{ii}}^{ist_k} \leq R_{cr}; \\ 0 & \text{if } \sum_{i=1}^n R_{ISR} \cdot m_{ISR_{ii}}^{ist_k} \geq R_{cr}, \end{cases} \quad (8)$$

мұнда, R_a, R_{cr} – тиісінше, АОБ ТЕЖ үшін АҚ тәуекелінің рұқсат етілген және сыни деңгейлері; n – нақты ТЕЖ үшін өзекті қауіптер саны; $m_{ISR_{ii}}^{ist_k}$ – қолданыстағы және жоспарланған АҚЖ мен АҚ үшін өзекті қауіптердің қабаттасу матрицасы.

Жеке критерийлерге арналған ұқсас есептеулер ғылыми әдебиеттерде бірнеше рет сипатталған, мысалы, [10], [12].

Сонда ұсынылған жеке критерийлерді қолдана отырып, ТЕЖ үшін бүкіл АҚ жүйесінің тиімділігін (EF) векторымен ұсынуға болады:

$$EF = \{1, 1, 1, 1, 1\}. \quad (9)$$

Шын мәнінде, бұл формада ТЕЖ үшін АҚЖ тиімділігін бағалау үшін қолданылатын анықтамалық жеке критерийлерді алуға болады.

Сонда жоғарыда айтылғандарды ескере отырып ТЕЖ осалдық коэффициентін келесідей көрсетуге болады:

$$VC = \frac{\sum_{j=1}^M EF [P_{\text{expert}(i)} \cdot (P_{\text{stat}(i)} + DC_i)]}{\sum_j \alpha_{ij} \cdot CEF_{ij}}, \quad (10)$$

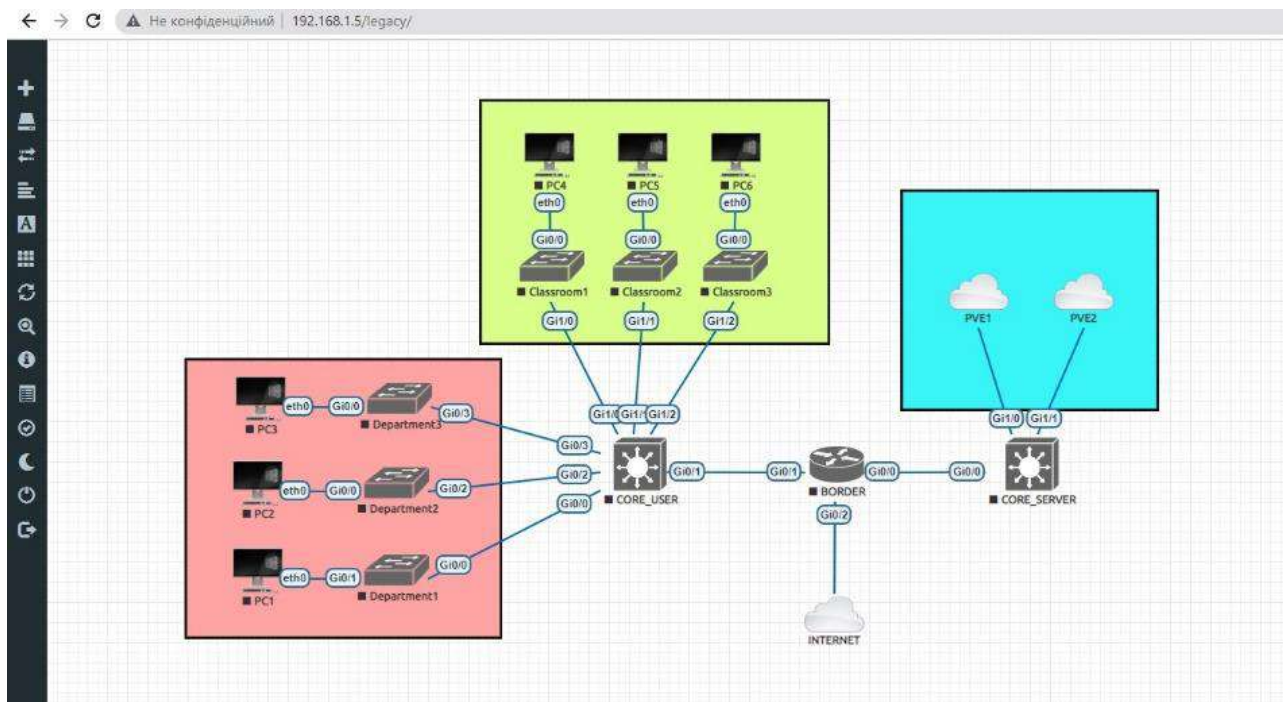
мұндағы α_{ij} – ТЕЖ АҚ-ға төнетін i – ші қауіпті бұғаттаудың тиісті кезеңдерінде ТЕЖ АҚ-ның j – ші құралының әсер ету дәрежесін сипаттайтын салмақ коэффициенттерінің мәндері; CEF_{ij} – ТЕЖ АҚ-ға төнетін i – ші қауіпті бұғаттаудың тиісті кезеңдерінде ТЕЖ АҚ-ның j – ші құралының (мысалы, брандмауэр, IPS/IDS, SIEM және т.б.) тиімділігін сипаттайтын салмақ коэффициенттерінің мәндері.

АОБ АҚ жүйесін қалыптастырудың ұсынылған әдістемесінің тиімділігін эксперименттік тексеру үшін шартты АОБ виртуалды желісі жобаланды. Windows 10 ОЖ басқаратын компьютерде орнатылған VmWare Workstation платформасы қолданылды. Компьютердің өзі Intel Xeon E5 1650 серверлік процессорына негізделген және 32 Гб жедел жады орнатылған, бұл виртуалды машиналарды (ВМ) құру және жүйелерді модельдеу операциялары үшін жеткілікті.

Барлығы 3 виртуалды машина жасалды, оның ішінде 2-і Proxmox VE ОЖ-мен басқарылады, оған басқа ВМ-ды орналастыру үшін гипервизор ретінде әрекет етеді. Үшінші ВМ-да Ubuntu Server операциялық жүйесі орнатылды. Сондай-ақ, бұл ВМ-да EVE-NG желілерін модельдеуге арналған қосымша орнатылды.

Инфрақұрылымды ыңғайлы басқару үшін кластерлік шешімдер қолданылды. Бұл бірнеше серверлерді бір жүйеге біріктіруге мүмкіндік берді, бұл ресурстарды резервтеу мен орталықтандырылған басқаруды қамтамасыз етті. Proxmox VE бұл мүмкіндікті қолдайтындықтан, 2 серверді бір кластерге біріктіру туралы шешім қабылданды. Кластер құрылғаннан кейін кез-келген хосттың мекен-жайына өтіп, екі сервер және олардың барлық ресурстары (ВМ, контейнерлер, қоймалар және т.б.) туралы ақпаратты көруге болады. Кластерді құру көптеген артықшылықтар берді. Олардың бірі серверлердегі ВМ-ны кластердің басқа түйіндеріне көшіру мүмкіндігі болды, сурет 2-ні қараңыз.

Жоғарыда айтылғандай, желілік құрылғыларда АОБ желісінің моделін құру үшін EVE-NG қосымшасы қолданылды. 1 маршрутизатор (және брандмауэр рөлін атқарады) және 2 ядро коммутаторы қосылды. Біріншісі сервер сегментіне, екіншісі пайдаланушы сегментіне жауап береді. Сондай-ақ, пайдаланушы сегментіне жауап беретін ядро коммутаторына қосылған қол жеткізу коммутаторлары қосылды.



Сурет 2. АОБ желісінің диаграммасы

Тиісінше, осы 2 сегменттегі пайдаланушыларға қол жеткізу саясаты әр түрлі деп қабылданды – менеджментінің коммутаторлары арқылы қосылған пайдаланушыларда АОБ серверлерінде орналасқан жергілікті ресурстарға қол жеткізу құқықтары көбірек болады, 2 суретті қараңыз. Барлық құрылғылар VmWare виртуалды интерфейстеріне қосылады. VmWare интерфейстері өз кезегінде дербес компьютердің желілік интерфейсіне қосылған. Компьютердің өзі провайдердің желісіне қосылған маршрутизаторға қосылған.

АОБ АҚ кешенді жүйесін қалыптастыру әдістемесін зерттеу аясында АОБ желісінің параметрлерін сыртқы шабуылдарға қорғалған етіп өзгерту туралы шешім таңдалды. Ядро коммутаторларын және олардың өздері мен маршрутизатор арасындағы байланыстарын резервтеу туралы шешім қабылданды. Ол үшін серверлерден және пайдаланушылардың қол жеткізу коммутаторларынан екі ядро коммутаторларына да байланыс жасау керек. Бүгінгі күні қол жеткізу коммутаторларының көпшілігінде бұл үшін 2-4 жоғары порттар бар, сондай-ақ серверлерде кем дегенде 2 портқа арналған желілік карталар бар.

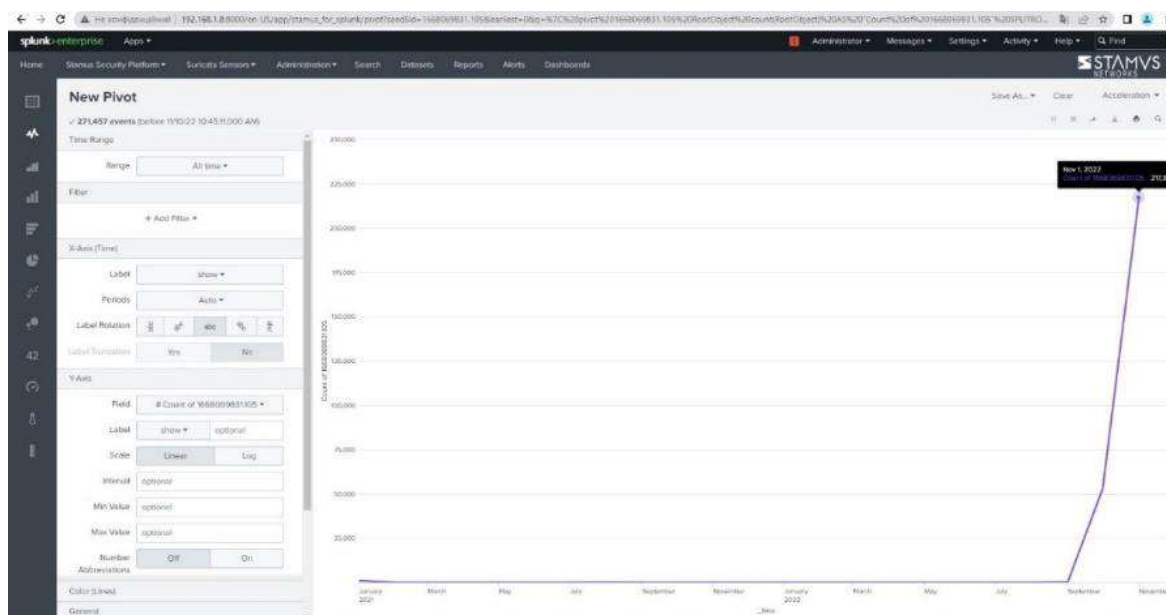
Маршрутизатор мен ядро коммутаторларын байланыстыру үшін динамикалық маршруттау хаттамасы орнатылды.

Содан кейін ядро коммутаторларында виртуалды желілер (VLAN) құрылды. Бұл шектеулі қолжетімділікті қамтамасыз ету үшін АОБ ресурстарын АҚ қамтамасыз ету үшін трафикті ішкі желілерге бөлуге мүмкіндік берді. Сондай-ақ, желілік ілмектердің пайда болуын болдырмау үшін коммутаторларда STP хаттамасы орнатылды. Сонымен қатар, снуппинг DHCP хаттамалары, ARP пакеттерін тексеру, Flood шабуылдары үшін трафикті сүзу орнатылды. АОБ желісін қорғауды одан әрі күшейту үшін, оның жеке түйіндерінде қауіпсіздікті қамтамасыз етуден және DNS мекенжайларын сүзуден басқа, кибершабуылдарды анықтау үшін трафикті талдайтын VM жүйесіне қосқан жөн. Біз IPS Suricata орнатылған Kali Linux (Debian) негізінде жеке VM құру туралы шешім қабылдадық.

АОБ қауіпсіз желіні орнату аяқталғаннан кейін жұмыс өнімділігі тексерілді. Ол үшін Pi-Hole бар VM барлық құрылғыларда және шеткі маршрутизаторда негізгі DNS сервері ретінде көрсетілген. Pi-Hole қосымшасының өзі нақты уақыт режимінде қандай сұраулар бұғатталғанын және қайсысына рұқсат берілгенін көруге мүмкіндік берді. Pi-Hole көмегімен

АОБ АҚ әкімшісі статистиканы диаграмма түрінде көрсетуге және олардың мәліметтерін көруге ыңғайлы болды.

Алынған нәтижелерден, сурет 3-ті қараңыз, виртуалды ТЕЖ үшін сыналған АҚ жүйесі (ұсынылған әдістеме негізінде құрастырылған) 5 сағат жұмыс ішінде 3700-ден астам зиянды сұраныстарды бұғаттады, бұл АОБ желісіне кіретін барлық трафиктің > 41% құрайды. Осылайша, АОБ желісінің АҚ арттыру үшін IDS және SIEM жүйелерін пайдалану бойынша қабылданған шешімдердің дұрыстығы эксперименталды түрде расталды. IDS Suricata және SIEM Splunk орнатылғаннан кейін, соңғысы біріншісінен жүйелік хабарламалар ала бастады. Бір сағаттың ішінде жүйе бойынша АОБ АҚ ережелерін бұзу және тиісті трафикті бұғаттау туралы 20 хабарлама жіберілді. Бұл мұндай жүйелер АОБ қауіпсіздік контурында өзін ақтайды деген қорытынды жасауға мүмкіндік берді.



Сурет 3. IDS Suricata-дан ескертулерінің Splunk-те графикалық бейнелеу

Тек ТЕЖ емес, жалпы АОБ-де, АҚ деңгейін бағалау үшін осы математикалық тәсілдің мүмкіндігін атап өткен жөн. Ағымдағы кезеңдегі зерттеудің кемшілігі ретінде ТЕЖ немесе жалпы АОБ үшін қауіптердің толық тізімі қарастырылмағанын атап өтуге болады. Сондай-ақ, эксперимент барысында оларды бейтараптандыру үшін таңдалған АҚ шараларының тізімі шектелді.

Дискуссия

Көптеген заманауи ақпараттық қауіпсіздік объектілерінің есептеу жүйелері немесе ТЕС олардың архитектурасында көптеген күрделі элементтерді біріктіреді. Өз кезегінде, мұндай элементтердің әрқайсысы компьютерлік шабуылдаушылардың шабуылына ұшырауы мүмкін. Тиісінше, ТЕС архитектурасын құрайтын әрбір элемент кибернетикалық қауіптердің жеткілікті санына ұшырайды. Бұл қауіптердің ТЕС АЖ-ға әсерін азайту және кейбір жағдайларда келтірілген зиянды болдырмау үшін желі архитектурасына әртүрлі ақпаратты қорғау құралдары біріктірілген. Немесе ықтимал қауіптердің әртүрлілігін ескере отырып – АҚ-ны қамтамасыз ету шаралары мен құралдары.

ТЕС үшін ақпараттық қауіпсіздік құралдарын көбейту, демек, жұмсалатын ресурстардың, ең алдымен қаржылық ресурстардың көлемін ұлғайту әрқашан күтілетін нәтиже бермейтіні бұрыннан дәлелденген. ТЕС-та қолданылатын АҚ құралдары мен шаралары әртүрлі бағытта болуы мүмкін. Мысалы, бұл кез - келген зиянды бағдарламалық жасақтаманың маңызды ТЕС түйіндеріне енуіне жол бермейтін АҚ құралдары болуы мүмкін. Немесе жүйелік әкімшілер

арасында жалпы ТЕС-тің де, оның жеке компоненттерінің де жұмысына мониторинг жүргізуге арналған танымал бағдарламалар.

АҚ-ға қауіп-қатер ландшафты үнемі өзгеріп отыратындығына және ТЕС архитектурасы күрделене түскен сайын қауіптер саны артып келе жатқандығына сүйене отырып, желілердің қауіпсіз және сенімді жұмысын қамтамасыз ету мәселелерін шешу көп көңіл бөлуді және қосымша зерттеулерді қажет етеді. Сондықтан таратылған есептеу желісі үшін ақпараттық қауіпсіздік жүйесін қалыптастырудың ұсынылған әдістемесі және осалдық коэффициентінің моделі ақпараттану объекті таратылған есептеу желісінің осалдық деңгейлерінің сандық бағасын алуға мүмкіндік бергені көрсетілген.

Қорытынды

Осылайша жүргізілген зерттеулер келесі нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік берді:

Университеттік есептеу желісіне (немесе ТЕЖ) арналған АҚ жүйесін қалыптастыру әдістемесіне нақтылау ұсынылды.

Әдістеменің бірінші кезеңінде ықтималдық теориясының аппаратын пайдалану негізінде математикалық модельдеуді қолдану ұсынылады. Ұсынылған тәсіл ТЕЖ осалдық коэффициентін есептеу үшін аналитикалық өрнек алуға мүмкіндік берді (қажет болған жағдайда жалпы АОБ үшін).

ТЕЖС АҚ жүйесін қалыптастыру әдістемесінің екінші кезеңінде АОБ желісінің АҚ компоненттерін имитациялық модельдеу және виртуалдандыру әдістері қолданылады.

Эксперименттік зерттеулер барысында АОБ қорғалған желісінің моделі жасалды. Эксперименттік модельде желілік құрылғылар мен АҚ компоненттері виртуалды машиналарда (VM) эмуляцияланды. АОБ желісінің ресурстары Proxmox VE серверлік виртуалдандыру жүйесінің арқасында қайталанды. АОБ желісінің хосттарында PVE басқаруымен IPS Suricata қауіп-қатерді анықтау жүйесі орналастырылды, Splunk жүйесі SIEM ретінде пайдаланылды.

ТЕЖ үшін АҚ жүйесін қалыптастырудың ұсынылған әдістемесі және осалдық коэффициентінің моделі ТЕЖ әртүрлі элементтерінің осалдық деңгейлерін сандық бағалауға мүмкіндік беретіні көрсетілген. Сондай-ақ, ұсынылған модель АҚ желісінің жүйесін жобалау сатысында АОБ осалдығының болжамды деңгейін бағалауды орындауға және қауіптер мен осалдықтарды бейтараптандыру үшін қарсы шараларды қолдану тиімділігін алдын ала бағалауды жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

[1] Evans, M., He, Y., Maglaras, L., & Janicke, H. HEART-IS: A novel technique for evaluating human error-related information security incidents. // *Computers & Security*. 2019. 80. P. 74-89. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2018.09.002>

[2] Pérez-González, D., Preciado, S. T., & Solana-Gonzalez, P. Organizational practices as antecedents of the information security management performance: An empirical investigation. // *Information Technology & People*. 2019. 32(5). P. 1262-1275. <https://doi.org/10.1108/ITP-06-2018-0261>

[3] Schlette, D., Caselli, M., & Pernul, G. A comparative study on cyber threat intelligence: the security incident response perspective. // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2021. 23(4). P. 2525-2556. <https://doi.org/10.1109/COMST.2021.3117338>

[4] Zegzhda, D. P., Lavrova, D. S., & Pavlenko, E. Y. Management of a dynamic infrastructure of complex systems under conditions of directed cybe attacks. // *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2020. 59(3). P. 358-370. <http://dx.doi.org/10.1134/S1064230720020124>

[5] Ahmetoglu, H., & Das, R. A comprehensive review on detection of cyber-attacks: Data sets, methods, challenges, and future research directions. // *Internet of Things*. 2022. 100615. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100615>

- [6] An, P., Wang, Z., & Zhang, C. Ensemble unsupervised autoencoders and Gaussian mixture model for cyberattack detection. // *Information Processing & Management*. 2022. 59(2). 102844. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2021.102844>
- [7] Aribisala, A., Khan, M. S., & Husari, G. (2021, October). Machine Learning Algorithms and Their Applications in Classifying Cyber-Attacks On a Smart Grid Network. In *2021 IEEE 12th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)* (pp. 0063-0069). IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/IEMCON53756.2021.9623067>
- [8] Angelini, M., Blasilli, G., Catarci, T., Lenti, S., & Santucci, G. *Vulnus: Visual vulnerability analysis for network security*. // *IEEE transactions on visualization and computer graphics*. 2018. 25(1). P. 183-192. <http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2018.2865028>
- [9] Yeboah-Ofori A, Islam S. Cyber Security Threat Modeling for Supply Chain Organizational Environments. // *Future Internet*. 2019. 11(3):63. <https://doi.org/10.3390/fi11030063>
- [10] Tanwar, R., Choudhury, T., Zamani, M., & Gupta, S. (Eds.). *Information Security and Optimization*. CRC Press. 2020. <https://books.google.de/books?hl=en&lr=&id=F1cBEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=related:NTArO56bNTwJ:scholar.google.com/&ots=2qdbSPlNG3&sig=ps37g1m7bE7pqPqRNVJoXivMtY>
- [11] Almohri, H. M., Watson, L. T., Yao, D., & Ou, X. Security optimization of dynamic networks with probabilistic graph modeling and linear programming. // *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*. 2015. 13(4). P. 474-487. <http://dx.doi.org/10.1109/TDSC.2015.2411264>
- [12] Bouyeddou, B., Harrou, F., Kadri, B., & Sun, Y. Detecting network cyber-attacks using an integrated statistical approach. // *Cluster Computing*. 2021. 24(2). P. 1435-1453. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10586-020-03203-1>
- [13] Utzerath, J., & Dennis, R. Numbers and statistics: data and cyber breaches under the General Data Protection Regulation. // *International Cybersecurity Law Review*. 2021. 2(2). P. 339-348. <https://doi.org/10.1365/s43439-021-00041-8>
- [14] Schatz D., Bashroush R. Economic valuation for information security investment: a systematic literature review. // *Information Systems Frontiers*. 2017. T. 19. №.5. P. 1205-1228. DOI <https://doi.org/10.1007/s10796-016-9648-8>
- [15] Оладько В. С. Модель выбора рационального состава средств защиты в системе электронной коммерции // *Вопросы кибербезопасности*. 2016. №1 (14). С.17-23. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-vybora-ratsionalnogo-sostava-sredstv-zaschity-v-sisteme-elektronnoy-kommertsii>
- [16] Прокушев Я.Е., Пономаренко С.В., Пономаренко С.А. Моделирование процессов проектирования систем защиты информации в государственных информационных системах // *Computational nanotechnology*. 2021. Т. 8. № 1. С. 26–37. DOI: 10.33693/2313-223X-2021-8-1-26-37 <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-protsessov-proektirovaniya-sistem-zaschity-informatsii-v-gosudarstvennyh-informatsionnyh-sistemah/viewer>
- [17] Merchan-Lima, J., Astudillo-Salinas, F., Tello-Oquendo, L., Sanchez, F., Lopez-Fonseca, G., & Quiroz, D. Information security management frameworks and institution: a systematic review. // *Annals of Telecommunications*. 2021. 76(3). P. 255-270. <https://doi.org/10.1007/s12243-020-00783-2>

References

- [1] Evans, M., He, Y., Maglaras, L., & Janicke, H. HEART-IS: A novel technique for evaluating human error-related information security incidents. // *Computers & Security*. 2019. 80. P. 74-89. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2018.09.002>
- [2] Pérez-González, D., Preciado, S. T., & Solana-Gonzalez, P. Organizational practices as antecedents of the information security management performance: An empirical investigation. // *Information Technology & People*. 2019. 32(5). P. 1262-1275. <https://doi.org/10.1108/ITP-06-2018-0261>
- [3] Schlette, D., Caselli, M., & Pernul, G. A comparative study on cyber threat intelligence: the security incident response perspective. // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2021. 23(4). P. 2525-2556. <https://doi.org/10.1109/COMST.2021.3117338>
- [4] Zegzhda, D. P., Lavrova, D. S., & Pavlenko, E. Y. Management of a dynamic infrastructure of complex systems under conditions of directed cyber attacks. // *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2020. 59(3). P. 358-370. <http://dx.doi.org/10.1134/S1064230720020124>

- [5] Ahmetoglu, H., & Das, R. A comprehensive review on detection of cyber-attacks: Data sets, methods, challenges, and future research directions. // *Internet of Things*. 2022. 100615. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100615>
- [6] An, P., Wang, Z., & Zhang, C. Ensemble unsupervised autoencoders and Gaussian mixture model for cyberattack detection. // *Information Processing & Management*. 2022. 59(2). 102844. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2021.102844>
- [7] Aribisala, A., Khan, M. S., & Husari, G. (2021, October). Machine Learning Algorithms and Their Applications in Classifying Cyber-Attacks On a Smart Grid Network. In *2021 IEEE 12th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)* (pp. 0063-0069). IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/IEMCON53756.2021.9623067>
- [8] Angelini, M., Blasilli, G., Catarci, T., Lenti, S., & Santucci, G. Vulnus: Visual vulnerability analysis for network security. // *IEEE transactions on visualization and computer graphics*. 2018. 25(1). P. 183-192. <http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2018.2865028>
- [9] Yeboah-Ofori A, Islam S. Cyber Security Threat Modeling for Supply Chain Organizational Environments. // *Future Internet*. 2019. 11(3):63. <https://doi.org/10.3390/fi11030063>
- [10] Tanwar, R., Choudhury, T., Zamani, M., & Gupta, S. (Eds.). *Information Security and Optimization*. CRC Press. 2020. <https://books.google.de/books?hl=en&lr=&id=F1cBEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=related:NTArO56bNTwJ:scholar.google.com/&ots=2qdbSPING3&sig=ps37g1m7bE7pqPqeRNVJoXlvMtY>
- [11] Almohri, H. M., Watson, L. T., Yao, D., & Ou, X. Security optimization of dynamic networks with probabilistic graph modeling and linear programming. // *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*. 2015. 13(4). P. 474-487. <http://dx.doi.org/10.1109/TDSC.2015.2411264>
- [12] Bouyeddou, B., Harrou, F., Kadri, B., & Sun, Y. Detecting network cyber-attacks using an integrated statistical approach. // *Cluster Computing*. 2021. 24(2). P. 1435-1453. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10586-020-03203-1>
- [13] Utzerath, J., & Dennis, R. Numbers and statistics: data and cyber breaches under the General Data Protection Regulation. // *International Cybersecurity Law Review*. 2021. 2(2). P. 339-348. <https://doi.org/10.1365/s43439-021-00041-8>
- [14] Schatz D., Bashroush R. Economic valuation for information security investment: a systematic literature review. // *Information Systems Frontiers*. 2017. T. 19. №.5. P. 1205-1228. DOI <https://doi.org/10.1007/s10796-016-9648-8>
- [15] Olad'ko, V. S. (2016). Model' vybora racional'nogo sostava sredstv zashchity v sisteme elektronnoj kommercii [A model for choosing a rational composition of security tools in the e-commerce system]. *Voprosy kiberbezopasnosti*. №1 (14). 17-23 (in Russian). <https://cyberleninka.ru/article/n/model-vybora-ratsionalnogo-sostava-sredstv-zaschity-v-sisteme-elektronnoy-kommertsii>
- [16] Prokushev, YA. E., Ponomarenko, S. V., & Ponomarenko, S. A. Modelirovanie processov proektirovaniya sistem zashchity informacii v gosudarstvennyh informacionnyh sistemah [Modeling of design processes of information security systems in state information systems]. *Computational nanotechnology*. 2021. №1. 26-37. (in Russian). DOI: 10.33693/2313-223X-2021-8-1-26-37 <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-protsessov-proektirovaniya-sistem-zaschity-informatsii-v-gosudarstvennyh-informatsionnyh-sistemah/viewer>
- [17] Merchan-Lima, J., Astudillo-Salinas, F., Tello-Oquendo, L., Sanchez, F., Lopez-Fonseca, G., & Quiroz, D. Information security management frameworks and institution: a systematic review. // *Annals of Telecommunications*. 2021. 76(3). P. 255-270. <https://doi.org/10.1007/s12243-020-00783-2>

Е.Т. Кожагулов¹, Д.М. Жексебай¹, А.Т. Намазбаев¹, С.А. Сарманбетов^{1*}

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
*e-mail: sarmanbetov.sanzhar@gmail.com

ЭФФЕКТИВНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЦИФРОВОЙ МОДУЛЯЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Аннотация

Работа направлена на улучшение эффективности идентификации различных типов цифровой модуляции. Она включает в себя анализ текущих методик автоматического определения модуляций, выявление и классификацию особенностей цифровой модуляции, а также создание уникальной базы данных для этих целей. В исследовании предложен современный подход, основанный на технологии глубокого обучения с применением сверточных нейронных сетей, обучающихся на специально подготовленном наборе данных, что позволяет значительно повысить точность классификации. Установлена связь между сверточным нейронным сетем (CNN) и сигналом модуляции, где сверточная нейронная сеть обучается на синфазных и квадратурных выборках сигналов. Подобранные параметры сети обеспечивают более высокую точность измерения. Эксперименты показали, что сверточная нейронная сеть способна классифицировать сигналы с высоким уровнем даже при низком отношении сигнала/шума (SNR), превышающем 99,9%, за исключением квадратурной фазовой манипуляции (QPSK) (94,5%). Полученные результаты демонстрируют эффективность использования глубокого обучения для приборов цифровой модуляции.

Ключевые слова: классификация модуляции, сверточные нейронные сети, отношение сигнал/шум, множественная фазовая модуляция (MPSK), автоматическая классификация модуляции.

Е.Т. Кожагулов¹, Д.М. Жексебай¹, А.Т. Намазбаев¹, С.А. Сарманбетов¹

¹әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

ҚҮЙРКІЛІ НЕЙРЛІК ЖЕЛІЛЕРДІ ПАЙДАЛАНАТЫН ЦИФРЛЫҚ МОДУЛЯЦИЯНЫҢ ТИІМДІ ЖІКТЕЛУІ

Аңдатпа

Бұл жұмыс сандық модуляцияның әртүрлі түрлерінің сәйкестендіру өнімділігін жақсартуға бағытталған. Ол модуляцияны автоматты түрде анықтаудың ағымдағы әдістерін талдауды, сандық модуляция мүмкіндіктерін анықтауды және жіктеуді және осы мақсаттар үшін бірегей деректер қорын құруды қамтиды. Зерттеу арнайы дайындалған деректер жиынында оқытылатын конволюционды нейрондық желілерді қолданатын терең оқыту технологиясына негізделген заманауи тәсілді ұсынады, бұл жіктеу дәлдігін айтарлықтай жақсарты алады. Үйірткілі нейрондық желі және модуляция сигналы арасында байланыс орнатылады, мұнда үйірткілі нейрондық желі фазалық және квадраттық сигнал үлгілерінде оқытылады. Таңдалған желі параметрлері жоғары өлшеу дәлдігін қамтамасыз етеді. Тәжірибелер үйірткілі нейрондық желі жоғары деңгейлі сигналдарды төмен сигнал-шу қатынасы 99,9%-дан асатын болса да, төртбұрышты фазалық ығысу кілті (94,5%) қоспағанда жіктей алатынын көрсетті. Алынған нәтижелер сандық модуляция құрылғылары үшін терең оқытуды қолданудың тиімділігін көрсетеді.

Түйін сөздер: модуляция классификациясы, үйірткілі нейрондық, сигнал-шуыл қатынасы, нейрондық желілер, көп фазалы модуляция, автоматты модуляция классификациясы.

Y.T. Kozhagulov¹, D.M. Zhexebay¹, T.A. Namazbayev¹, S.A. Sarmanbetov¹
¹al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

EFFECTIVE CLASSIFICATION OF DIGITAL MODULATION USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

Abstract

This work aims to improve the identification performance of different types of digital modulation. It includes an analysis of current techniques for automatic modulation detection, identification and classification of digital modulation features, and the creation of a unique database for these purposes. The study proposes a modern approach based on deep learning technology using convolutional neural networks (CNN) trained on a specially prepared data set, which can significantly improve classification accuracy. A connection is established between the CNN and the modulation signal, where the CNN is trained on in-phase and quadrature signal samples. Selected network parameters provide higher measurement accuracy. Experiments have shown that CNN is able to classify high-level signals even with low signal-to-noise ratio (SNR) exceeding 99.9%, with the exception of QPSK (94.5%). The results obtained demonstrate the effectiveness of using deep learning for digital modulation devices.

Keywords: modulation classification, convolutional neural networks, signal-to-noise ratio, neural networks, Multi Pre-Shared Key, Automatic Modulation Classification.

Основные положения

В исследовании предлагается метод улучшения точности распознавания типов цифровой модуляции с использованием сверточных нейронных сетей (CNN), что позволяет достигать точности классификации выше 99,9% для большинства видов модуляции при различных значениях соотношения сигнал/шум. Разработана и применена уникальная база данных для обучения нейронной сети, включающая 9600 модулированных сигналов, собранных с использованием специализированного оборудования NI, что стало ключевым фактором успешного обучения модели.

Архитектура предложенной CNN состоит из четырех сверточных слоев и двух плотных слоев с активационной функцией ReLU, что обеспечивает высокую производительность и точность модели. Экспериментальные результаты показывают, что предложенная модель CNN сохраняет высокую точность распознавания даже при низком уровне сигнал/шум, особенно для видов модуляции двоичная фазовая манипуляция (Binary Phase Shift Keying (BPSK)), восьмипозиционная фазовая модуляция (8 Phase-Shift Keying (8PSK)), шестнадцати позиционная фазовая модуляция (16 Phase-Shift Keying (16PSK)), тридцати двух позиционная фазовая модуляция (32 Phase-Shift Keying (32PSK)) и шестидесяти четырех позиционная фазовая модуляция (64 Phase-Shift Keying (64PSK)), достигая точности выше 99,9%.

Предложенная модель CNN демонстрирует значительное улучшение производительности по сравнению с существующими методами, подчеркивая потенциал глубокого обучения в задачах распознавания модуляции и предлагая перспективы для практического применения в сфере цифровой связи. Дальнейшие исследования будут направлены на усовершенствование сетевой архитектуры и методы обобщения модели для различных условий и наборов данных, что обеспечит эффективное развертывание моделей в реальных условиях эксплуатации.

Введение

В контексте телекоммуникационных систем, одной из ключевых проблем является идентификация типов цифровой модуляции, что находит свое применение в областях радиомониторинга и радиоконтроля, среди прочего. Идентификация типов цифровой модуляции оказывает существенное влияние на эффективность телекоммуникационных систем. Во-первых, умение определять тип цифровой модуляции позволяет непосредственно идентифицировать источник передачи сигнала. Во-вторых, успешное декодирование, последующее за определением типа модуляции, ведет к возможности восстановления передаваемого сообщения. В-третьих, точное распознавание модуляций необходимо для

функционирования систем активного радиопомех, цель которых - нарушение сигнального взаимодействия между устройствами. Автоматическая классификация модуляции вслепую определяет схему модуляции системы в условиях неизвестной априорной информации. Такой как информация о состоянии канала и параметры передающего оборудования системы.

Однако существующие методы, основанные на глубоком обучении, напрямую получают характеристики исходного сигнала для идентификации метода модуляции. Из-за разной силы шума в модулированных сигналах с разным отношением сигнал/шум существующие модели могут использовать только глубокие нейронные сети для извлечения убедительных признаков в сигналах для повышения точности распознавания. Однако это часто приводит к сложному балансу между сложностью модели и точностью распознавания. Шум в сигнале является основной причиной необычайно сложной структуры существующих моделей с высокой скоростью распознавания. Поэтому крайне важно разработать эффективную сеть классификации модуляции, которая может адаптивно очищать входные сигналы от шума при различных отношениях сигнал/шум.

Обзор литературы и постановка проблемы.

В современной научной и технической литературе описаны различные методологии для автоматизированного определения типов модуляции, включая анализ формы сигнального созвездия, использование пороговых значений и применение искусственных нейронных сетей. В исследованиях [1-3] представлен метод построения сигнального созвездия и последующее сравнение мгновенной угловой фазы и конфигурации созвездия. Основная проблематика данного подхода заключается в реконструкции сигнального созвездия с применением алгоритмов, базирующихся на методе fuzzy c-means, как обсуждается в [4].

Исследование [5-6] фокусируется на алгоритме восстановления сигнального созвездия через fuzzy c-means, обеспечивающем эффективную нечеткую кластеризацию больших данных. Этот метод демонстрирует преимущества при сближенных классах и наличии значительного количества точек на их периферии, показывая до 90% точности при отношении сигнал/шум в 5dB и анализе многопозиционной фазовой манипуляции (MPSK) модуляции.

В исследованиях [7-9] рассмотрена методика, предполагающая вычисление информационных признаков из исходных данных и их последующее сравнение с заданными порогами, определяемыми экспериментально. Этот процесс, воплощенный в форме дерева решений, был изучен на примере фазовой манипуляции (phase-shift keying (PSK)) и цифровой квадратурной модуляции (QAM) сигналов при различных уровнях SNR (0, 8, 50, 100 dB). С недавних пор, благодаря своей высокой эффективности в задачах распознавания образов, искусственные нейронные сети начали активно применяться во множестве современных систем, включая автоматическое распознавание типов цифровой модуляции, как это подтверждается в работах [10-13]. Предложенные методы в [10-13] могут различать типы цифровой модуляции более высокого порядка, таких как 256QAM и 1024QAM.

В [14] предложили использовать сверточные нейронные сети (CNN) для различения различных типов модулированных сигналов. Результаты показали, что производительность моделей CNN была значительно лучше, чем у методов, основанных на признаках. В этой статье генерируются 11 общих сигналов цифровой модуляции для обработки классификации модуляции. Типы этих сигналов: BPSK, QPSK, 2FSK, 4FSK, 8FSK, Амплитудно-фазовая 2 Amplitude-shift keying (2ASK), 4ASK, 8ASK, 16QAM, 32QAM, 64QAM. Диапазон SNR составляет от -2 до 10 dB с шагом 2 dB. Точность классификации сигналов составляет 82,8182%. В публикации [15] представлены модели автоматического распознавания высокой точности, использующие глубокие архитектуры, включая сверточные глубокие нейронные сети с долгосрочной и краткосрочной памятью (CLDNN) и глубокие остаточные нейронные сети (ResNet).

В [16] было использовано кратковременное преобразование Фурье (STFT) для преобразования временных рядов в спектральные изображения в качестве входных данных

сети CNN и достигнута хорошая точность классификации. В последнее время некоторые ученые использовали методы глубокого обучения для проведения предварительных исследований текущих проблем в области распознавания модуляции. Например, исследование метода идентификации сигнала модуляции образцов с нулевой меткой в конкретных сценариях [15], обнаружение сигнала и автоматическая классификация модуляции в безопасном динамическом доступе к спектру [17]. В работе [17] была достигнута повышенная точность распознавания.

Цель и задачи исследования

Основная цель данного исследования заключается в идентификации и разработке методов для улучшения точности идентификации типов цифровой модуляции. Для достижения этой цели, исследование сосредоточено на выполнении следующих задач:

1. Изучение и анализ текущих методик в области автоматического определения видов цифровой модуляции.
2. Исследование, анализ и классификация характеристик для автоматического определения таких типов цифровой модуляции, как BPSK, QPSK, 8-PSK, 16PSK, 32PSK и 64PSK.
3. Сбор собственной базы данных.

Методология исследования

Материалы и методы

В работе предлагается сеть CNN.

Структура CNN показана на рисунке 1 и в таблице 1.

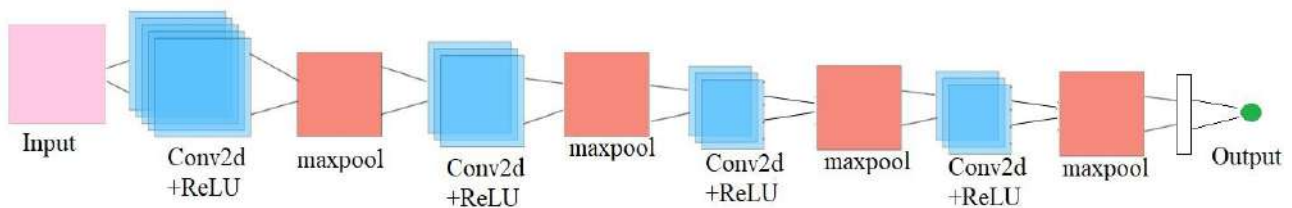


Рисунок 1. Структура сети

Таблица 1. Параметры сети

Layer (type)	Output Shape	Param
conv2d (Conv2D)	(None, 2, 1024, 256)	1792
max_pooling2d (MaxPooling2D)	(None, 2, 512, 256)	0
conv2d_1 (Conv2D)	(None, 2, 512, 128)	196736
max_pooling2d_1	(MaxPooling2 (None, 2, 256,	0
conv2d_2 (Conv2D)	(None, 2, 256, 64)	49216
max_pooling2d_2	(MaxPooling2 (None, 2, 128, 64)	0
conv2d_3 (Conv2D)	(None, 2, 128, 64)	24640
max_pooling2d_3	(MaxPooling2 (None, 2, 64, 64)	0
flatten (Flatten)	(None, 8192)	0
dense (Dense)	(None, 128)	1048704
dense_1 (Dense)	(None, 6)	774
Total params	1,321,862	
Trainable params	1,321,862	
Non-trainable params	0	

В этой статье модель CNN построена с использованием Keras ,библиотека для языка программирования Python (Tensorflow). Предлагаемая модель CNN включает в себя четыре слоя свертки и объединения (pooling layer), заканчивающихся двумя плотными слоями. Использовано функция активации ReLU.

Для оптимальной производительности использовали 256 фильтров на первом уровне, а на последнем уровне было 64 фильтра. Первый плотный слой образован 128 нейронами и функцией активации ReLU.

В процессе обучения мы используем 20 интерации. На этапах обучения и тестирования использовали Intel(R) Core-I7-8700 CPU, 3,2 GHz, ОЗУ 16 Gb, NVIDIA GeForce GTX 1080. С помощью библиотеки Tensorflow GPU было сделано параллельное вычисление на основе технологии CUDA (v 9.2).

Результаты исследования

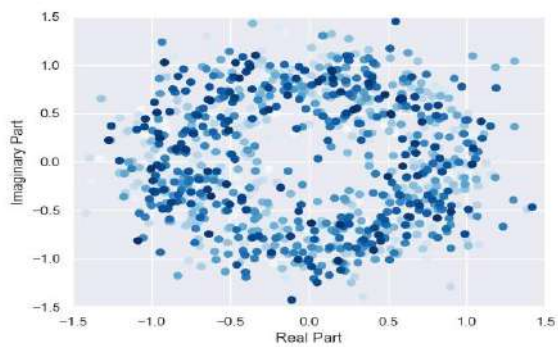
Для обучения используются собственная база данных для входа CNN. Сбор видов цифровой модуляции выполнено через инструмент NI PXIe-1065 с прием-передатчиком (RF Signal Generator NI PXI-5652, RF Downconvertor NI PXIe-5601, 16-Bit IF Digitizer NI PXIe-5622, I/Q Signal Generator NI PXIe-5450, I/Q Vector Modulator NI PXIe-5611). Оборудование для сбора базы данных показано на рисунке 2.



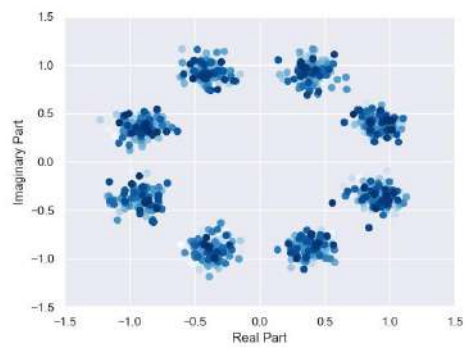
Рисунок 2. Оборудование NI PXIe-1065 для сбора базы данных

Для создания необходимой для тренировки нейронных сетей базы данных различных модуляций было произведено генерирование 9600 информационных сигналов с продолжительностью в 1024 отсчета каждый. Эти сигналы, передаваемые через канал связи, подверглись воздействию шумов, следующих нормальному распределению, при этом соотношение сигнал/шум (С/Ш) варьировалось в пределах от 0 до 15 дБ для целых значений С/Ш, выбираемых случайным образом. Для преобразования полученных высокочастотных сигналов в IQ данные использовались стандартные процедуры оборудования NI. В результате, набор данных для обучения был организован в виде матрицы с размерами 6x16x100x1024, где каждый элемент представляет собой определенный тип цифровой модуляции, при этом конкретное значение элемента установлено равным единице. Где 6 это виды модуляции (BPSK, QPSK, 8PSK, 16PSK, 32PSK, 64PSK), 16-значения ОСШ (0-15), 100- количество записей в одной модуляции с одним значением ОСШ. Алгоритм обучения - метод обратного распространения ошибки.

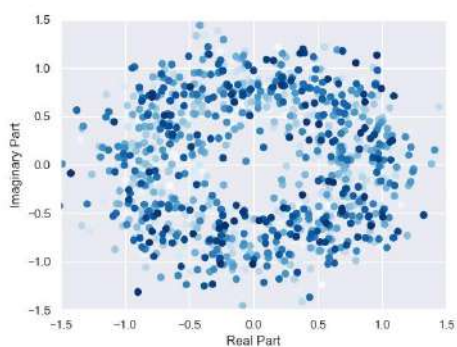
Чтобы проверить обученную сеть, используем проверочный набор (рис. 3), на котором представлена точность распознавания сети при 4 режимах модуляции при различных SNR (рис. 4).



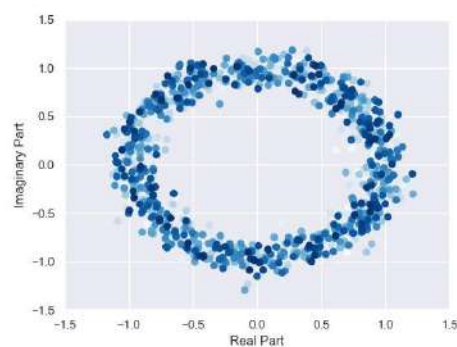
(a) 8PSK 7dB



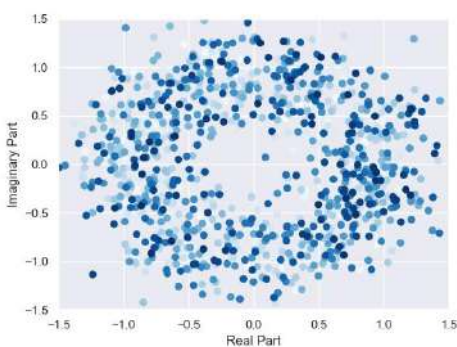
(б) 8 PSK 15dB



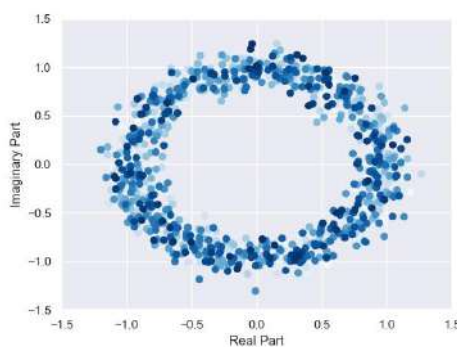
(в) 16 PSK 7dB



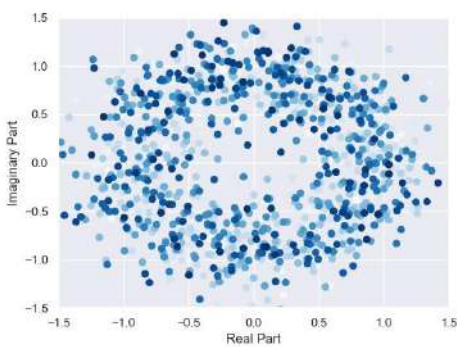
(г) 16 PSK 15 dB



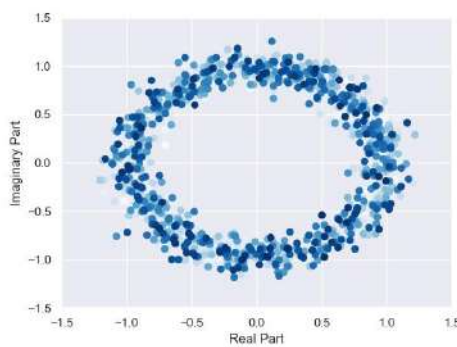
(д) 32 PSK 7 dB



(е) 32 PSK 15 dB



(ж) 64 PSK 7dB



(з) 64 PSK 15 dB

Рисунок 3. Созвездия MPSK с SNR 7 и 15 dB (а-8PSK 7dB, б-8PSK 15dB, в-16PSK 7dB, г-16PSK 15dB, д-32PSK 7dB, е-32PSK 15dB, ж-64PSK 7dB, з-64PSK 15dB)

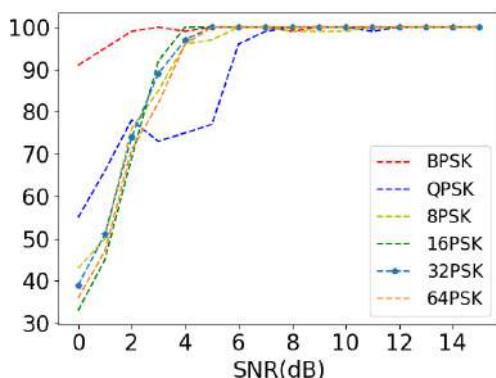
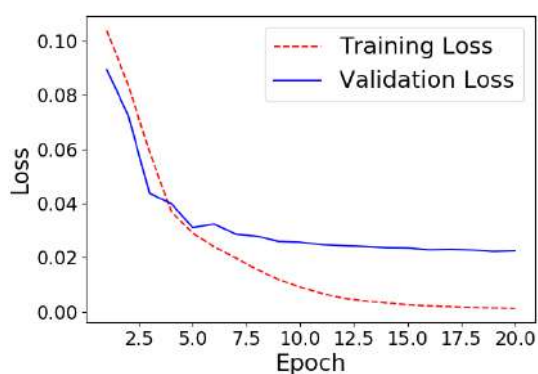
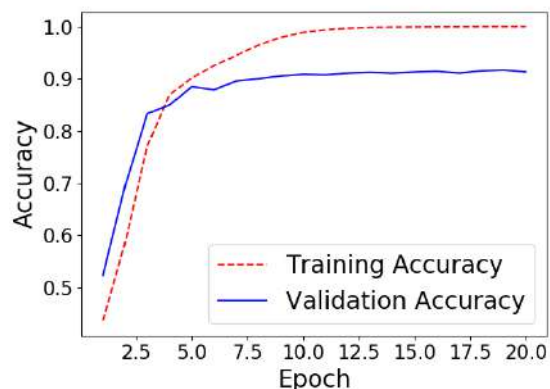


Рисунок 4. Точность распознавания модуляции

Точность и потери на этапе обучения используются для оценки эффективности обучения моделей. Наша модель завершила обучение менее чем за 20 эпох. Точность и потери на этапе обучения можно увидеть на рис. 5(a) и рис. 5(b) соответственно.



(a) Точность обучения



(б) Потеря обучения

Рисунок 5. Сравнение эффективности обучения (а-Точность обучения, б- Потеря обучения)

Дискуссия

Обсуждение результатов эксперимента

Когда SNR составляет 6 dB, большинство сигналов достигают уровня точности, превышающего 99,9%, за исключением QPSK (94,5%). С увеличением SNR точность распознавания возрастает. Для дальнейшего анализа производительности нашей сети по распознаванию сигналов модуляции мы изучаем матрицы путаницы сигналов при различных SNR, т. е. низкое SNR при 0 dB и высокое при 15 dB. Соответствующие матрицы представлены на рис. 6. Из рисунка можно сделать вывод, что большинство ошибок сосредоточено в одинаковых режимах модуляции. Учитывая случай 6 dB, наш метод обеспечивает общую точность 99,9%. В частности, для QPSK (94,5%), BPSK, 8PSK, 16PSK, 32PSK, 64PSK (99,9%).

Заключение

В статье подробно рассмотрено использование сверточных нейронных сетей (CNN) для улучшения точности распознавания различных видов цифровой модуляции, подчеркивая значимость собственной базы данных, сформированной при помощи специализированного оборудования ИИ для обучения этих сетей. Процесс сбора данных включал генерацию огромного количества модулированных сигналов и их последующую обработку с целью создания обширного и многообразного датасета, что стало ключом к успешному обучению модели.

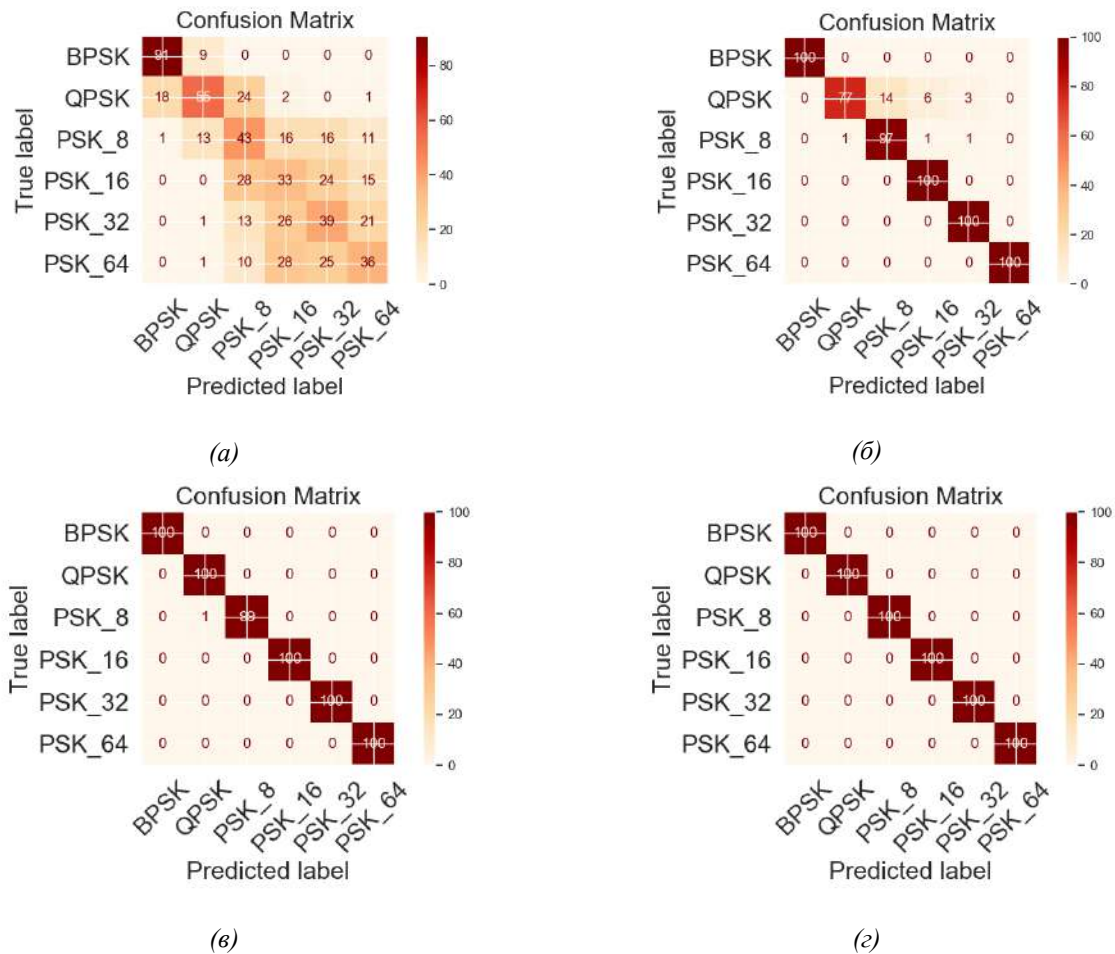


Рисунок 6. Матрицы ошибок для различных отношений сигнал/шум (а- 0 dB, б – 5dB, в-10dB, г-15dB)

Экспериментальные результаты демонстрируют высокую эффективность предложенного подхода, особенно в условиях низкого соотношения сигнал/шум, где CNN показала способность достигать точности классификации выше 99,9% для большинства типов модуляций, кроме QPSK, где точность составила 94,5%. Такие результаты подтверждают потенциал глубокого обучения в задачах распознавания модуляции, предлагая значительные перспективы для практического применения в сфере цифровой связи.

Основной вклад статьи включает в себя разработку упрощенной архитектуры CNN и формирование уникальной базы данных, что в совокупности обеспечивает выдающуюся точность классификации. Достижение такой высокой точности обусловлено использованием разнообразных сверточных ядер, минимизации ошибок и применении активационных функций, таких как ReLU, что позволяет сети эффективно обрабатывать и классифицировать модулированные сигналы.

В заключение, статья акцентирует внимание на необходимости дальнейшего совершенствования и упрощения сетевых архитектур, сохраняя при этом высокую точность распознавания. Это предполагает изучение способов обобщения модели на различные условия и наборы данных, а также разработку методик для эффективного развертывания моделей в реальных условиях эксплуатации, что открывает путь для будущих исследований в области автоматического распознавания цифровой модуляции.

Список использованных источников

- [1] Young A. F. *Classification of digital modulation types in multipath environments* // Master's Thesis. Naval Postgraduate School, Monterey, CA 93943-5000, California. - 2008. -pp. 1 – 65.
- [2] Fengyuan S., Chunsheng S., Chao H. A lightweight and efficient neural network for modulation recognition // *Digital Signal Processing*. – 2022. – Vol. 123, -pp 103444. <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2022.103444>
- [3] Zhang Z., Wang C., Gan C., Sun S. and Wang M. Automatic modulation classification using convolutional neural network with features fusion of SPWVD and BJD // *IEEE Transactions on Network and Service Management*. - 2019. - Vol. 5, № 3, - pp. 469-478. <https://doi.org/10.1109/TSIPN.2019.2900201>
- [4] Huang S., Yao Y., Wei Z., Feng Z. and Zhang P. Automatic modulation classification of overlapped sources using multiple cumulants // *IEEE*. - 2016. - Vol. 66, № 7, - pp. 6089-6101. <https://doi.org/10.1109/TVT.2016.2636324>
- [5] Аджемов С.С., Кленов Н.В., Терешонок М.В., Чиров Д.С. Методы распознавания видов цифровой модуляции сигналов в когнитивных радиосистемах // *Вестник Московского Университета. Серия 3. Физика. Астрономия*. - 2015. № 6, - с. 19-27.
- [6] Bijan G. M. *Digital modulation classification using constellation shape* // *Signal Processing*. - 2000. - Vol. 80, № 2, - pp. 251-277. [https://doi.org/10.1016/S0165-1684\(99\)00127-9](https://doi.org/10.1016/S0165-1684(99)00127-9)
- [7] Chaithanya V., Reddy V.U. *Blind modulation classification in the presence of carrier frequency offset* // Master's Thesis. Communications Research Center. - 2010. - pp. 1-39. <https://doi.org/10.1109/SPCOM.2010.5560548>
- [8] Changbo H., Yuqian L., Xiang Ch., Jing Zh. Automatic modulation classification using KELM with joint features of CNN and LBP // *Physical Communication*. - 2021. - Vol. 45, -pp. 101259. <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2020.101259>
- [9] Aceto G., Ciunzo D., Montieri A., Pescapé A. Mobile encrypted traffic classification using deep learning: experimental evaluation, lessons learned, and challenges // *IEEE Transactions on Network and Service Management*. - 2019. - pp. 445-458. <https://doi.org/10.1109/TNSM.2019.2899085>
- [10] Purwins H., Li B., Virtanen T., Schlüter J., Chang S.Y. and Sainath T. Deep learning for audio signal processing // *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*. – 2019. - Vol. 13, № 2, - pp. 206-219. <https://doi.org/10.1109/JSTSP.2019.2908700>
- [11] Bagga J., Tripathi N. Automatic modulation classification using statistical features in fading environment // *International Journal of Advanced Research in electrical, electronics and instrumentation engineering*. - 2013. - Vol. 2, № 8, - pp. 3701- 3708.
- [12] Meng F., Chen P., Wu L. and Wang X. Automatic modulation classification: A deep learning enabled approach // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. - 2018. - Vol. 67, № 11, - pp. 10760-10772. <https://doi.org/10.1109/TVT.2018.2868698>
- [13] Wang Y., Liu M., Yang J. and Gui G. Data-driven deep learning for automatic modulation recognition in cognitive radios // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. - 2019. - Vol. 68, № 4, - pp. 4074-4077. <https://doi.org/10.1109/TVT.2019.2900460>
- [14] Qi P., Zhou X., Zheng S. and Li Z. Automatic modulation classification based on deep residual networks with multimodal information // *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*. - 2021. - Vol. 7, № 1, - pp. 21-33. <https://doi.org/10.1109/TCCN.2020.3023145>
- [15] Swami A., Sadler B.M. Hierarchical digital modulation classification using cumulants // *IEEE Transactions on Communications*. - 2000. - Vol. 48, № 3, - pp. 416-429. <https://doi.org/10.1109/26.837045>
- [16] Chen H., Guo L., Dong C., Cong F. and Mu X. Automatic modulation classification using multi-scale convolutional neural network // *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*. -2020. - pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/PIMRC48278.2020.9217305>
- [17] Namaz T., Alzahrani A. Machine-Learning-Assisted Cyclostationary Spectral Analysis for Joint Signal Classification and Jammer Detection at the Physical Layer of Cognitive Radio // *Sensors*. - 2023. -pp. 7144. <https://doi.org/10.3390/s23167144>

References

- [1] Young A. F. *Classification of digital modulation types in multipath environments* // Master's Thesis. Naval Postgraduate School, Monterey, CA 93943-5000, California. - 2008. -pp. 1 – 65.

- [2] Fengyuan S., Chunsheng S., Chao H. A lightweight and efficient neural network for modulation recognition // *Digital Signal Processing*. – 2022. – Vol. 123, -pp. 103444. <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2022.103444>
- [3] Zhang Z., Wang C., Gan C., Sun S. and Wang M. Automatic modulation classification using convolutional neural network with features fusion of SPWVD and BJD // *IEEE Transactions on Network and Service Management*. - 2019. - Vol. 5, № 3, - pp. 469-478. <https://doi.org/10.1109/TSIPN.2019.2900201>
- [4] Huang S., Yao Y., Wei Z., Feng Z. and Zhang P. Automatic modulation classification of overlapped sources using multiple cumulants // *IEEE*. - 2016. - Vol. 66, № 7, - pp. 6089-6101. <https://doi.org/10.1109/TVT.2016.2636324>
- [5] Adzhemov S.S., Klenov N.V., Tereshonok M.V., Chirov D.S. Methods for recognizing types of digital signal modulation in cognitive radio systems // *Bulletin of Moscow University. Series 3. Physics and Astronomy*. - 2015. № 6, - pp. 19-27.
- [6] Bijan G. M. Digital modulation classification using constellation shape // *Signal Processing*. - 2000. - Vol. 80, № 2, - pp. 251-277. [https://doi.org/10.1016/S0165-1684\(99\)00127-9](https://doi.org/10.1016/S0165-1684(99)00127-9)
- [7] Chaithanya V., Reddy V.U. Blind modulation classification in the presence of carrier frequency offset // *Master's Thesis. Communications Research Center*. - 2010. - pp. 1-39. <https://doi.org/10.1109/SPCOM.2010.5560548>
- [8] Changbo H., Yuqian L., Xiang Ch., Jing Zh. Automatic modulation classification using KELM with joint features of CNN and LBP // *Physical Communication*. - 2021. - Vol. 45, -pp 101259. <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2020.101259>
- [9] Aceto G., Ciunzo D., Montieri A., Pescapé A. Mobile encrypted traffic classification using deep learning: experimental evaluation, lessons learned, and challenges // *IEEE Transactions on Network and Service Management*. - 2019. - pp. 445-458. <https://doi.org/10.1109/TNSM.2019.2899085>
- [10] Purwins H., Li B., Virtanen T., Schlüter J., Chang S.Y. and Sainath T. Deep learning for audio signal processing // *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*. – 2019. - Vol. 13, № 2, - pp. 206-219. <https://doi.org/10.1109/JSTSP.2019.2908700>
- [11] Bagga J., Tripathi N. Automatic modulation classification using statistical features in fading environment // *International Journal of Advanced Research in electrical, electronics and instrumentation engineering*. - 2013. - Vol. 2, № 8, - pp. 3701- 3708.
- [12] Meng F., Chen P., Wu L. and Wang X. Automatic modulation classification: A deep learning enabled approach // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. - 2018. - Vol. 67, № 11, - pp. 10760-10772. <https://doi.org/10.1109/TVT.2018.2868698>
- [13] Wang Y., Liu M., Yang J. and Gui G. Data-driven deep learning for automatic modulation recognition in cognitive radios // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. - 2019. - Vol. 68, № 4, - pp. 4074-4077. <https://doi.org/10.1109/TVT.2019.2900460>
- [14] Qi P., Zhou X., Zheng S. and Li Z. Automatic modulation classification based on deep residual networks with multimodal information // *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*. - 2021. - Vol. 7, № 1, - pp. 21-33. <https://doi.org/10.1109/TCCN.2020.3023145>
- [15] Swami A., Sadler B.M. Hierarchical digital modulation classification using cumulants // *IEEE Transactions on Communications*. - 2000. - Vol. 48, № 3, - pp. 416-429. <https://doi.org/10.1109/26.837045>
- [16] Chen H., Guo L., Dong C., Cong F. and Mu X. Automatic modulation classification using multi-scale convolutional neural network // *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*. -2020. - pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/PIMRC48278.2020.9217305>
- [17] Namaz T., Alzahrani A. Machine-Learning-Assisted Cyclostationary Spectral Analysis for Joint Signal Classification and Jammer Detection at the Physical Layer of Cognitive Radio // *Sensors*. - 2023. -pp. 7144. <https://doi.org/10.3390/s23167144>

Н.Б. Құттыбай^{1*}, Ә.А. Аманжол¹, Н. Ж. Қошқарбай¹,
Б.Н. Жоламанов¹, А.К. Сейтжанова¹

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

*e-mail: nurjigit.10.93@gmail.com

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ (IOT)

Аннотация

Дистанционное наблюдение и управление системами выработки электроэнергии представляет собой важную задачу в области возобновляемых источников энергии. Эффективное дистанционное наблюдение позволяет оперативно выявлять неисправности, проводить диагностику и предпринимать меры для предотвращения серьезных проблем, что в конечном итоге экономит время и ресурсы. В данной работе представлена система мониторинга солнечной энергии, основанная на технологии Интернета вещей (IoT). Устройства IoT подключены к датчикам, позволяя контролировать параметры системы в реальном времени из любой точки мира через доступную сеть. Разработаны электронные блоки управления, описана конструкция системы, а также предложен алгоритм ее работы. Проведенные исследования сопровождаются графическими результатами работы фотоэлектрической системы, управляемой технологией IoT. Полученные данные подтверждают стабильную и оперативную работу разработанной системы без выявленных ошибок. Предложенная система отличается простотой в реализации, что делает ее перспективной для широкого применения в сфере солнечной энергетики.

Ключевые слова: Интернет вещей (IoT), дистанционный мониторинг, алгоритм управления, программное обеспечение, солнечная панель, беспроводная связь.

Н.Б. Құттыбай¹, Ә.А. Аманжол¹, Н. Ж. Қошқарбай¹, Б.Н. Жоламанов¹, А.К. Сейтжанова¹

¹ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

ЗАТТАР ИНТЕРНЕТІ (IOT)ТЕХНОЛОГИЯСЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН КҮНДІ БАҚЫЛАУ ЖҮЙЕСІН ЖАСАУ

Аңдатпа

Электр энергиясын өндіру жүйелерін қашықтықтан бақылау және басқару жаңартылатын энергия көздері саласындағы маңызды міндет болып табылады. Қашықтықтан тиімді бақылау ақауларды тез анықтауға, диагностика жүргізуге және күрделі мәселелердің алдын алу үшін шаралар қабылдауға мүмкіндік берумен қатар, уақыт пен ресурстарды үнемдейді. Бұл жұмыста Заттар интернеті (IoT) технологиясына негізделген күн энергиясын бақылау жүйесі ұсынылған. IoT құрылғылары сенсорларға қосылған, бұл жүйенің параметрлерін әлемнің кез келген нүктесінен қол жетімді желі арқылы бақылауға мүмкіндік береді. Электрондық басқару блоктары жобаланып, жүйенің құрылымы сипатталды және оның жұмыс алгоритмі ұсынылды. Жүргізілген зерттеулер IoT технологиясымен басқарылатын фотоэлектрлік жүйенің графикалық нәтижелерімен келтірілген. Алынған мәліметтер негізінде жүйенің тұрақты және жедел жұмыс жасайтындығы анықталды. Ұсынылған жүйе іске асырудың қарапайымдылығымен ерекшеленеді, бұл оны күн энергетикасы саласында кеңінен қолдануға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: заттар интернеті (IoT), қашықтықтан бақылау, басқару алгоритмі, бағдарламалық жасақтама, күн панелі, сымсыз байланыс.

Kuttybay N.¹, Amanzhol A.¹, Koshkarbay N.¹, Zholamanov B.¹, Seitzhanova A.¹
¹al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF A SOLAR TRACKING SYSTEM BASED ON INTERNET OF THINGS (IOT) TECHNOLOGY

Abstract

Remote monitoring and control of power generation systems is an important challenge in the field of renewable energy. Effective remote monitoring allows to quickly identify faults, diagnose problems and take action to prevent serious problems, ultimately saving time and resources. This paper presents a solar energy monitoring system based on Internet of Things (IoT) technology. IoT devices are connected to sensors, allowing system parameters to be monitored in real time from anywhere in the world via an accessible network. Electronic control units have been developed, the design of the system has been described, and an algorithm for its operation has been proposed. The conducted studies are accompanied by graphical results of the operation of a photovoltaic system controlled by IoT technology. The data obtained confirm the stable and efficient operation of the developed system without identified errors. The proposed system is easy to implement, which makes it promising for wide application in the field of solar energy.

Keywords: Internet of Things (IoT), remote monitoring, control algorithm, software, solar panel, wireless communication.

Основные положения

Дистанционное наблюдение и управление фотоэлектрическими системами являются важными задачами в области возобновляемых источников энергии. Эффективное наблюдение за фотоэлектрическими установками помогает оперативно выявлять неисправности, проводить диагностику и принимать превентивные меры, что экономит время и ресурсы. Представлена система мониторинга солнечной энергии, основанная на технологии Интернета вещей (IoT), позволяющая контролировать параметры системы в реальном времени. Фотоэлектрическая система продемонстрировала стабильную работу без ошибок и устойчивость к внешним воздействиям, данные передавались без потерь. Технология IoT автоматизирует процесс сбора и передачи данных, снижая необходимость постоянного присутствия оператора, что полезно для удаленных мест. Анализ собранных данных позволяет выявить закономерности, предсказывать поведение системы и проводить профилактическое обслуживание.

Введение

Солнечные трекеры являются одним из решений для оптимизации производства солнечной энергии. Однако в большинстве случаев наблюдается недостаточное выполнение мониторинга и технического обслуживания в данных системах. Анализ системы отслеживания солнца может быть проведен на двух уровнях: уровне панели и уровне системы. Мониторинг на уровне системы предоставляет информацию о функционировании фотоэлектрической системы как интегрированного целого. С другой стороны, мониторинг на уровне панели предоставляет детальную информацию о работе каждой отдельной панели.

Анализ на уровне панели позволяет более точно выявлять потенциальные проблемы, связанные с фотоэлектрической системой. Важно отметить, что информация, полученная от фотоэлектрического контроллера заряда батареи и инвертора, недостаточна для полного понимания состояния системы. Каждый подключенный модуль оказывает влияние на общую электроэнергию, производимую фотоэлектрической системой, поскольку производство зависит от мощности каждого модуля.

Кроме того, различные факторы, такие как неисправности в проводке, аномалии на выходе фотоэлектрической панели, окружающие условия (такие как температура, солнечное излучение, влажность и др.), неисправности контроллеров заряда батареи и инверторов, а также непредвиденные повреждения и производственные дефекты, могут влиять на производство электроэнергии в системе.

Неисправность в одном модуле способна нарушить общее производство электроэнергии фотоэлектрической системы. Следовательно, акцентирование внимания на мониторинге каждого фотоэлектрического модуля представляет собой важный аспект для поддержания высокой производительности всей системы солнечной энергии [1].

Солнечные трекары, оснащенные датчиками, предназначенными для измерения угла наклона, направления солнца, температуры и прочих параметров, активно применяются в современных солнечных энергетических системах. Собранные этими датчиками данные передаются на удаленные серверы посредством как проводных, так и беспроводных сетей [2]. В отсутствие системы мониторинга единственным методом обеспечения надлежащей работы таких систем является наблюдение за данными счетчика либо отображения инвертора. Считается целесообразным и экономически эффективным внедрение системы мониторинга с возможностью получения данных в режиме реального времени, обеспечивающей доступ к ним из любого места.

В результате проведенного анализа существующих систем мониторинга можно сделать следующие заключения. Система спутникового мониторинга, хотя и требует существенных затрат, является оптимальным решением для удаленного контроля в тех регионах, где отсутствует возможность использования проводных или беспроводных сетей [3]. Созданное устройство, оснащенное интерфейсом для приложений реального времени в среде Linux, разработано с целью упростить взаимодействие с MATLAB и Simulink для более удобного и детального анализа записанных данных. Для успешной реализации этого процесса необходимо обладать обширными знаниями в области операционной системы Linux, чтобы обеспечить совместимость с программным обеспечением для анализа данных, таким как MATLAB, а также с управлением аппаратными и внешними датчиками [4]. Беспроводная передача данных, предлагаемая технологией ZigBee, сталкивается с препятствиями и ограничениями в дальности своего действия [5]. Измерительные устройства от National Instruments обеспечивают удовлетворительное качество измерений, но могут оказаться дорогостоящими для владельцев солнечных энергетических систем в частных домах [6]. Связь через линии электропередачи может быть, в определенном контексте, более экономичной, но при этом она вызывает проблемы интерференции с другими электронными устройствами [1]. Системы "модуль-модуль", системы мониторинга, основанные на ссылочных ячейках, или контроллеры периферийного интерфейса представляют собой эффективные инструменты для научных исследований, однако их внедрение и поддержание в рабочем состоянии представляют значительные трудности для владельцев домашних солнечных энергетических систем [7-9]. Применение системы, основанной на процессоре ARM Cortex-M3, рекомендуется для корпоративных структур с крупными электростанциями и фотоэлектрическими системами, интегрированными в энергосеть. Эта система способна эффективно управлять обширными объемами данных и может быть востребована для обработки информации от другого оборудования на предприятии [10]. Однако взаимодействие с подобными системами мониторинга представляет собой сложную задачу. Для успешного обслуживания таких систем требуется высокий уровень экспертизы. Учитывая, что система мониторинга фотоэлектрических установок играет ключевую роль в обеспечении их эффективности, необходимо обладать глубоким пониманием уже существующих систем и их технологий перед тем, как приступить к разработке новой системы мониторинга [11].

В рамках данного исследования была разработана фотоэлектрическая система, основанная на принципах мониторинга и управления с использованием технологии интернета вещей (IoT) [12]. В качестве беспроводного приемопередающего устройства применялся Wi-Fi модуль. Работа подробно описывает общую структуру системы, электронный блок управления, топологию связи с сервером, интерфейс для визуализации данных, а также алгоритм функционирования системы. Полученные данные подверглись анализу, на основе которого были построены графические представления.

Методология исследования

Описывая систему дистанционного мониторинга фотоэлектрической системой с использованием технологии IoT, можно выделить две основные структуры. Первая структура ответственна за управление солнечным трекером и сбор информации об электрической энергии, производимой системой.

На рисунке 1 представлена структурная схема фотоэлектрической системы, интегрированной с технологией интернета вещей (IoT). Запуск системы осуществляется с использованием управляющего контроллера Arduino. К этому контроллеру подключены различные датчики и драйверы, которые обеспечивают управление солнечным трекером.

Датчик, определяющий положение солнца, передает полученные данные на управляющий контроллер Arduino. После обработки информации контроллер выдает команды моторам постоянного тока, установленным на осях вращения по азимуту и высоте Солнца. Это позволяет установить фотоэлектрическую панель перпендикулярно солнечному излучению.

Солнечный трекер, в процессе преобразования солнечной энергии в электрическую, заряжает аккумулятор через контроллер заряда батареи. Выходные электрические характеристики фотоэлектрической панели измеряются при помощи амперметра и вольтметра. Полученные данные передаются контроллеру Arduino. Контроллер Arduino, работающий на пониженных напряжениях с использованием понижающего преобразователя постоянного тока, отображает полученные данные на дисплее. Затем Arduino передает информацию, полученную от фотоэлектрической системы, в модуль Wi-Fi и отправляет ее в систему мониторинга интернета вещей для записи, как показано на рисунке 1.

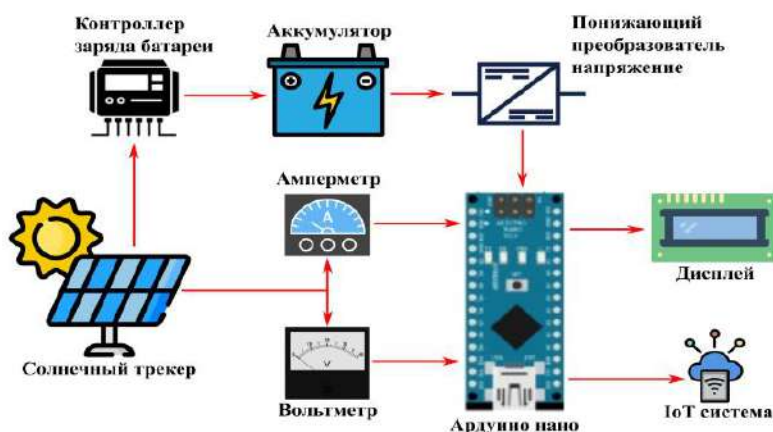


Рисунок 1. Структурная схема фотоэлектрической системы

Система мониторинга интернета вещей регулярно обновляет данные каждые 3 секунды, обеспечивая непрерывное и точное отслеживание работы фотоэлектрической системы. Второй важной компонентой структуры системы мониторинга является передача информации между центром мониторинга и исполнительной частью. На рисунке 2 представлен Wi-Fi модуль ESP8266, который получает данные от контроллера Arduino.

С использованием мобильной точки доступа, модуль отправляет информацию на сервер через интернет. Эти данные также доступны для получения через компьютер или мобильные устройства с подключением к интернету.

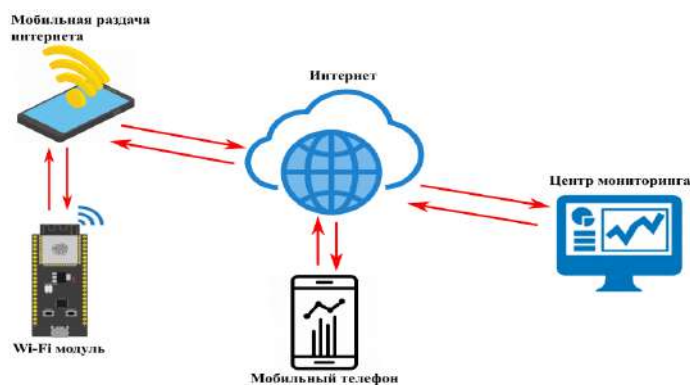


Рисунок 2. Схема работы и передачи данных через Интернет вещей

В рамках нашей исследовательской работы данные представлены в виде длинной строки в каждый момент передачи информации на сайт console.firebase.google.com (см. рисунок 3).

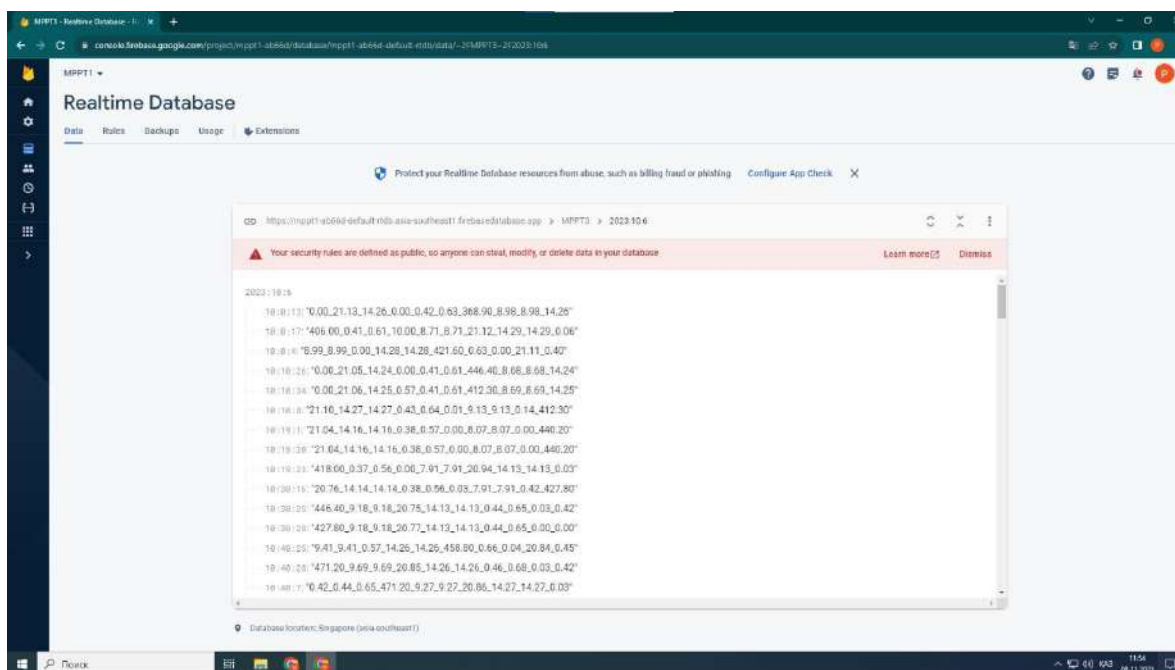


Рисунок 3. Полученные данные и интерфейс console.firebase.google.com

На рисунке 3 представлены данные, полученные с сервера. Они представлены в следующем формате: "0.00_21.13_14.26_0.00_0.42_0.63_368.90_8.98_8.98_14.26". Каждое значение в строке соответствует конкретному параметру, а порядок следования параметров определен следующим образом: $U_n = 0.00$ – напряжение нагрузки; $T = 21.13$ – температура воздуха; $U_n = 14.26$ – напряжение панели; $I_n = 0.00$ – ток нагрузки; $I_n = 0.42$ – ток панели; $I_{акб} = 0.63$ – ток аккумулятора; $G = 368.90$ – солнечная радиация; $P_n = 8.98$ – мощность панели; $P_{акб} = 8.98$ – мощность аккумулятора; $U_{акб} = 14.26$ – напряжение аккумулятора. Таким образом, каждый параметр в строке представляет собой конкретное измерение, связанное с работой системы мониторинга.

На рисунке 4 показана блок-схема алгоритма работы системы слежения за солнцем, управляемой с использованием IoT-системы. После активации система производит считывание всех необходимых переменных. В первую очередь осуществляется проверка наличия солнечного света, чтобы определить, наступил ли восход. В случае отсутствия солнечной активности система остается в начальном положении без вращения. Если наступил

восход, устанавливается беспроводное соединение между центром управления и фотоэлектрической установкой. В качестве беспроводного приемо-передающего устройства используются Wi-Fi модули. Через интернет-соединение можно удаленно получать данные.

Затем система осуществляет повороты трекера для точной ориентации к солнцу по азимуту и высоте угла координат. После установки солнечного трекера в нужную позицию измеряются значения тока и напряжения на выходе солнечной панели и нагрузки, солнечная радиация, температура воздуха, мощности солнечной панели и аккумулятора.



Рисунок 4. Алгоритм работы фотоэлектрической системы с управлением через IoT

Полученные результаты отправляются на сервер. Затем система проверяет, получены ли данные. В случае получения результатов система готовится к следующему циклу работы. В случае отсутствия результатов система возвращается к начальному состоянию, где устанавливается связь между сервером и фотоэлектрической конструкцией для повторной попытки передачи данных.

Результаты исследования

Эксперименты проводились на территории КазНУ имени аль-Фараби в городе Алматы. Экспериментальная установка показано на рисунке 5. Основной целью исследования являлось разработка системы управления и мониторинга фотоэлектрической системы, интегрированной с Интернетом вещей (IoT).



Рисунок 5. Двухосная система слежения за Солнцем на основе IoT технологии

Экспериментальная установка включает в себя модуль ESP8266 и микроконтроллер Arduino Nano (рисунок 6). Данная конфигурация разработана для проведения исследовательских работ в области сбора данных и беспроводной передачи информации. Модуль ESP8266 обеспечивает беспроводное подключение, а микроконтроллер Arduino Nano выполняет управление и обработку данных. Схема предназначена для реализации проектов, требующих сбора и передачи данных по беспроводной сети.

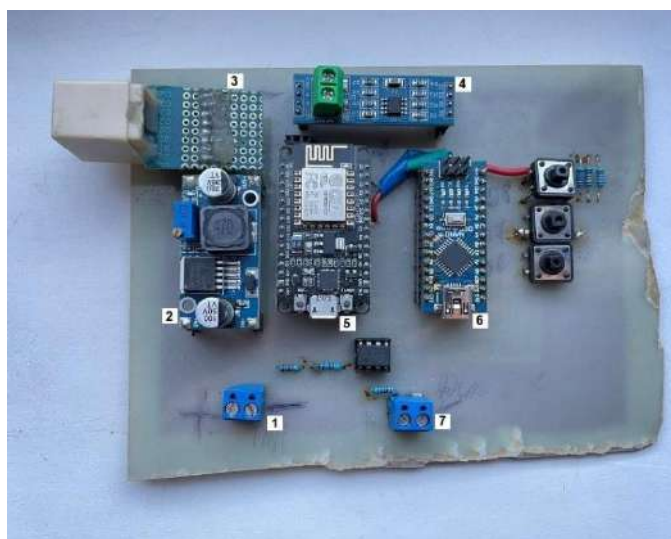


Рисунок 6. Экспериментальная схема с модулем ESP8266 и микроконтроллером Arduino nano
Обозначены следующие элементы: 1 – коннекторы для подключения аккумулятора, 2 – LM2596 преобразователь постоянного тока, 3 – коннектор RG42, 4 – модуль MAX485 (RS485 to TTL), 5 – Wi-Fi модуль ESP8266, 6 – микроконтроллер Arduino Nano, 7 – коннекторы для подключения радиационного датчика.

Аккумулятор предоставляет напряжение 12 вольт для LM2596 конвертора. Данный конвертор снижает напряжение с 12 вольт до 5 вольт для обеспечения работы микроконтроллера и модуля ESP8266. Модуль MAX485 необходим для преобразования протокола RS485 в TTL. Далее TTL программа передается в микроконтроллер Arduino Nano. Arduino запрашивает данные с датчиков, таких как напряжение, ток и радиация.

Используя Wi-Fi модуль ESP8266, были собраны данные, которые передаются на сервер для последующей обработки. На рисунке 7 представлены графики электрических характеристик солнечной панели и аккумулятора, а также мощности солнечного излучения, полученные с использованием технологии интернета вещей (IoT). Экспериментальные данные были получены в течение временного интервала с 09:00 утра до 18:00 вечера с интервалом времени 10 минут.

Разработанная система продемонстрировала стабильную работу без выявленных ошибок и проявила устойчивость к внешним воздействиям. Данные, переданные через систему интернета вещей, поступали без потерь.

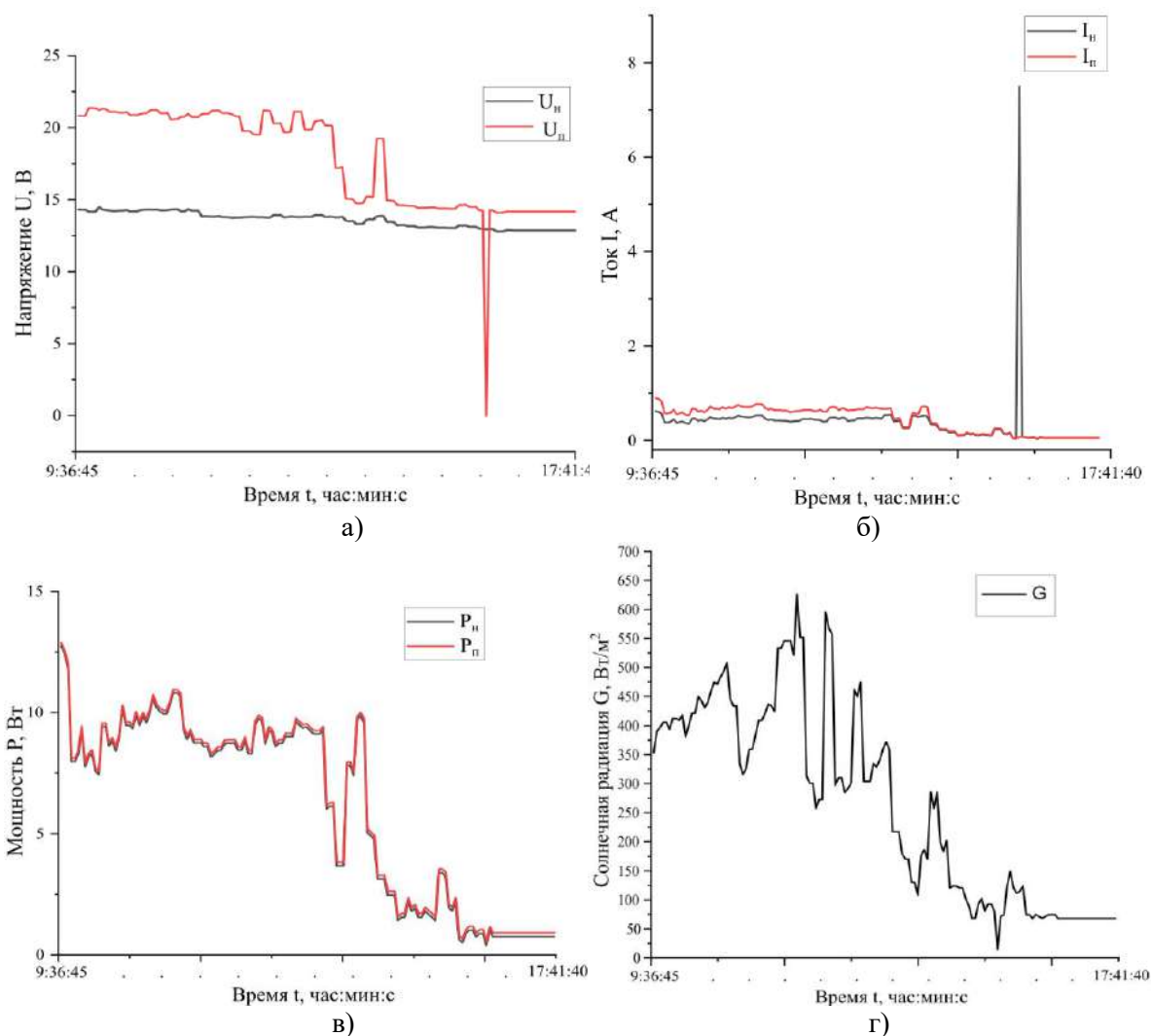


Рисунок 7. Данные исследования включают в себя следующие параметры:
 а) напряжение солнечной панели и аккумулятора; б) ток солнечной панели и аккумулятора;
 в) мощность солнечной панели и аккумулятора; г) мощность солнечного излучения по времени.

Дискуссия

Результаты нашего исследования показали, что использование технологии Интернета вещей (IoT) в фотоэлектрических системах значительно повышает эффективность и надежность управления и мониторинга. Экспериментальная установка, разработанная и протестированная на территории Казахского национального университета имени аль-Фараби, продемонстрировала стабильную работу и устойчивость к внешним воздействиям. Эти результаты подчеркивают потенциал IoT для улучшения работы фотоэлектрических систем.

Одним из ключевых достижений нашей работы является демонстрация стабильной работы системы без ошибок. Это особенно важно для реальных условий эксплуатации, где внешние факторы, такие как погодные условия и помехи, могут влиять на работу системы. Наши эксперименты показали, что разработанная система устойчива к таким воздействиям, что подтверждается непрерывной передачей данных без потерь в течение всего периода наблюдений.

Технология IoT позволяет автоматизировать процесс сбора и передачи данных, что снижает необходимость в постоянном присутствии оператора. Это особенно полезно для удаленных и труднодоступных мест, где ручной мониторинг затруднителен. В нашей системе модуль ESP8266 и микроконтроллер Arduino Nano эффективно выполняют свои функции, обеспечивая бесперебойную работу и своевременную передачу данных на сервер. Это позволяет оперативно реагировать на изменения в работе системы и принимать необходимые меры для оптимизации её работы.

Данные, собранные с использованием IoT, предоставляют ценные инсайты для анализа и оптимизации работы фотоэлектрических систем. В наших экспериментах данные о напряжении, токе, солнечной радиации и температуре собирались каждые 10 минут с 09:00 до 18:00. Эти данные помогли выявить закономерности в работе системы и определить оптимальные условия для её функционирования. Кроме того, анализ данных позволяет предсказывать поведение системы и проводить профилактическое обслуживание, что увеличивает её долговечность и эффективность.

Несмотря на достигнутые результаты, наше исследование имеет некоторые ограничения. Во-первых, эксперименты проводились в конкретных климатических условиях Алматы, и результаты могут отличаться в других регионах с различными климатическими характеристиками. Во-вторых, используемая конфигурация системы может быть улучшена за счет внедрения более современных датчиков и модулей связи.

В будущем планируется расширить исследования, включив в них различные климатические зоны и более сложные конфигурации фотоэлектрических систем. Кроме того, интеграция технологий машинного обучения и анализа больших данных может значительно улучшить точность прогнозирования и оптимизации работы системы. Это откроет новые возможности для повышения эффективности фотоэлектрических установок и их более широкого применения в энергетике.

Заключение

В заключении данной статьи отмечается, что были разработаны и сконструированы фотоэлектрические установки, оборудованные системой мониторинга и управления через Интернет вещей (IoT). В работе подробно рассмотрены общая структура системы, электронный блок управления, топология связи с сервером, интерфейс для визуализации данных и алгоритм работы системы. Полученные данные были анализированы, и на основе них были построены графики электрических характеристик и мощности солнечного излучения.

Исследование, проведенное с использованием модуля ESP8266 и микроконтроллера Arduino Nano, продемонстрировало отсутствие сбоев в управлении и мониторинге системы. В ходе экспериментов успешно измерены выходные данные фотоэлектрической установки с применением технологии IoT, и результаты представлены в виде временных графиков.

Полученные выводы подчеркивают возможности удаленного управления и мониторинга несколькими фотоэлектрическими системами при использовании IoT. Применение данной технологии в солнечной энергетике обеспечивает эффективное удаленное управление, диагностику, обнаружение неисправностей и оптимизацию работы системы, способствуя более эффективному использованию солнечной энергии.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке исследовательского проекта AP23487428 Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в Казахском национальном университете имени аль-Фараби, что с благодарностью признано авторами.

Список использованных источников

- [1] Han J., Lee I., Kim S. H. User-friendly monitoring system for residential PV system based on low-cost power line communication // *IEEE Transactions on Consumer Electronics*. – 2015. – Vol. 61. – №. 2. – P. 175-180. DOI: 10.1109/TCE.2015.7150571
- [2] Rouibah N. et al. A low-cost monitoring system for maximum power point of a photovoltaic system using IoT technique // *2019 International conference on wireless technologies, embedded and intelligent systems (WITS)*. – IEEE, 2019. – P. 1-5. DOI: 10.1109/WITS.2019.8723724
- [3] Wu C. H., Wang H. C., Chang H. Y. Dual-axis solar tracker with satellite compass and inclinometer for automatic positioning and tracking // *Energy for Sustainable Development*. – 2022. – Vol. 66. – P. 308-318. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.12.013>
- [4] Zhang G., Chen L., Yao A. Study and Comparison of the RTHAL-based and ADEOS-based RTAI Real-time Solutions for Linux // *First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences (IMSCCS'06)*. – IEEE, 2006. – Vol. 2. – P. 771-775. DOI: 10.1109/IMSCCS.2006.272
- [5] Достиярова А. М. Анализ совместимости архитектуры стека ZIGBEE с протоколами TCP/IP // *Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева*. – 2016. - №. 4(99). С. 132-137. [https://alt.edu.kz/wp-content/assets/docs/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA/2016/2016%20-%204\(99\).pdf#page=13](https://alt.edu.kz/wp-content/assets/docs/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA/2016/2016%20-%204(99).pdf#page=13)
- [6] Boubakr G. et al. Enhancing virtual real-time monitoring of photovoltaic power systems based on the internet of things // *Electronics*. – 2022. – Vol. 11. – №. 15. – P. 2469. <https://doi.org/10.3390/electronics11152469>
- [7] Naeem M. et al. Remote condition monitoring of a PV system using an embedded web server // *2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies*. – IEEE, 2011. – P. 1-4. DOI: 10.1109/ISGTEurope.2011.6162761
- [8] Lazzaretti A. E. et al. A monitoring system for online fault detection and classification in photovoltaic plants // *Sensors*. – 2020. – Т. 20. – №. 17. – С. 4688. <https://doi.org/10.3390/s20174688>
- [9] Ulasenka A. et al. Module to module monitoring system, M3S, a new strategy for PV-system monitoring // *2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*. – IEEE, 2015. – P. 1-4. DOI: 10.1109/PVSC.2015.7355818
- [10] Xuwei R. *The Design of a Monitoring and Controlling System for a Hot-blast Stove System Based on IPC* // Baoding, China: Norton China Electric Power University. – 2008.
- [11] Туржанова К. М., Коньшин С. В., Солощенко А. В. Анализ сценариев развертывания технологии nb-iot в сетях 4g с применением результатов моделирования // *Вестник Алматинского университета энергетики и связи*, 2020. – №. 4 (51). С. 51-59. https://doi.org/10.51775/1999-9801_2020_51_4_51
- [12] Саргужиева Б. А. Экономический эффект от внедрения технологий интернета вещей (IOT) // *Вестник западно-казахстанского инновационно технологического университета*. – 2021. -№. 4. – С. 73-76. https://wkitu.kz/wp-content/uploads/2024/01/sbornik-vestnik-2023-4-novyj-1_compressed.pdf#page=74

References

- [1] Han J., Lee I., Kim S. H. User-friendly monitoring system for residential PV system based on low-cost power line communication //IEEE Transactions on Consumer Electronics. – 2015. – Vol. 61. – №. 2. – P. 175-180. DOI: 10.1109/TCE.2015.7150571
- [2] Rouibah N. et al. A low-cost monitoring system for maximum power point of a photovoltaic system using IoT technique //2019 International conference on wireless technologies, embedded and intelligent systems (WITS). – IEEE, 2019. – P. 1-5. DOI: 10.1109/WITS.2019.8723724
- [3] Krauter S., Depping T. Monitoring of remote PV-systems via satellite //3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 2003. Proceedings of. – IEEE, 2003. – Vol. 3. – P. 2202-2205. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.12.013>
- [4] Zhang G., Chen L., Yao A. Study and Comparison of the RTHAL-based and ADEOS-based RTAI Real-time Solutions for Linux //First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences (IMSCCS'06). – IEEE, 2006. – Vol. 2. – P. 771-775. DOI: 10.1109/IMSCCS.2006.272
- [5] Dostiyyarova A. M. (2016) Analiz sovmestimosti arhitektury steka ZIGBEE s protokolami TCP/IP [Analysis of ZIGBEE stack architecture compatibility with TCP/IP protocols]. Vestnik Kazahskoj akademii transporta i kommunikacij im. M. Tynyshpaeva. №. 4(99). 132-137. [https://alt.edu.kz/wp-content/assets/docs/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA/2016/2016%20-%204\(99\).pdf#page=13](https://alt.edu.kz/wp-content/assets/docs/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA/2016/2016%20-%204(99).pdf#page=13)
- [6] Boubakr G. et al. Enhancing virtual real-time monitoring of photovoltaic power systems based on the internet of things //Electronics. 2022. Vol. 11. №. 15. P. 2469. <https://doi.org/10.3390/electronics11152469>
- [7] Naeem M. et al. Remote condition monitoring of a PV system using an embedded web server //2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies. – IEEE, 2011. – P. 1-4. DOI: 10.1109/ISGTEurope.2011.6162761
- [8] Lazzaretti A. E. et al. A monitoring system for online fault detection and classification in photovoltaic plants //Sensors. – 2020. – T. 20. – №. 17. – C. 4688. <https://doi.org/10.3390/s20174688>
- [9] Ulasenka A. et al. Module to module monitoring system, M3S, a new strategy for PV-system monitoring //2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC). – IEEE, 2015. – P. 1-4. DOI: 10.1109/PVSC.2015.7355818
- [10] Xuwei R. The Design of a Monitoring and Controlling System for a Hot-blast Stove System Based on IPC //Baoding, China: Norton China Electric Power University. – 2008.
- [11] Turzhanova K. M., Kon'shin S. V., Soloshchenko A. V. (2010) Analiz scenarijev razvertyvaniya tekhnologii nb-iot v setyah 4g s primeneniem rezul'tatov modelirovaniya [Analysis of nb-iot technology deployment scenarios in 4g networks using simulation results]. Vestnik Almatinskogo universiteta jenergetiki i svjazi. №. 4 (51). 51-59. https://doi.org/10.51775/1999-9801_2020_51_4_51
- [12] Sarguzhieva B. A. (2021) Ekonomicheskij effekt ot vnedreniya tekhnologij interneta veshchej (IOT) [Economic impact of the implementation of Internet of Things (IOT) technologies]. Vestnik zapadno-kazahstanskogo innovacionno tekhnologicheskogo universiteta. №. 4. 73-76. https://wkitu.kz/wp-content/uploads/2024/01/sbornik-vestnik-2023-4-novyj-1_compressed.pdf#page=74

Н.О. Мекебаев^{1*}, Д.К. Даркенбаев², А. Алтыбай²

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

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

*e-mail: nurbapa@gmail.com

НЕЙРОННЫЕ АРХИТЕКТУРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛА И ИДЕНТИФИКАЦИИ ГОВОРЯЩЕГО

Аннотация

В этой статье мы исследуем две нейронные архитектуры для задач определения пола и идентификации говорящего, используя функции мелкочастотных кепстральных коэффициентов (MFCC), которые не охватывают характеристики, связанные с голосом. Одна из наших целей – сравнить различные нейронные архитектуры, многослойный перцептрон (MLP) и сверточные нейронные сети (CNN) для обеих задач с различными настройками и автоматически изучить особенности, характерные для пола/ говорящего. Экспериментальные результаты показывают, что модели, использующие z-оценку и преобразование матрицы Грамиана, дают лучшие результаты, чем модели, использующие только максимальную-минимальную нормализацию MFCC. С точки зрения времени обучения, MLP требует больших периодов обучения для сходимости, чем CNN. Другие экспериментальные результаты показывают, что MLP превосходят CNN в решении обеих задач с точки зрения ошибок обобщения.

Ключевые слова: MLP, CNN, ASR; NN, определение пола; идентификация говорящего.

Н.О. Мекебаев¹, Д.К. Даркенбаев², А. Алтыбай²

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

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

СӨЙЛЕУШІНІ ЖӘНЕ ГЕНДЕРЛІК АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН НЕЙРОНДЫҚ АРХИТЕКТУРА

Аңдатпа

Бұл мақалада біз дауыспен байланысты сипаттамаларды қамтымайтын кіші жиілікті кепстральды коэффициенттердің (MFCC) функцияларын қолдана отырып, сөйлеушінің жынысын анықтау және анықтау тапсырмаларына арналған екі нейрондық архитектураны қарастырамыз. Біздің мақсаттарымыздың бірі-әртүрлі нейрондық архитектураларды, көп қабатты перцептронды (MLP) және конволюциялық нейрондық желілерді (CNN) екі тапсырма үшін де әртүрлі параметрлермен салыстыру және жынысқа/ сөйлеушіге тән ерекшеліктерді автоматты түрде зерттеу. Эксперименттік нәтижелер Z-баллды және Грамиан матрицасын түрлендіруді қолданатын модельдер тек mfcc максималды-минималды қалыпқа келтіруді қолданатын модельдерге қарағанда жақсы нәтиже беретіндігін көрсетеді. Оқу уақыты тұрғысынан MLP CNN-ге қарағанда конвергенция үшін үлкен оқу кезеңдерін қажет етеді. Басқа эксперименттік нәтижелер MLP жалпылау қателері тұрғысынан екі мәселені шешуде CNN-ден жоғары екенін көрсетеді.

Түйін сөздер: MLP, CNN, AS; NN, гендерлік анықтау; сөйлеушіні анықтау.

N. Mekebayev¹, D. Darkenbayev², A. Altybay²

¹Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan

²al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

NEURAL ARCHITECTURES FOR GENDER DETERMINATION AND SPEAKER IDENTIFICATION

Abstract

In this article, we explore two neural architectures for gender determination and speaker identification tasks using functions of small-frequency cepstral coefficients (MFCC), which do not cover voice-related

characteristics. One of our goals is to compare different neural architectures, multilayer perceptron (MLP) and convolutional neural networks (CNNs) for both tasks with different settings and automatically study gender/speaker-specific features. Experimental results show that models using z-score and Gramian matrix transformation give better results than models using only maximum-minimum MFCC normalization. In terms of training time, MLP requires longer training periods for convergence than CNN. Other experimental results show that MLPs are superior to CNNs in solving both problems in terms of generalization errors.

Keywords: MLP, CNN, ASR; NN, gender determination; speaker identification.

Основные положения

Основная идея исследования заключается в создании модели и алгоритма определения гендерной идентичности и говорящего на основе нейронных сетей. В статье построены алгоритмы и модель определения мужского, женского голоса и говорящего с использованием нейронной сети. были созданы алгоритмы и модели обнаружения и обработки сигналов с использованием машинного обучения в задачах распознавания речи. В предварительной обработке речевого сигнала с использованием MFCC MFCC определена гендерная специфика. Был проведен сравнительный анализ архитектур нейронных сетей MLP и CNN для распознавания гендерной идентичности и звуковых характеристик говорящего, и было обнаружено, что CNN показал хорошие результаты.

Введение

Автоматическое определение пола и идентификация говорящих по голосу является важной задачей в области обработки аудиосигнала. Определение пола связано с определением того, принадлежит ли речь мужчине или женщине. Эта задача очень важна для автоматического распознавания речи в зависимости от пола (ASR), которое позволяет системе ASR быть более точной, чем системы, не зависящие от пола. Распознавание говорящего-это процесс автоматического распознавания говорящих на основе индивидуальной информации, содержащейся в речевой волне, которую можно разделить на идентификацию говорящего и верификацию говорящего. Верификация говорящего-это процесс принятия или отклонения заявления об идентификации говорящего. Идентификация говорящего, с другой стороны, это процесс определения того, какие зарегистрированные говорящие передают вводимую речь.

В целом, определение пола и идентификация говорящего могут рассматриваться как задачи классификации, в которых первая классифицирует входящий звук на две категории, а вторая классифицирует входной звук по количеству зарегистрированных говорящих. Для гендерной классификации было предложено множество подходов, наиболее часто используемыми методами являются дерево решений [1], машина опорных векторов (SVM) [2], байесовская сеть, K-ближайший сосед и случайный лес [3-5]. Как известно, для обработки аудиосигнала может быть использовано множество функций, а именно MFCC, промежуточные векторы (i-векторы) [6], энергетическая энтропия, кратковременная энергия и спектральный центроид и т.д. Модели гауссовой смеси (GMMS) с MFCC [7] - традиционный способ решения задачи идентификации говорящего. Эта структура была расширена для использования i-vector и совместного факторного анализа [8] для формирования компактного представления высказывания, имеющего специфические характеристики, связанные с голосом. В последнее десятилетие глубокое обучение начинает доминировать в различных областях искусственного интеллекта, таких как машинное обучение, обработка естественного языка [9], компьютерное зрение и обработка аудиосигнала и т.д.

В этой статье мы используем различные нейронные архитектуры как для определения пола, так и для идентификации говорящего. Мы применяем многослойный перцептрон (MLP) [9] и сверточные нейронные сети (CNN), чтобы иметь возможность изучать гендерные особенности / особенности говорящего по оригинальным векторам MFCC, которые не охватывают специфические характеристики речевого сигнала, связанные с голосом. Другой целью этой работы является сравнение производительности двух нейронных архитектур для обеих задач

с различными настройками / способами: 1) различное преобразование признаков, 2) разный размер модели, 3) добавление шумового сигнала к тестовому набору для измерения ошибки обобщения модели. Мы оцениваем наши методы на корпусе казахской [10]. Результаты эксперимента показывают, что MLP превосходит CNN с точки зрения ошибки обобщения, и для сходимости MLP требуется больше периодов обучения, чем CNN для обеих задач.

Методология исследования

Определение пола по голосу направлено на автоматическое определение пола автора по звуковым сигналам. Аналогично, идентификация говорящего заключается в установлении личности автора (имени или ID) путем анализа его / ее аудиозаписей.

Пусть $X = x_1, x_2, \dots, x_n$ обозначает серию аудиосигналов в качестве входных данных. $G = g_1, g_2, \dots, g_n$ - это двоичный вектор, равный 0/1 для гендерных категорий, соответствующих аудиосигналам X . Здесь мы используем 1 для обозначения женщины и 0 для мужчины. $S = s_1, s_2, \dots, s_n$ обозначает идентификатор говорящего, мы используем уникальный номер для различения говорящих. Пары обучающих элементов для двух задач могут быть определены следующим образом:

- 1) $(X, G) = (x_1, g_1), \dots, (x_n, g_n)$ - для определения пола;
- 2) $(X, S) = (x_1, s_1), \dots, (x_n, s_n)$ для идентификации говорящего.

Для этих двух задач мы используем X в качестве входных данных и извлекаем соответствующие признаки сигнала, затем используем различные нейронные сети для обучения моделей для определения пола и идентификации говорящего.

Извлечение признаков сигнала

Как и во многих задачах обработки речи (распознавание речи и т.д.), первым шагом является извлечение функций, которые могут быть использованы для идентификации лингвистического контента, содержащегося в аудиосигналах, и для отбрасывания информации о фоновом шуме. Частотные кепстральные коэффициенты Mel (MFCC) - это самые современные функции, широко используемые во многих приложениях для обработки речи. Прежде чем описывать MFCC, давайте покажем оригинальный аудиосигнал, показанный на рисунке 1. Исходный сигнал состоит из тысяч или миллионов чисел, его можно рассматривать как очень длинный вектор, который содержит лингвистический контент и шум. Оригинальный аудиосигнал, показанный на рисунке 1.

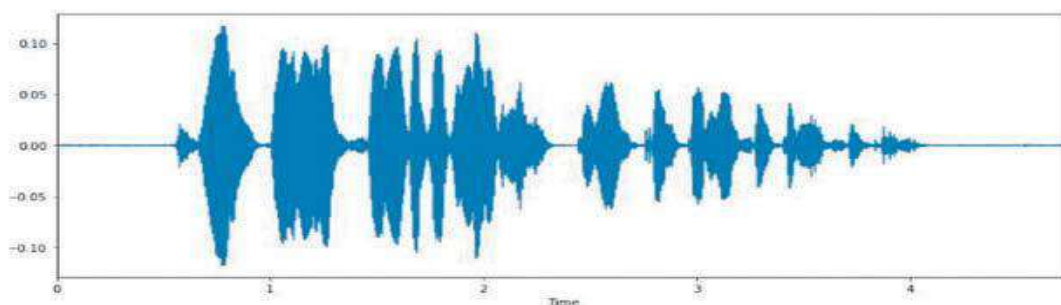


Рисунок 1. Оригинальный аудиосигнал

В этой работе мы используем MFCC для определения пола/говорящего, и способ извлечения функции MFCC не является предметом данной статьи. На практике мы применяем LibROSA, пакет python для анализа аудиосигнала. Его функция librosa.feature.mfcc была использована для извлечения MFCC. Извлеченные объекты показаны на рисунке 2.

На практике мы устанавливаем количество функций MFCC равным 40, тогда размерность MFCC для аудио равна $M \in R^{40 \times n}$ максимальная-минимальная нормализация вычисляется для каждой функции MFCC, и в дальнейшем она относится к оригиналу MFCC.

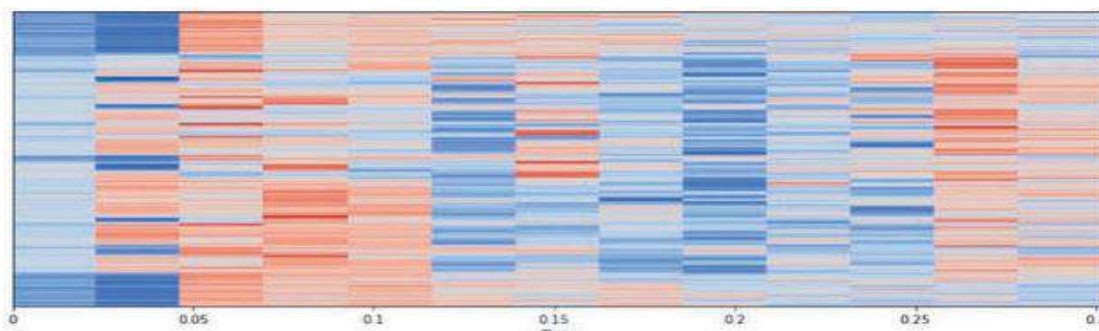


Рисунок 2. Функция MFCC аудиосигнала

Мы попробовали альтернативную нормализацию, z-баллы, для функций MFCC с помощью следующего расчета:

$$M^z = \frac{M - \mu}{std(M)} \quad (1)$$

где μ - среднее значение, а $std(M)$ - стандартное отклонение.

Один из стандартных способов обработки переменной длины входных данных - найти максимальную длину аудиосигнала и заполнить его функции MFCC нулевым значением, если длина меньше максимальной длины. Один из эффективных способов решить проблему переменной длины путем следующего преобразования:

$$M^g = M^z \times M^{zT} \quad (2)$$

Где $M^g \in R^{40 \times 40}$, 40 - количество функций MFCC. Тогда мы могли бы применить операцию *atten* к M^g или использовать ее двумерную форму (2-D).

Модели

Нейронные сети (NN) можно рассматривать как функцию-классификатор с параметрами, а нейронную сеть с несколькими слоями можно рассматривать как композицию функций, определенных следующим образом:

$$f_{\theta}(\cdot) = f_{\theta}^l(f_{\theta}^{(l-1)}(\dots f_{\theta}^1))$$

где θ обозначает параметры NN, а l - количество слоев. Далее мы опишем две архитектуры наших нейронных сетей для задач определения пола и говорящего: 1) прямой NN, это многослойный перцептрон и относится к MLP; 2) сверточная NN, он относится к CNN;

Нейронные сети с прямой связью

Чтобы лучше описать модель, давайте начнем с простой нейронной сети. Как известно, однослойный перцептрон [10] представляет собой NN без скрытых блоков, который содержит только входной слой и выходной слой. Нелинейного выделения признаков нет, что означает, что выходные данные вычисляются непосредственно из суммы произведения весов, соответствующих входным данным. Мы используем MLP, и это NNS, состоящая из множества восприятий, и MLP может изучать или извлекать нелинейные признаки. Вообще говоря, MLP состоит из входного слоя, некоторого количества скрытых слоев и выходного слоя.

Сверточные нейронные сети

Сверточные нейронные сети (CNN) представляют собой специализированный вид нейронной сети для обработки данных с 2-мерной сеточной топологией. CNN добилась огромного успеха в практических приложениях. В отличие от MLP, который использует

полностью подключенные слои для извлечения объектов, CNN использует две важные идеи, которые могут помочь улучшить модель: разреженные взаимодействия и совместное использование параметров. Первый представляет собой процесс извлечения объектов с ядром меньшего размера, чем входные данные. Например, при обработке аудио входные сигналы могут содержать тысячи или миллионы чисел, вместо того, чтобы передавать такой длинный вектор в NN, CNN может обнаруживать небольшие и значимые объекты, собирая локальную информацию. Совместное использование параметров относится к использованию одного и того же параметра для меньшего ядра, перемещающегося по двумерному входу. Типичный CNN состоит из трех этапов: - используйте слои свертки для выполнения набора линейных активаций; - каждая линейная активация выполняется с помощью функции нелинейной активации; - используйте функцию объединения для дальнейшего изменения выходных данных слоя.

Эксперименты

Мы провели серию экспериментов для оценки моделей MLP и CNN для задач определения пола и говорящего:

- первый эксперимент предназначен для анализа эффективности извлеченных функций из MFCC, которые тестируются для обеих моделей. Как описано в разделе 3, мы используем два типа объектов и сравниваем их: i) нормализованный-сглаженный исходный MFCC в виде длинного вектора признаков и ii) используя z-оценку для MFCC, затем преобразуем ее в матрицу Грама (уравнение 2).

- чтобы эффективно сравнить две модели, мы тестируем обученные модели двух типов 500 раз, добавляя различный шум (нормальное распределение с нулевым средним значением и одной дисперсией) к тестовому набору.

- визуализация аудиозаписей после обучения модели для обеих задач.

Для оценки модели мы сообщаем о результатах точности, отзыва, оценки F1 при различных настройках модели.

Наборы данных

Мы используем набор данных из исследования [9]. В таблицах 1 и 2 представлена статистика наборов данных по признаку пола и говорящего. Можно видеть, что в обучающем и тестовом наборах всего 855 и 570 аудиозаписей для задачи определения пола. Количество аудиозаписей для мужчин и женщин в обучающем наборе равно 448 и 407. Остальные 570 аудиозаписей для мужчин и женщин в качестве тестового набора.

Таблица 1. Наборы данных для определения пола

Наборы данных	Мужчина	Женщина	Всего
Обучение (training)	488	407	855
Тестирование (testing)	308	268	570

В таблице 2 показаны обучающие и тестовые наборы для идентификации говорящих. Видно, что всего имеется 19 динамиков, и у каждого из них есть около 60 аудиозаписей для обучения. Это довольно маленький обучающий набор, и он не способен хорошо обучать какие-либо модели глубокого обучения, требующие больших данных. Но в этой работе, для идентификации говорящего, мы используем этот набор данных для обучения моделей MLP и CNN и проведения оценок.

Архитектуры малых и больших моделей обобщены в таблицах 3 и 4. Основным гиперпараметром является количество скрытых блоков, которое мы устанавливаем равным 128, 64, 32 и 512, 256, 128 для малых и больших моделей соответственно. Мы используем Relu в качестве функции активации для всех слоев, а значение отсева установлено равным 0.15.

Таблица 2. Наборы данных для идентификации говорящего. Ниже указаны номера аудиозаписей каждого говорящего, соответствующие каждому идентификатору говорящего

Наборы данных	Идентификатор говорящего																			Всего
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Обучение (training)	63	63	56	57	58	60	63	66	59	59	63	61	65	61	60	57	54	59	56	1140
Тестирование (testing)	12	12	19	18	17	15	12	9	16	16	12	14	10	14	18	21	16	19	285	

Таблица 3. Гиперпараметры MLP, используемые для обеих задач

MLP	Small			Large		
	Layer-1	Layer-2	Layer-3	Layer-1	Layer-2	Layer-3
Hidden units	128	64	32	512	256	128
Dropout	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Activation function	Relu	Relu	Relu	Relu	Relu	Relu

Таблица 4. Гиперпараметры CNN, используемые для обеих задач

CNN	Small			Large		
	Conv. maxP	Conv. maxP	Dense	Conv. maxP	Conv. maxP	Dense
Hidden units	128	64	32	512	256	128
Dropout	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Activation function	Relu	Relu	Relu	Relu	Relu	Relu

Настройка модели

В экспериментах тестируются нейронные архитектуры MLP и CNN с малыми и большими моделями. Мы обучаем две версии наших моделей, чтобы оценить компромисс между производительностью и размером.

Результаты исследования

На рисунке 3 показано распределение аудиосигналов с функциями MFCC и функциями после нормализации z-балла и преобразования матрицы Грамиана. На рисунке 3 (a, d, c и e) показано распределение аудио с исходным MFCC, после нормализации z-балла и преобразования матрицы Грамиана для набора данных гендера соответственно. Аналогично, на рисунке 3 (b, d и e, f) показано распределение звука для набора данных динамика. Можно видеть, что распределение оригинальных MFCC по полу и аудиозаписям диктора не разделено по полу или динамикам, или мы можем сказать, что они смешаны вместе и трудно различить пол или аудиозаписи диктора / После преобразования z-score распределение аудиозаписей становится более плотным, чем исходные. Что еще более неожиданно, аудиозаписи после преобразований z-score и матрицы Грамиана, распределение аудиозаписей по полу и говорящим, изменяются. Из рисунка 3 (e, f) мы можем наблюдать, что аудиосигнал для обозначения пола и говорящего более различим, а несколько аудиозаписей смешаны. Оказывается, что если мы обучим/протестируем модели на этом наборе данных с таким распределением, то легко достигнем 100% точности. На рисунке 3 показано распределение аудио по полу и говорящим.

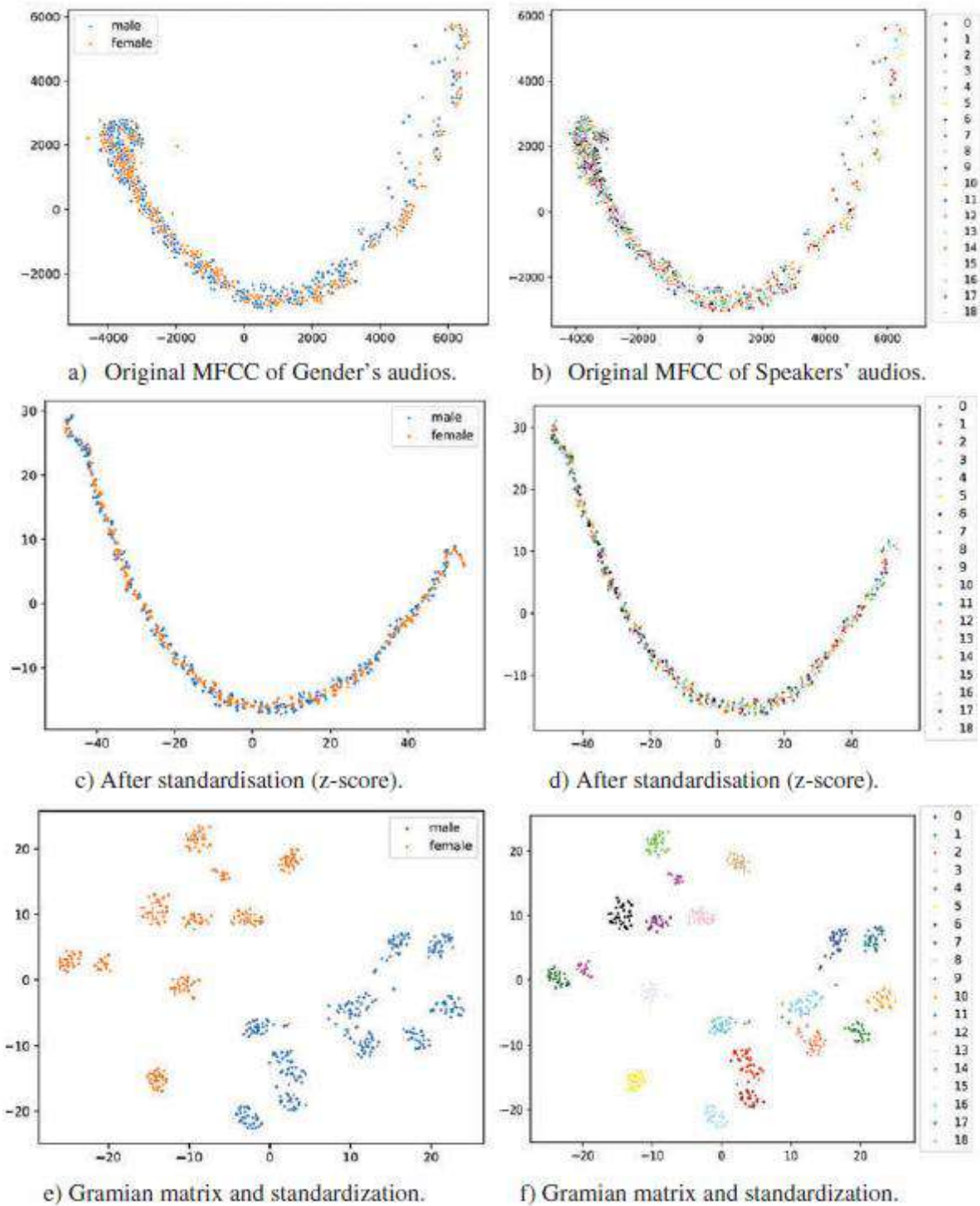


Рисунок 3. Распределение аудио по полу и говорящим

В таблице 5 приведены результаты распознавания пола и говорящего с различными функциями (L и G) и настройками модели (маленькая и большая). Можно заметить, что модель, обученная/протестированная после преобразования Грамиана (обозначенная в таблице как G), дала 100% оценку F1, что подтверждает результаты, упомянутые выше. Сравнивая результаты моделей, использующих длинный сглаженный вектор MFCC с нормализацией max-min (обозначенный как L в таблице 5), мы можем видеть, что полностью подключенный MLP превосходит CNN по определению пола.

Таблица 5. Результаты распознавания пола с различными признаками: L обозначает использование нормализованного откормленного длинного вектора *tfcc*; G обозначает использование z-оценки и преобразования матрицы Gramian. P - точность, R - отзыв, а F1 – оценка

Models		Male			Female			Macro, avg		
		P	R	F1	P	R	F1	P	R	F1
L	MLP-small	79.56	85.09	82.24	81.78	75.37	78.44	80.67	80.23	80.34
	MLP-large	77.22	92.05	83.98	88.57	69.40	77.82	82.89	80.72	80.90
G	MLP-small	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	MLP-large	100	100	100	100	100	100	100	100	100
L	CNN-small	79.68	83.11	81.36	80	76.11	78.01	80.55	79.07	79.21
	CNN-large	76.57	88.74	82.20	84.54	69.40	76.22	79.84	79.61	79.68
G	CNN-small	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	CNN-large	100	100	100	100	100	100	100	100	100

На рисунке 4 показана кривая обучения этих моделей для определения пола, и можно видеть, что MLP, как правило, требуется больше периодов обучения для сходимости, чем CNN (рис. 4 (а, б)). Здесь мы показываем только модели малого размера, и ситуация для большой аналогична. Из рисунка видно, что MLP и CNN с матрицей Грамиана (G) занимают относительно меньше времени обучения, чем L. На рисунок 4 показано кривая обучения MLP и CNN для определения пола.

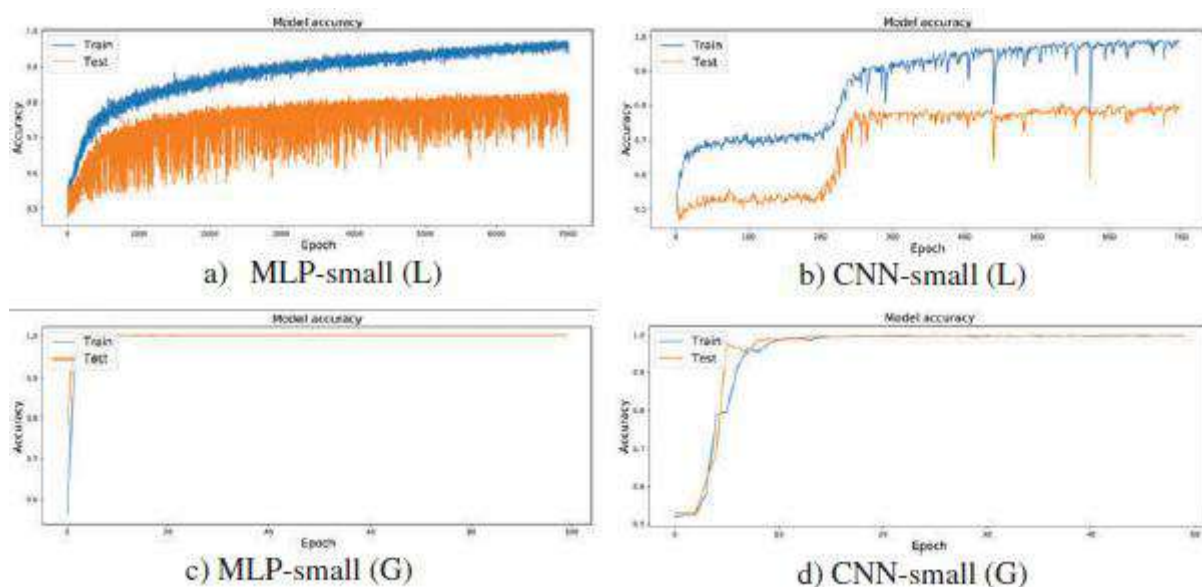


Рисунок 4. Кривая обучения MLP и CNN для определения пола

Давайте перейдем к результатам идентификации динамиков, в которых мы также использовали различные настройки функций и размер модели. В таблице 6 приведены результаты, и мы видим, что модель, использующая функцию L, получила относительно худшие результаты, независимо от того, какие модели мы используем. F-оценка моделей, использующих L, в диапазоне от 19% до 36%. Преобразование матрицы Грамиана, по-видимому, заметно повысило производительность модели. F-оценка обеих моделей почти достигает 99%, что выше, чем у модели, обученной с помощью L.

Как мы можем видеть, для сходимости модели с L требуются большие периоды обучения; напротив, модель с G требует меньше шагов обучения.

Таблица 6. Результаты идентификации говорящего

Models		Macro, avg.		
		P	R	F1
L	MLP-small	20.76	20.36	19.94
	MLP-large	21.76	21.92	21.50
G	MLP-small	98.66	98.57	98.58
	MLP-large	99.36	99.28	99.30
L	CNN-small	36.78	35.68	35.25
	CNN-large	36.77	36.51	36.16
G	CNN-small	99.17	99.09	99.12
	CNN-large	99.17	99.47	99.47

Другая проблема, которую можно обнаружить на этих рисунках а, б, заключается в том, что точность обучения модели с L постепенно достигает 99%, результаты проверки остаются на уровне 20%. На рисунке 5 показана кривая обучения идентификации говорящего.

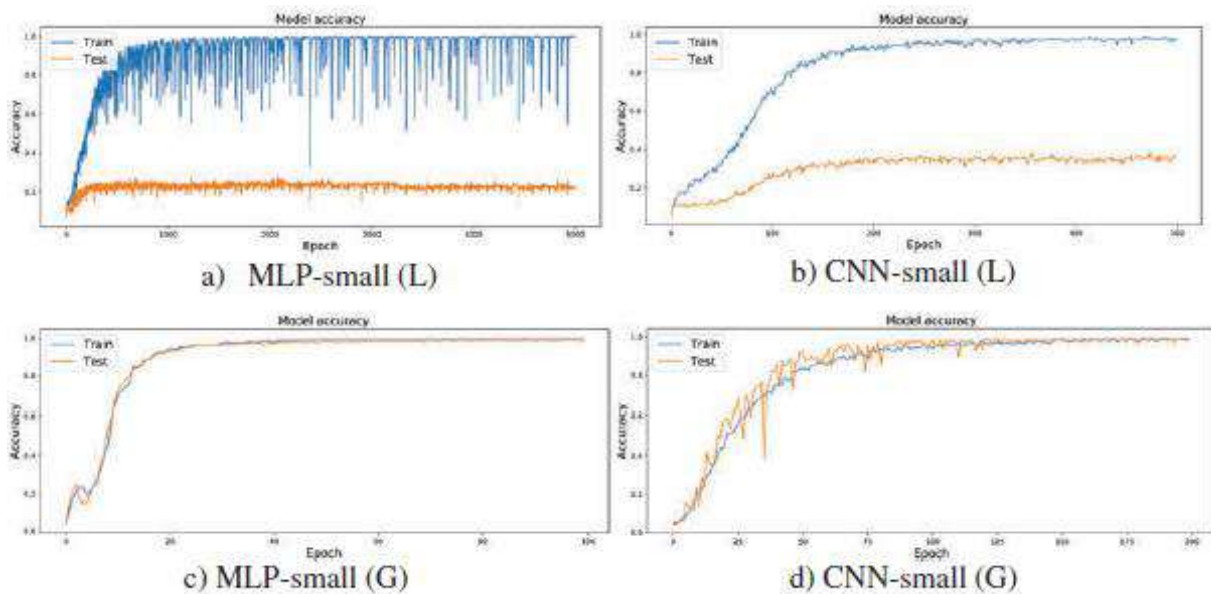


Рисунок 5. Кривая обучения MLP и CNN для идентификации говорящего

Способность к обобщению

Чтобы сравнить ошибку обобщения моделей, мы провели еще один эксперимент: добавили шумовой сигнал к тестовому набору, каждый из них был нормально распределен с нулевым средним значением и одной дисперсией, а уже обученные модели с G были протестированы 500 раз. На рисунках 6 и 7 показано, как распределяются F-баллы режимов.

Видно, что для распознавания пола и говорящего CNN не могут превзойти MLP при добавлении к тестовому набору различных нормально распределенных шумовых сигналов. Одна из возможных причин того, что каждый уровень MLP полностью подключен, и входные данные взаимодействуют друг с другом в большем количестве измерений.

В отличие от этого, CNN имеют слой свертки, который обычно рассматривается как средство извлечения объектов региона, которое использует слайдовое двумерное окно с заданным шагом и общим весом на входе для извлечения объектов региона, и входные данные взаимодействуют только в регионах.

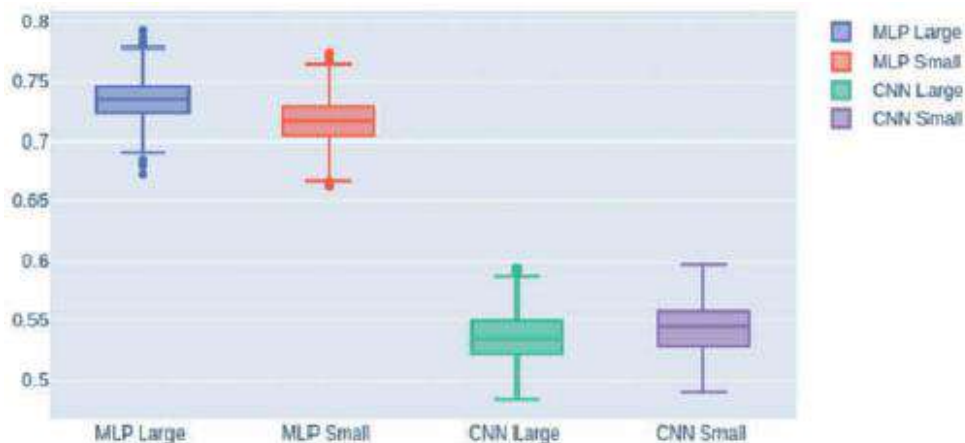


Рисунок 6. Результаты определения пола после добавления шумового сигнала к тестовому набору

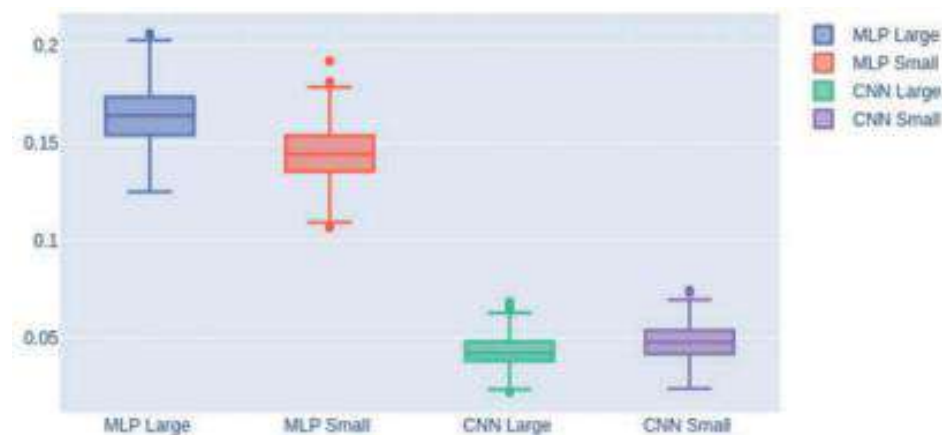


Рисунок 7. Результаты идентификации динамика после добавления шумового сигнала к тестовому набору

Интеграция между одной входной областью и другой не фиксируется, за исключением случаев, когда мы выбираем достаточно маленький размер шага. Другая возможная причина заключается в том, что MLP имеют больше обучаемых параметров, чем CNN, поскольку MLP имеют полностью связанные слои, а CNN имеют общие веса для слоев свертки. В результате можно видеть, что CNN дает большую ошибку обобщения, чем MLP, для идентификации пола и говорящего.

Визуализация

На рисунке 8 показана визуализация тестового набора после обучения модели для идентификации пола и говорящего обеих моделей с различными формами признаков (L и G). Мы используем обученные модели в тестовом наборе и получаем выходные данные промежуточного слоя в качестве представления аудио, затем используйте для визуализации. На рис. 8 (a - c) и d показаны результаты визуализации для определения пола, видно, что MLP, по-видимому, лучше классифицирует аудиозаписи на два класса: мужские и женские. На рисунке 8 показана визуализация тестового набора после обучения модели для идентификации пола и говорящего.

Одним из критериев оценки кластеризованных результатов является отображение двух расстояний: внутриклассового и межклассового. Первое заключается в измерении расстояния между элементами в классе, и меньшее расстояние указывает на лучшие результаты. Последнее предназначено для измерения расстояния между разными классами, и большее расстояние указывает на лучшие результаты.

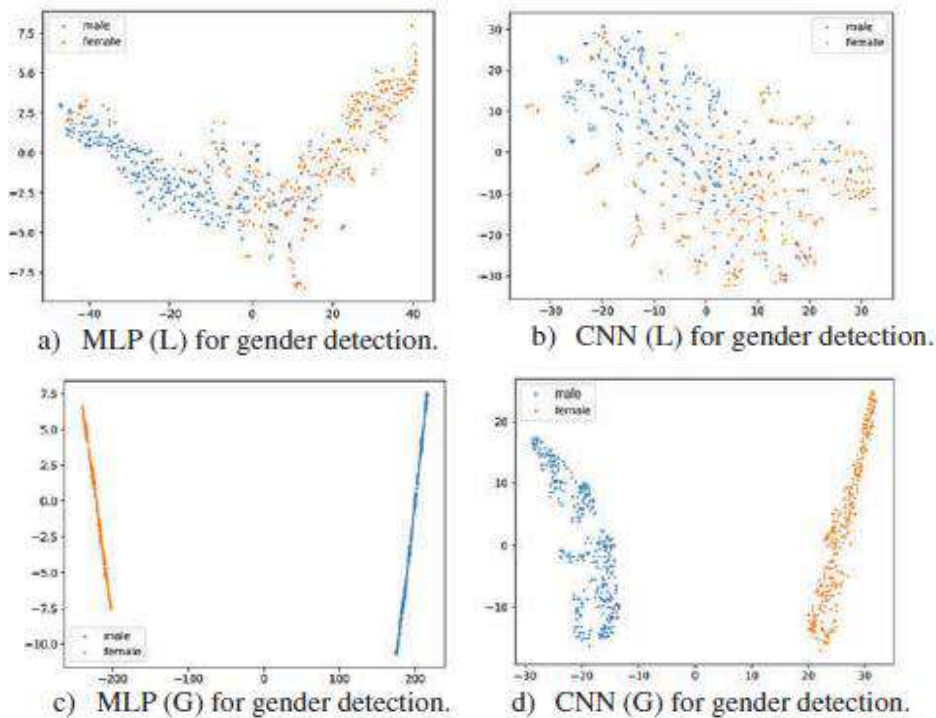


Рисунок 8 (a - c) и d результаты визуализации для определения пола

Сравнение рисунков 8(c, d) показывает, что MLP может классифицировать аудио в более плотный класс, чем CNN, видно, что расстояние внутри класса меньше, чем у CNN. На рисунках 8(e - g) и h показаны результаты визуализации для идентификации говорящего. На рисунке 8 (g, h) показаны результаты для модели с G, и, как мы видим, MLP для идентификации говорящего имеет большее межклассовое расстояние, чем CNN. На рисунке 8 (e - g) и h показано результаты визуализации для идентификации говорящего.

Дискуссия

Создана модель и алгоритм определения гендерной специфики и говорящего на основе нейронных сетей. В этой статье был проведен сравнительный анализ архитектур нейронных сетей в определении гендерной идентичности и говорящего. Там CNN показал лучшие результаты, чем MLP.

Эксперимент включает в себя две нейронные архитектуры: MLP и CNN, которые представлены различными модельными регуляциями. Для двух идентичных вычислений модель CNN опережает MLP, где относительная рациональность в определении гендерной идентичности варьируется в вариантах от 10% до примерно 20%. Относительная рациональность в определении говорящего колеблется от 2% до 6%. Этот результат отмечен несколькими аспектами.

MLP и CNN делают большую часть первого шага при сравнении тренировочного процесса, а второй-значительно меньше. Результаты визуализации показывают, что MLP помещает аудиозаписи одного и того же диктора в область зеркалирования, в то время как CNN находится в относительно широкой области, поэтому эти результаты показывают, что модель CNN лучше, чем MLP.

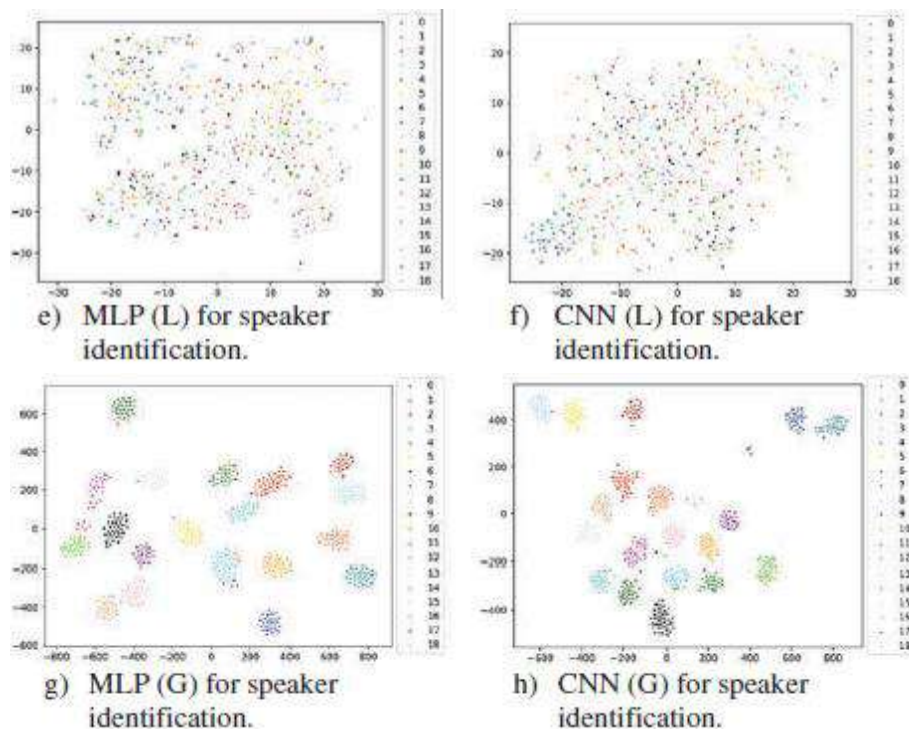


Рисунок 8 (e - g) и h результаты визуализации для идентификации говорящего

Заклучение

В этой статье мы применили различные архитектуры нейронных сетей для определения пола и идентификации говорящего. Сравнения двух нейронных сетей были проведены разными способами: 1) различные преобразования признаков (L и G), 2) различные размеры модели (малый и большой) и 3) добавление шумового сигнала к тестовому набору для измерения ошибок обобщения модели (протестировано 500 раз). Результаты показывают, что для обеих задач два типа нейронных сетей получают относительно лучшие результаты после применения z-оценки и преобразования матрицы Грамиана. С точки зрения времени обучения, MLP требует большего количества периодов обучения для сходимости, когда используется только нормализация max-min для функций MFCC. Размер модели не оказывает существенного влияния на характеристики модели, а большие модели дают лишь незначительное улучшение. Другой результат сравнения показывает, что MLP превосходят CNN в этих экспериментах с точки зрения ошибки обобщения. Результаты визуализации показывают, что MLP могут классифицировать аудио в более плотные классы, чем CNN, для обеих задач.

Список использованных источников

- [1] Auer, P., Burgsteiner, H., & Maass, W (2019). A learning rule for very simple universal approximators consisting of a single layer of perceptrons. *Neural Networks: The Official Journal of the International Neural Network Society*, 21(5), 786–795.
- [2] Rabiner L (2019). A tutorial on hidden markov models and selected applications in speech recognition. – P. 257–286.
- [3] Orken Mamyrbayev, Nurbapa Mekebayev, Mussa Turdalyuly, Nurzhamal Oshanova, Tolga Ihsan Medeni and Aigerim Yessentay (2019). *Voice Identification Using Classification Algorithms//We are IntechOpen, the world's leading publisher of Open Access books Built by scientists, for scientists. London– 1 – 14 p.*
- [4] Cunningham, P., & Delany, S. (2019). *k-nearest neighbour classifiers. Multiple Classifier System, 1 – 17.*

- [5] Mermelstein P (2020). *Distance measures for speech recognition, psychological and instrumental // Pattern recognition and artificial intelligence. – Vol. 116. –P. 374–388.*
- [6] Dehak, N., Kenny, P. J., Dehak, R., Dumouchel, P., & Ouellet, P. (2019). *Front-end factor analysis for speaker verification. IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing. 19(4), 1–11*
- [7] Toleu, A., Tolegen, G., & Makazhanov, A. (2021). *Character-aware neural morphological disambiguation. In: Proceedings of the 55th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics 2, 666–671. Association for Computational Linguistics, Vancouver, Canada.*
- [8] Kalimoldayev, M., Mamyrbayev, O., Mekebayev, N., Kydyrbekova, A (2020). *Algorithms for detection gender using neural networks // International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing. 2020, 154–159.*
- [9] Mekebayev N., Tuyebaev Ch., Sabrayev K., Yerkebay A. *Research of acoustic and linguistic modeling based on repetitive neural networks for speech recognition of children // Bulletin of physics & mathematical sciences. No1(77), 2022, <https://doi.org/10.51889/2022-1.1728-7901.16> , No1(77), 2022, 119-126*
- [10] Freund, Y., & Schapire, R. E. (1999, Dec). *Large margin classification using the perceptron algorithm. Machine Learning, 37(3), 277–296. doi:10.1023/A:1007662407062*

References

- [1] Auer, P., Burgsteiner, H., & Maass, W (2019). *A learning rule for very simple universal approximators consisting of a single layer of perceptrons. Neural Networks: The Official Journal of the International Neural Network Society, 21(5), 786–795.*
- [2] Rabiner L (2019). *A tutorial on hidden markov models and selected applications in speech recognition, 257–286.*
- [3] Orken Mamyrbayev, Nurbapa Mekebayev, Mussa Turdalyuly, Nurzhamal Oshanova, Tolga Ihsan Medeni and Aigerim Yessentay (2019). *Voice Identification Using Classification Algorithms. We are IntechOpen, the world's leading publisher of Open Access books Built by scientists, for scientists. London, 1 – 14 p.*
- [4] Cunningham, P., & Delany, S. (2019). *k-nearest neighbour classifiers. Multiple Classifier System, 1–17.*
- [5] Mermelstein P (2020). *Distance measures for speech recognition, psychological and instrumental. Pattern recognition and artificial intelligence. Vol. 116. 374–388.*
- [6] Dehak, N., Kenny, P. J., Dehak, R., Dumouchel, P., & Ouellet, P. (2019). *Front-end factor analysis for speaker verification. IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing. 19(4), 1–11*
- [7] Toleu, A., Tolegen, G., & Makazhanov, A. (2021). *Character-aware neural morphological disambiguation. In: Proceedings of the 55th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics 2, 666–671. Association for Computational Linguistics, Vancouver, Canada.*
- [8] Kalimoldayev, M., Mamyrbayev, O., Mekebayev, N., Kydyrbekova, A (2020). *Algorithms for detection gender using neural networks// International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing. 2020, 154–159*
- [9] Mekebayev N., Tuyebaev Ch., Sabrayev K., Yerkebay A. *Research of acoustic and linguistic modeling based on repetitive neural networks for speech recognition of children // Bulletin of physics & mathematical sciences. No1(77), 2022, <https://doi.org/10.51889/2022-1.1728-7901.16> , No1(77), 2022, 119-126*
- [10] Freund, Y., & Schapire, R. E. (1999, Dec). *Large margin classification using the perceptron algorithm. Machine Learning, 37(3), 277–296. doi:10.1023/A:1007662407062*

Д.Р. Рахимова^{1,2}, Ә.Т. Турарбек^{1,2*}, Р.Р. Галимова³, А.М. Акимбаева⁴

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

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

³Түзеу үлгісіндегі сөйлеу мүмкіндіктері шектеулі балаларға арналған № 54 бөбекжай-балабақшасы, Алматы қ., Қазақстан

⁴№6 Мүмкіншіліктері шектеулі балаларға арналған арнайы мектеп-интернаты, Алматы қ., Қазақстан

*e-mail: turarbek_asev@mail.ru

WORD2VEC ӘДІСІ НЕГІЗІНДЕ СӨЙЛЕУ ҚАБІЛЕТІ НАШАР БАЛАЛАРҒА АРНАЛҒАН ОҚЫТУ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа

Мектеп жасына дейінгі балалардың сөйлеу қабілетінің нашарлауы қоғамдағы күрделі мәселеге айналды. Арнайы орталықтар мен мамандарға жүгінетін ата-аналардың саны жылдан жылға артып келеді. Зерттеудің мақсаты – баланың дамуында тиімділікке қол жеткізуге ықпал ететін жаңа технологияларды пайдалана отырып, сөйлеуді түзету саласында ақпараттық жүйені құру қажеттілігі. Бұл мәселені шешу үшін қазақ тіліндегі жаңа қосымша әзірленді. Мақалада сөйлеу тілі бұзылған балаларға қазақ тілін оқыту жүйесін құру әдістемесі, соның ішінде қазақ тілінің синонимдер сөздігі қарастырылған. Синонимдер сөздігі баланың деңгейіне қарай сөздік қорын молайта отырып, дұрыс және ана тілінде сөйлеу дағдыларын дамытуға бағытталған. Ұсынылып отырған тәсілдің жаңалығы қазақ тіліндегі мәтіндердегі мағыналық жағынан ұқсас сөздерді анықтауында. Бұл жұмыс логопедия саласындағы жаңа педагогикалық жүйені автоматтандыруға ықпал етеді.

Түйін сөздер: машиналық оқыту, Word2Vec, сөздік, қазақ тілі, логопедия, мобильді қосымша.

Д.Р. Рахимова^{1,2}, А. Т. Турарбек^{1,2}, Р.Р. Галимова³, А.М. Акимбаева⁴

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

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

³Коррекционный ясли сад №54 для детей с тяжелыми нарушениями речи, г. Алматы, Казахстан

⁴Специальная школа-интернат №6, г. Алматы, Казахстан

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ ДЕТЕЙ С НАРУШЕНИЯМИ РЕЧИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА WORD2VEC

Аннотация

Нарушение речи у детей дошкольного возраста стало серьезной проблемой общества. Из года в год увеличивается количество родителей, обращающихся в специальные центры и специалистов. Целью исследования является необходимость создания информационной системы в области коррекции речи, применяя новые технологии, которые будут способствовать достижению эффективности в развитии ребенка. Чтобы решить эту проблему, мы разработали новое приложение на казахском языке. В статье описан способ построения системы обучения казахскому языку детей с нарушениями речевых способностей включающий словарь синонимов казахского языка. Словарь синонимов работает на развитие речевых навыков правильно и на родном языке, увеличивая словарный запас в зависимости от уровня ребенка. Новизна предлагаемого подхода заключается в выявлении семантически близких по смыслу слов в текстах на казахском языке. Данная работа способствует автоматизации новой педагогической системы в области логопедии.

Ключевые слова: машинное обучение, Word2Vec, словарь, казахский язык, логопедия, мобильное приложение.

D. Rakhimova^{1,2}, A. Turarbek^{1,2}, R. Galimova³, A. Akimbaeva⁴

¹al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²The Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan

³Correctional nursery garden №54 for children with severe speech disorders, Almaty, Kazakhstan

⁴Special boarding school №6, Almaty, Kazakhstan

DEVELOPMENT SYSTEM LEARNING DETAILS WITH STRUCTURAL LANGUAGES BASED ON WORD2VEC

Abstract

Speech impairment in preschool children has become a serious problem in society. The number of parents turning to special centers and specialists increases from year to year. The purpose of the study is the need to create an information system in the field of speech correction, using new technologies that will contribute to achieving effectiveness in the development of the child. To solve this problem, we have developed a new application in the Kazakh language. The article describes a method for constructing a system for teaching the Kazakh language to children with speech impairments, including a dictionary of synonyms of the Kazakh language. The dictionary of synonyms works to develop speech skills correctly and in the native language, increasing vocabulary depending on the child's level. The novelty of the proposed approach lies in the identification of words that are semantically similar in meaning in texts in the Kazakh language. This work contributes to the automation of a new pedagogical system in the field of speech therapy.

Keywords: machine learning, Word2Vec, dictionary, Kazakh language, speech therapy, mobile application.

Негізгі ережелер

Заман ағымының әсерінен әлемде адамдардың өмір сүру дағдылары мен құндылықтарының өзгеруіне байланысты сөйлеу дамуында ауытқулары бар балалар санының өсуі байқалады. Олардың арасында интеллекті мен есту, көру қабілеті жетілгенімен сөйлеу функциялары нашар балалар тобы ерекшеленеді. Бұл балалардың көпшілігі жалпы білім беретін мектепке баратындықтан, олар оқу және бірқатар қиындықтарға тап болады. Сол себепті сөйлеу қабілеті нашар балалар үшін қазақ тілінде оқыту жүйесін құру өте маңызды.

Кіріспе

Сөйлеу дамуының кешігуін зерттеудің өзектілігі соңғы уақытта осы патологиясы бар балалар санының артуы фактісімен анықталады. Балалық шақта сөйлеуді қалыптастырудың барлық теориялары генетикалық бейімділіктерді жүзеге асыруға ықпал ететін туа біткен қабілеттер мен қоршаған орта факторларының өзара әрекеттесуіне баса назар аударады [1]. Сөйлеу кемшіліктері салдарынан баланың өзіндік қабілеттеріне деген сенімсіздігін тудыруы және сәтсіздікке әкелуі мүмкін. Көп жағдайда балаларда белгілі бір дәрежеде дыбыстық айтылымның ғана емес, сонымен қатар лексикалық құрамның, сөйлеудің грамматикалық құрылымының, фонемалық процестердің бұзылуы болады. Мұның бәрі балаларды мектепке дайындау процесін қиындатады. Қазақстанның өзінде «соңғы 10 жыл ішінде сөйлеу қабілеті нашар балалардың саны 25 пайызға өсті», – дейді түзету педагогикасы ғылыми-практикалық орталығының мамандары. Ресми түрде 45 мыңға жуық сәби есепте тұр. Әсіресе, 1-сынып оқушыларының арасында осындай диагноздағы балалар саны артқанын байқауға болады. Әр сыныпта аз дегенде сөйлеу қабілеті нашар 4-5 оқушы оқиды [2]. Бұл жағдайға көбіне қазақы менталитеттің әсері де тигені анық. Ата-аналардың басым көпшілігі баланың бұндай әрекетін қалыпты санап, алдын ала арнайы балабақшаға берместен оларды мектепке оқытады. Ал баланың жетік сөйлей алмауы бала психикасының кеш дамуынан бастап, жоғарыда атап өткендей түрлі қиындықтарға әкеліп соғады. Сөйлеу қабілетінде нашар балаларға арналған арнайы бағдарламалар мен түрлі іс-шаралар жасалғанмен, гаджет пен телефонда ойнап отырып сөйлеуге талпынбайтын балалар саны өте көп. Сөйлеу қабілеті нашар мектепке дейінгі жастағы балалардың сөйлеу тілін дамытуға арналған қарапайым оқыту құралдарының қазақ тіліндегі нұсқасын табу қиын. Ал оқитын балалардың саны күн санап күрт өсуде.

Қазіргі қоғамды ақпараттық компьютерлік жүйелерсіз елестету қиын. Сөйлеу қабілеті нашар балалар үшін түрлі электронды орта, жаңа технология бала қызығушылығын арттырады. Заманауи ақпараттық технологиялар логопед-мұғалімге логопедтік түзету сабақтарын нәтижелі өткізуге көмектеседі [3,4]. Логопедия саласының даму кезеңінде жаңа педагогикалық үрдіс, фронтальды логопедиялық сабақ өткізуге жаңа әсер беретін заманауи әдістерді қолдану қажеттілікті туындап отыр. Дамыған мемлекеттердің тәжірибелеріне сүйенсек, балаларды сөйлеуге үйретіде инновациялық технологияларды пайдалану сөйлеу қабілеті нашар балалардың пайыздық көрсеткішін азайта алады. Ол үшін баланың сөйлеу қабілетін жақсартуға арналған құралдары әзірлеу, елде болмаған аппараттар мен логопедия орталықтарының ақпараттық жүйесін құру қажет.

Соңғы жылдарда балалардың тілдік дағдыларын жетілдіруге бағытталған, білім беру ресурстарын әзірлеуде табиғи тілді өңдеу Natural language processing (NLP) әдістерін қолдану кеңінен танымал болды. Осындай әдістердің бірі Word2Vec әдісі болып табылады, ол әртүрлі тілдерге арналған синонимдер мен антонимдердің сөздіктерін жасау үшін қолданылған. Зерттеудің басты мақсаты Word2Vec алгоритмін пайдалана отырып, табиғи тілді өңдеу саласында логопедиялық оқыту құралы ретінде синонимдік сөздікті құру және оны, сөйлеуді қабілетін арттыруға арналған жүйеде қолдану болып табылады. Синонимдік сөздік Word2Vec әдісі арқылы тек сөз тіркесін ғана емес, сонымен қатар сөз тіркесінің жақындықтарды да анықтауға мүмкіндік береді.

Мысалы, Kumar зерттеуінде (2019) Word2Vec әдісі хинди тілінде жиі қолданылатын сөздердің синонимдері мен антонимдерін қамтитын хинди тезаурусын әзірлеуде пайдаланды. Сөйлеу қабілеті нашар балалардың тіл байлығын арттыруда тезаурус пайдалы екені анықталды [5]. Сол сияқты, Mavridis (2020) Word2Vec әдісін балалар жиі қолданатын сөздердің синонимдері мен антонимдерін қамтитын грек тезаурусын жасау үшін пайдаланылды [6].

Қазақ тілі контекстінде Серікболова мен Шөкеева (2019) Word2Vec әдісі арқылы қазақ тілінің синонимдер сөздігін жасады. Алынған сөздік 500-ден астам сөздер мен сөз тіркестерін қамтиды, олар тақырыптық түрде ұйымдастырылған және суреттер мен қарапайым анықтамалармен сүйемелденеді. Сөздіктің сөйлеу қабілеті нашар балалардың тіл байлығын арттыруға пайдасы бар екені анықталды [7]. Серікболова мен Шөкеева (2020) бұрынғы жұмыстарына сүйене отырып, қазақ тілінің синонимдер сөздігінің кеңейтілген нұсқасын әзірледі. Сөздік 800-ден астам сөздер мен сөз тіркестерін қамтиды, сонымен қатар тағам, жануарлар және эмоциялар сияқты категориялар бойынша тақырыптық түрде ұйымдастырылған. Сөздік Қазақстандағы мектеп жасына дейінгі балалардың тіл байлығын арттыруда пайдалы екені анықталды [8]. Серікболова мен Шөкеева (2021) өздерінің соңғы зерттеулерінде қазақ тілінің синонимдер сөздігін 1000-нан астам сөз бен сөз тіркесіне кеңейтті. Сөздік сөйлеу қабілеті нашар мектеп жасына дейінгі балаларға арналған және оқу орындарында пайдалануға арналған. Сөздік түстер, пішіндер, тұрмыстық заттар сияқты категориялар бойынша тақырыптық түрде ұйымдастырылған, суреттер және қарапайым анықтамаларды қамтиды. Зерттеу барысында сөздіктің Қазақстандағы мектеп жасына дейінгі балалардың тіл байлығын арттыруда тиімді екені анықталды [9].

Сонымен қатар, осы негізінде қазақ тіліндегі синонимдерді анықтауға және қазақ тілін оқытуға бағытталған онлайн платформа жұмыс істейді. Бұл әр түрлі салалық сөздіктер мен энциклопедиялардағы сөздер мен тұрақты тіркестердің, қазақ тіліндегі көне сөздердің, кірістірме сөздердің, аймақтық және ақпараттық технологиялардың даму кезеңінде жаңа технологиялық сөздердің мағынасын көруге мүмкіндік беретін алаң. Сөздік порталының іздеу жүйесі арқылы фразеологиялық тіркестегі немесе сөйлем ішіндегі сөздердің, синонимдердің, антонимдердің, омонимдердің, кездесулердің анықтамасын бір бетте көруге болады. Қазіргі уақытта қорда 1 243 850 сөз бар. Платформа кез келген сөздің синонимін табуға көмектеседі.

Бұл зерттеулер Word2Vec әдісінің әртүрлі тілдерге, соның ішінде қазақ тіліне арналған синонимдік сөздіктерді жасаудағы тиімділігін анықтайды және сөйлеу қабілеті нашар

балалардың тілдік дағдыларын жетілдіруді әдісі екенін көрсетеді. Зерттеулер мектеп жасына дейінгі балалар үшін ресурстарды қол жетімді және ыңғайлы ету үшін сөздіктерді тақырыптық түрде ұйымдастырудың және арнайы суреттер мен қарапайым анықтамаларды берудің маңыздылығын ұсынады. Сөйлеу қабілеті нашар балалардың саны күн сайын артып келеді. 2021 жылдың тамызына [10] жаңа оқу жылына Алматының өзінде сөйлеу қабілеті нашар 640 мектеп жасына дейінгі бала тіркелді. Осындай өзекті мәселені шешу үшін табиғи тіл өңдеуді қолданып, кем дегенде баланың сөздік қорын дамытатын синонимдік сөздік жасауға болады. Өзірленген әдіс баланың жасы мен оқу қабілетін ескеруге мүмкіндік береді. Жасалған синонимдік сөздік сөйлеу қабілеті нашар балаға оқуға дұрыс тақырыптық сөздерді құрастыруға мүмкіндік береді. Бұл тез ассимиляцияға және сөздік қорын кеңейтуге мүмкіндік береді. Логопедия саласында мұндай оқу құралдары жоқтың қасы. Бұл зерттеу жұмысының мақсатты аудиториясы – сөйлеу дағдылары нашар мектеп жасына дейінгі балалар мен логопедия саласындағы кәсіби мамандар.

Зерттеу әдіснамасы

Ақпараттық технологияларды логопедия саласында қолдану сөйлеу қабілеті нашар балалар үшін өте маңызды болып келеді. Ал оны қазақ тілінде сөйлеуді үйрету және қазақ тілінде сөйлетін балалар үшін оны қолдану өте қажет. Қазақ аудиториясына арналған қосымшалар мен құралдарға талдау жасайтын болсақ, Android жүйесіне арналған жалғыз ғана қосымша бар. Оның өзі 1-суретте көрсетілгендей арнайы логопед маманның курсына арналған Майра Болатбекқызының тапсырысымен жасалған ақылы қосымша. Қосымша біріншіден, ақылы болғандықтан көп адамға қолжетімсіз. Екіншіден, екі бөлімнен ғана тұрады, олар – ойындар және видео, аудио сабақтар. Қосымшаның сипаттамасына қарағанда үй жағдайында баланың онлайн түрде дайындығын қамтамасыз етеді.

Бұдан бөлек, 2-суретте көрсетілгендей қазақ тіліндегі балаларға сөздерді айтып үйретуге арналған ойындар топтамалары бар.



Сурет 1. «Өз-өзіне Логопед!» ең алғашқы қазақ тіліндегі қосымша



Сурет 2. «Қазақша сөздер балаларға» Android қосымшасы

Технология дамыған заманда кез келген ақпараттың тез әрі сапалы, қолжетімді жеткізудің жолын қарастыру шарт. Орыс тілінде ақпарат қарапайым халыққа қолжетімді болып келеді. Оның айқын дәлелі, осы логопедия саласынан орын алып отыр. Қосымша тегін, қолдануға ыңғайлы жасалғанымен, дизайны мен қамтитын ақпараттық ресурсы аз. Логопедия саласында айтарлықтай бәсекелестіктің жоқ екеніне осы екі қосымша дәлел. Ендігі мақсат логопедия саласында ақпараттық жүйе мен технологияны дамыту. Балаларға арналған қазақ тіліндегі жаңа заман ақпараты көбейген сайын қазақ тілінің мазмұнының кеңеюіне үлес қосу керек (1-кесте).

Кесте 1. Орыс және ағылшын тіліндегі мобильді қосымшаларды пайдаланушы тұрғысынан талдау

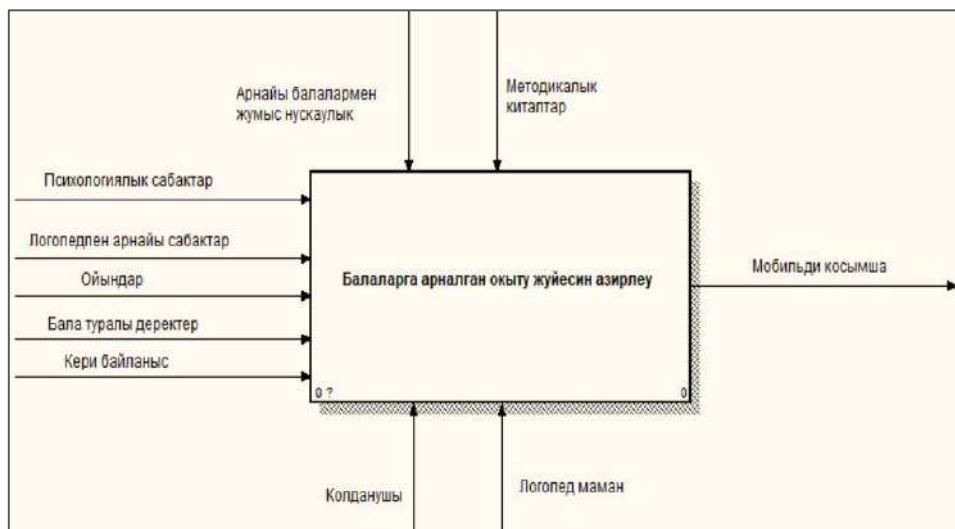
Қосымшаның атауы	Орыс тіліндегі мобильді қосымшалар			Ағылшын тіліндегі мобильді қосымшалар		
	«Домашний логопед»	«ЛОГО-ПЕДУЯ»	«Развитие речи у детей»	«Speech Blubs: Language Therapy»	«Speech Therapy: Practice S»	«Therapy for Autism & Speech & Learning Disabilities»
Категориялар						
Ыңғайлы интерфейс	+	+	+	+	+	+
Видео, аудио форматтағы файлдар	+	+	+	+	+	+
Ойындар	+	-	+	+	+	+
Ақысыз бағдарлама	+	+	+	+	+	+
Кері байланыс	-	-	-	-	+	+

Талдау нәтижесін қорытындыласақ, ағылшын тілді бағдарламаларға қарағанда орыс тілді аудиторияға арналған мобильді қосымшалар қатары қарқынды дамыған. Кез келген форматта тегін немесе ақылы түрде жүктеуге болады. Ағылшын тіліндегі қосымшалар жүйелендірілген, яғни аудиториясы нақты, ұсынатын ақпараты анық және интерфейсі ыңғайлы ойластырылған. Ал орыс тілінде құрылған қосымшаларда жүйесіз жасалған, қолдануға ыңғайсыз, қамтитын ақпарат ауқымы аз қосымшалар. Кері байланыс функциясы қарастырылған қосымша міндетті түрде ақылы негізде ұсынылады. Сонымен қатар, мобильді қосымшаны байқап көру үшін, бастапқы деңгейлерін тегін қолжетімді етіп, қалған ең керек деген ақпараттар мен функцияларды ақылы түрде жасаған. Егер қосымша толық тегін әрі маманмен кері байланысы болса, ол маманның қызметін сатуына негізделген болып табылады. Осылайша жүйелерге жасалған талдау негізінде қазақ тілінде сөйлеуді үйрететін мобильді қосымшаны құру үшін көптеген мәселелер ескерілу қажет. Балаларға арналған оқытудың ақпараттық жүйесін, мобильді қосымша құралы ретінде құрастыру процесін модельденді. Модельде жүйенің кіріс, шығыс деректері көрсетіледі. Оларға:

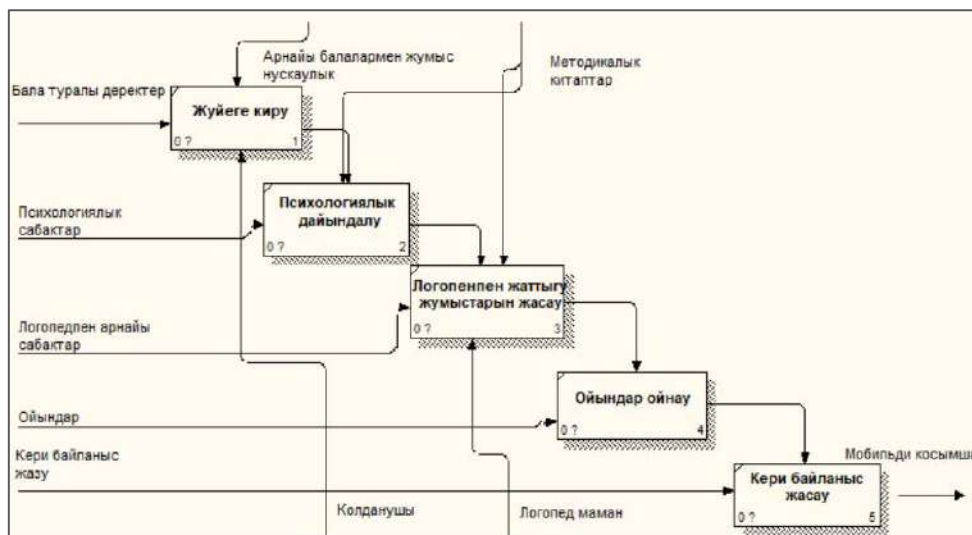
- Кіріс: психологиялық сабақтар, логопедпен арнайы сабақтар, ойындар, бала туралы деректер және кері байланыс;
- Шығыс: жүйе дайын ақпараттық мобильді қосымша негізінде құрылып дайындалады;
- Басқарушы: арнайы балалармен жұмыс нұсқаулығы және әдістемелік кітаптар;
- Механизмдер: логопед маман мен қолданушы.

Таңдалған ақпаратпен 3-суретте көрсетілгендей IDEF0 AS-IS моделінің А0 блогында модель сыздық. 4-суретте көрсетілген балаларға арналған оқыту жүйесін әзірлеудің негізгі жұмысын бес тапсырмасы бөлініп, бейнеленген:

- жүйеге кіру;
- психологиялық дайындалу;
- логопедпен арнайы жұмыс жасау;
- ойындар ойнау;
- кері байланыс жасау.



Сурет 3. Балаларға арналған оқыту жүйесін әзірлеу процесінің IDEF0 AS-IS моделі. А0 Блогы



Сурет 4. Балаларға арналған оқыту жүйесін әзірлеу процесінің IDEF0 AS-IS моделі. А0 блогының декомпозициялануы

Жүйе компонентті іске қосқан кезде, компонентке тиесілі бағдарлама процесі басталады және компонентке қажет класс даналарын құрады. Сондықтан, көптеген басқа жүйелерден айырмашылығы, Android жүйесінде қосымшада бірыңғай кіру нүктесі жоқ. Әр қосымшаның жеке процесте іске қосылуына және файлдарға кіру шектеулеріне байланысты бағдарлама басқа компонентті тікелей іске қоса алмайды. Осылайша, ол үшін жүйеге белгілі бір компонентті іске қосу туралы хабарлама жіберу керек, жүйе оны іске қосады.

Компоненттердің төрт түрі болады, олардың әрқайсысы белгілі бір мақсатқа жетуге қызмет етеді және тиісті компонентті құру және жою тәсілдерін анықтайтын өзіндік циклі болады. Android қосымшаларының негізгі компоненттерін қарастырылды, олар:

1. Әрекет (Activities) – бұл қосымшаның көрінетін бөлігі (экран, терезе, пішін), графикалық пайдаланушы интерфейсіні көрсетуге жауап береді;

2. Қызмет (Services) – фондық режимде, ұзақ уақыт жұмыс істейтін немесе қашықтағы процестер үшін жұмыс жасайтын компонент;

3. Контент-провайдерлер (Content providers) – мазмұн провайдері қосымша деректерінің таратылған жиынтығын басқарады;

4. Хабар тарату қабылдағыштары (Broadcast Receivers) – қабылдағыш-хабар тарату хабарламаларына жауап беретін компонент [11].

Жалпы, Android қосымшасы мынадай бөліктерден тұрады:

- Android SDK (View, Activity, ContentProvider, Service, Broadcast-Receiver, Intent) негізгі кластары болып табылатын Java кластары;

- қосымшаның манифестасы;

- жолдар, суреттер және т. б. сияқты ресурстар;

- файлдар.

Қосымша ішіндегі деректер Firebase реляциялық деректер қоры арқылы өңделеді. JSON деректерін Firebase-де сақтаған кезде, өзгерістер оларды сұраған барлық клиенттер, веб және мобильді құрылғылар үшін бірден жібереді. Кірістірілген тұрақты файл хостинг, пайдаланушы басқару және қауіпсіздік ережелерімен Firebase заманауи қосымшаларды бұрынғыдан тезірек құруға көмектеседі. Firebase деректердегі өзгерістер туралы хабарлау үшін, сондай-ақ алғаш деректерді алу үшін оқиғаларға негізделген модель қолданылады [12].

Firebase деректер қорының мүмкіндіктері:

- Analytics – қосымша бойынша аналитика: аудитория мөлшері, пайдаланушылар туралы ақпарат, қосымшадағы оқиғалар және т.б.;

- Authentication – пайдаланушылар өздерінің есептік жазбаларын қосымшаға байланыстыра алады және оларға кез-келген деректер қосылады. Бұл жерден келесі провайдерлерге қолдау көрсетіледі: Google, Facebook, Twitter, GitHub;

- Realtime Database – тіркеу үшін нақты уақытта өзгерістермен жұмыс істейтін деректер қоры.

Құрылған қосымшаның басты ерекшелігі «Логопедпен жұмыс жасау» бөлімінде синонимдер сөздігі кірістірілген. Қазақ тіліндегі сөйлеу қабілеті нашар мектеп жасына дейінгі балаларға арналған синонимдер сөздігін құру үшін табиғи тілі өңдеу әдісі ретінде Word2Vec әдісі таңдалды. Бұл әдіс контекст негізінде семантикалық және синтаксистік мағынаны қамтитын сөздерді енгізу үшін кеңінен қолданылды. Ол терезе өлшемі, вектор өлшемі және ең аз сөз жиілігі сияқты пайдаланылған гиперпараметрлерді анықтайды. Сондай-ақ Word2Vec әдісімен оқыту үшін пайдаланылатын дәуірлер саны мен пакет өлшемін қоса алғанда, оқыту процесін талқылайды. Онда модельдің өнімділігін бағалау және сарапшылардан алынған кері байланыс туралы айтылады. Сөздерді кірістіру мағынасы ұқсас сөздерді анықтауға және синонимдер сөздігін жасауда сәйкес баламалар беруге қолайлы тәсілді қамтамасыз етеді [13].

Корпусты алдын ала өңдегеннен кейін теріс сынамамен Skip-gram архитектурасын пайдаланып, Word2Vec әдісі оқытылды. Тренинг Python тіліндегі Gensim кітапханасы арқылы келесі гиперпараметрлермен орындалады:

- Терезе өлшемі: 5;

- Вектор өлшемі: 100;

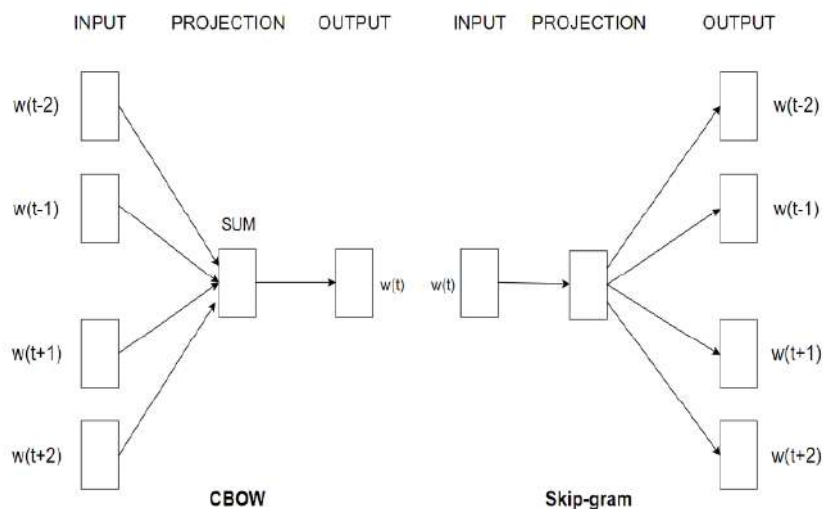
- Минималды сөз жиілігі: 5.

Терезе өлшемі параметрі оқытуда қарастырылатын мақсатты сөз бен контекстік сөздер арасындағы ең үлкен қашықтықты анықтайды. Терезенің кішірек өлшемі сөздер арасындағы жергілікті қарым-қатынастарды түсіруге бейім, ал үлкен терезе өлшемі аумақты қатынастарды түсіреді. Бұл зерттеуде тақырып бойынша алдыңғы зерттеулер негізінде 5 терезе өлшемін таңдалған.

Word2Vec әдісін таңдау бірнеше факторларға негізделді, оның ішінде бақылаусыз оқыту сипаты, үлкен көлемдегі деректерді тиімді өңдеу мүмкіндігі және сөз енгізу тиімділігі. Бұл әдіс оқыту үшін қолмен белгіленген деректерді қажет етпейді, бұл оны қазақ тіліне қолайлы етеді. Жиналған корпус алдын ала тоқтау сөздерін, тыныс белгілерін және басқа маңызды емес деректерді алып тастау арқылы өңделді, содан кейін олардың өлшемдерін азайту үшін қалған сөздерді лексемалау және түбірлеу жүргізілді [14].

Word2Vec әдісінің екі алгоритмі бар, олар 5 суретте көрсетілген:

- CBOW;
- Skip-gram.



Сурет 5. Екі Word2Vec моделінің салыстырмалы алгоритмі [15]

CBOW. Үздіксіз сөмке (CBOW) Word2Vec әдісінің архитектураларының бірі болып табылады, ол контекст негізінде сөздердің векторлық бейнелерін жасау үшін қолданылады. CBOW негізгі идеясы - оның айналасындағы сөздердің контекстіне негізделген ағымдағы сөзді болжау. Мысалы, «Мен ... (кешкі ас) ішкенді ұнатамын» сөйлемінде контекстіне сүйене отырып, «кешкі ас» сөзін болжауға тырысады. CBOW үлгісін үйрету үшін бір жасырын қабаты бар нейрондық желі қолданылады. Кіріс мәтінмәндегі сөздердің векторлары, ал шығыс - біз болжауға тырысып жатқан сөздің векторы. Жасырын қабат нейрондары контекстік сөздерді біріктіреді және сөздіктегі әрбір сөздің ықтималдығын есептейді, содан кейін олар желінің салмақтарын жаңарту үшін пайдаланылады. CBOW артықшылықтары қысқа мәтіндер мен бірнеше бірегей сөздері бар мәтіндерде жақсы жұмыс істеуді қамтиды. CBOW қарапайым мәтіндерді Skip-gramға қарағанда жылдамырақ үйренеді. Дегенмен, құрылымы күрделірек мәтіндерде немесе бірегей сөздердің көп саны бар мәтіндерде CBOW дәлдігі азырақ. Сондай-ақ, CBOW әдетте сөз векторларын сақтау үшін көбірек жады қажет етеді.

$$Q = N \times D + D \times \log_2(V) \quad (1)$$

Мұндағы, Q - параметрлер саны, N - сөзді көрсету векторларының өлшемі, D - контекстік терезе өлшемі, V - сөздіктің өлшемі. Сөзді көрсету векторларының өлшемі («эмбеддинг» деп те аталады) мәтіндегі әрбір сөзді көрсету үшін пайдаланылатын сандық мәндердің саны болып табылады. Мысалы, сөзді көрсету векторының өлшемі 100 болса, онда әрбір сөз 100 санның векторы ретінде көрсетіледі.

Skip-gram. Skip-gram сөздердің векторлық көріністерін жасау үшін қолданылатын Word2Vec моделінің архитектурасы. CBOW-тен айырмашылығы, Skip-gram берілген мақсатты сөз үшін контекстік сөздерді болжауға тырысады. Яғни, егер бізде «Мен ... (кешкі ас) ішкенді ұнатамын» деген сөйлем болса, Skip-gram «кешкі ас» мақсатты сөзіне сүйене отырып, «мен», «ұнату», «ішу» деген сөздерді болжауға тырысады. Skip-gram әрбір ағымдағы сөзді үздіксіз проекциялық қабаты бар сызықты классификаторға кіріс ретінде қолданады және ағымдағы сөзге дейін және кейін белгілі бір аралықтағы сөздерді болжайды. Аралықты ұлғайту нәтижесінде алынған сөз векторларының сапасын жақсартатынын анықтадық, бірақ ол сонымен қатар есептеу күрделілігін арттырады. Бұл архитектураның оқыту күрделілігі

пропорционалды болады. Нейрондық желі Skip-gram моделін үйрету үшін де пайдаланылады, бірақ CBOW-мен салыстырғанда кері архитектурасы бар. Кіріс - мақсатты сөз және шығыс - контекстік сөздер. Жасырын қабаттағы нейрондар мақсатты сөзді векторға түрлендіреді және оны контекстік терезеде контекстік сөздерді болжау үшін пайдаланады.

Skip-gram артықшылығы сирек сөздерді жақсырақ өңдеуді және сөздер арасындағы семантикалық қатынастарды дәлірек модельдеуді қамтиды. Сондай-ақ Skip-gram мәтіннің үлкен көлемін жақсы меңгереді және күрделі мәтін құрылымдарын дәлірек есептей алады. Дегенмен, Skip-gram көбірек есептеу ресурстары мен оқу уақытын қажет етеді, әсіресе мәтіннің үлкен көлеміне.

$$Q=C \times (D+D \times \log_2(V)) \quad (2)$$

мұндағы C - сөздердің максималды қашықтығы. Осылайша, егер $C=5$ таңдасақ, әрбір жаттығу сөзі үшін кездейсоқ R санын <1 аралығында таңдаймыз; $C >$, содан кейін дұрыс белгілер ретінде тарихтағы R сөздерін және ағымдағы сөздің болашақтағы R сөздерін пайдалану керек. Бұл ағымдағы сөзді кіріс ретінде және $R+R$ сөздерінің әрқайсысын шығыс ретінде көрсете отырып, $R \times 2$ сөз жүктелуін талап етеді. Келесі тәжірибеде $C=10$ [16] қолданылған. CBOW және Skip-gram екеуінің де артықшылықтары мен кемшіліктері бар. CBOW тезірек жаттығады және жиі сөздерді жақсы орындауға бейім, ал Skip-gram жаттықтыруда баяу, бірақ сирек сөздерді жақсырақ орындауға бейім және сөз қатынастары туралы толық ақпаратты жинайды [17].

Зерттеу нәтижелері

Бұл зерттеуде Word2Vec әдісі негізінде қазақ тілінде сөйлеу қабілеті нашар мектеп жасына дейінгі балаларға арналған синонимдер сөздігінен тұратын мобильді қосымша жасауды мақсат етілді. Ол үшін қазақша мәтіннің корпусын жиналды және оны тоқтау сөздерін, тыныс белгілерін және басқа да маңызды емес деректерді алып тастау үшін алдын ала өңделді, содан кейін қалған сөздерді лексемалау және түбірлеу жүргізілді. Word2Vec әдісі корпустағы әрбір сөз үшін сөз енгізу алдын ала өңделген корпуста оқытылады. Келесі қадам ретінде оқыту жүйесінің моделін құрылды, оның ішіне жоғарыда сипатталған синонимдер сөздігі қосылды. Word2Vec әдісінің өнімділігін бағалау үшін екі көрсеткіш қолданылды: косинус ұқсастығы және сөз ұқсастығы. Косинус ұқсастығы екі вектор арасындағы ұқсастық дәрежесін өлшейді, ал сөз ұқсастығы екі сөз арасындағы ұқсастықты кірістіру негізінде есептейді. Сөздердің жұптары арасындағы косинус ұқсастығы мен сөз ұқсастығын есептеп, нәтижелерді адам белгілеген ұқсастықпен салыстырылды [18].

Gensim. Gensim – табиғи тілді өңдеуге арналған танымал Python кітапханасы, ол сөз ендірілген сөздерді құру және пайдалану құралдарын ұсынады. Оның ең танымал мүмкіндіктерінің бірі Word2Vec әдісі болып табылады, ол мәтін корпусындағы бірлесе пайда болу статистикасына негізделген жоғары сапалы сөздерді енгізу үшін қолданылады. Gensim сөзді ендіруден басқа, сонымен қатар тақырыпты модельдеуге, ұқсастық сұрауларына және басқа табиғи тілді өңдеу есептеріне арналған құралдарды ұсынады.

Деректерді жинау және алдын ала өңдеу. Бұл зерттеуде пайдаланылған қазақ тілінің деректер жинағы балалардың әдеби кітаптарынан және әлеуметтік желілерден жиналды. Деректер жинағы шамамен 300 мың сөзден тұрды. Содан кейін таңбалау, кіші әріппен жазу және тоқтату сөздері мен тыныс белгілерін алып тастау сияқты алдын ала өңдеу қадамдары орындалды. Word2Vec әдісін үйрету үшін пайдаланылған соңғы деректер жинағы шамамен 70 мың сөзден тұрды. Корпус деректері бірнеше негізгі тақырыптар бойынша жіктелді: объектілер, табиғат, жануарлар, отбасы.

Модельдік тренинг. Енгізу өлшемі 100, 4 жұмысшы және ең аз саны 1 болатын Gensim кітапханасын пайдаланып Word2Vec әдісі оқытылды. Модель алдын ала өңделген деректер жиынында оқытылды және оқу процесі 16 Гб жедел жады бар құрылғыда шамамен 30 минутқа созылды.

Бағалау көрсеткіштері. Word2Vec әдісі екі метрика арқылы бағаланды: (1) косинус ұқсастығы және (2) ең ұқсас сөздер. Енгізу кеңістігіндегі екі сөздің ұқсастығын өлшеу үшін косинус ұқсастығы қолданылды [19]. Ұқсас сөздердің көпшілігі берілген сөздің синонимдерін анықтау үшін қолданылған.

Синонимді алу. Берілген сөздің синонимдерін шығару үшін Word2Vec әдісімен берілген ең ұқсас сөздер қызметі қолданылды. Мысалы, «жеміс» сөзінің синонимдерін шығару үшін келесі код қолданылды:

```
#Embedding size
Embedding_Dim = 100
#train word2Vec model
model = gensim.models.Word2Vec(sentences = final, size = Embedding_Dim, workers = 4,
min_count = 1)
word1 = 'Алма'
word2 = 'жеміс'
Vector1 = model.wv[word1]
Vector2 = model.wv[word2]
similarity = np.dot(Vector1, Vector2) / (np.linalg.norm(Vector1) * np.linalg.norm(Vector2))
print('Cosine similarity between', word1, 'and', word2, ':', similarity)
model.wv.most_similar('жеміс')[:5]
```

Бұл кодтың нәтижесі «жеміс» сөзіне ең ұқсас бес сөзді берді, олар «жеміс», «алма», «алмұрт», «алхоры» және «өрік» болды.

Косинус ұқсастығын бағалау. Косинус ұқсастық метрикасын бағалау үшін екі сөз арасындағы ұқсастықты өлшеп, нәтижелерді олардың белгілі ұқсастығымен салыстырылды. Мысалы, «алма» және «жеміс» арасындағы косинус ұқсастығын өлшеу үшін келесі код қолданылды:

```
Vector1 = model.wv['алма']
Vector2 = model.wv['жеміс']
similarity = np.dot(Vector1, Vector2) / (np.linalg.norm(Vector1) * np.linalg.norm(Vector2))
print('Cosine similarity between', 'алма', 'and', 'жеміс', ':', similarity)
```

Бұл кодтың нәтижесі 0,53 болатын «алма» және «жеміс» арасындағы косинус ұқсастық балл берді. Содан кейін бұл балл олардың белгілі ұқсастығымен 0,68 салыстырып, Word2Vec моделінің олардың семантикалық ұқсастығын анықтауда жақсы жұмыс істейтінін анықталды, ол 2 кестеде көрсетілген.

Кесте 2. Косинус ұқсастығын бағалау

Түпнұсқа сөз	Косинус ұқсастығы	Адам таңбаланған ұқсастық
Алма – жеміс Apple – fruit	0.53	0.68
Алма – ағаш Apple – tree	0.61	0.71
Жеміс – ағаш Fruit – tree	0.44	0.5
Алмұрт – ағаш Pear - tree	0.6	0.67

Ол ұсынылған әдістің өнімділігін бағалау үшін әртүрлі сөздер жұптары арасындағы косинус ұқсастығы оқытылған Word2Vec әдісін қолданылады. Сонымен қатар, ұсынылған әдіс

сөйлеу қабілеті нашар балаларға арналған қазақ тілінің синонимдерінің сөздігін жасау үшін пайдаланылды. Сөздік деректер жиынындағы әрбір сөз үшін ең ұқсас 5 сөзді табу арқылы құрылады. Нәтижесінде сөздікте әр сөздің көп синонимі бар екенін анықтадық, бұл сөйлеу қабілеті нашар балаларға сөздік қорын және әртүрлі дағдыларын жетілдіруге көмектесуі мүмкін.

Осылайша, Word2Vec арқылы әзірленген қазақ тілінің синонимдер сөздігі сөйлеу қабілеті нашар балаларға арналған сөздердің синонимдерін анықтауда тиімді болып шықты. Косинус ұқсастығын бағалау Word2Vec әдісінің сөздер арасындағы мағыналық ұқсастықты, ал ең ұқсас сөздер қызметі синонимдерді тиімді анықтауға қабілетті екенін көрсетті. Word2Vec әдісі ұқсас мағыналары бар сөздердің жұптары арасындағы жоғары косинус ұқсастыққа қол жеткізді, бұл жасалған кірістіру сөздердің семантикалық мағынасын дәл түсіргенін көрсетеді. Модель мағыналары ұқсас сөздерді дәл анықтай алғанын көрсететін сөздердің ұқсастығының жоғары бағасына қол жеткізді.

Өзара әрекеттесуді жобалау және визуалды дизайн принциптерінің көпшілігі белгілі бір платформамен байланысты емес. Дегенмен, мобильді құрылғылар әртүрлі шектеулерге (экран өлшемі, енгізу әдістері және т.б.) байланысты ерекше ойларды қажет етеді.

Мобильді қосымша атауы «Ainalayn». Сыртқы интерфейсіне пайдаланушыға ыңғайлы болуы үшін барынша қарапайым әрі сәнді үйлесімділікті басты назарға ұсталған. Интерфейс дизайнындағы түстер бала психологиясын ескере отырып таңдалынды. Ашық, айқын, баланы жалықтырмайтын түс болуы бала психологиясына жағымды әсер береді. Интерфейсті мобильді жүйенің алғашқы бетінен-ақ сипаттауға болады (6-сурет). Алғашқы бетте жүйеге кіру және тіркелу батырмалары орналасқан. Қосымша құрылысына пайдаланушы тұрғысынан тоқталатын болсақ, жүйе:

- жүйеге кіру және тіркелу;
- пайдаланушының жеке кабинеті;
- логопедия бөлімі;
- психологиялық бөлім;
- ойындар бөлімі;
- кері байланыс бөліктерінен тұрады.

Жалпы жүйе кімдерге арналған:

- логопедия саласындағы мамандарға;
- сөйлеу қабілетінде қандай да бір кемшілігі бар балаларға;
- осы салада онлайн форматта оқыту жүйесін қолданылатын мамандарға.

Жаңа пайдаланушыны тіркеу тікелей деректер қорымен байланысты. DB_Functions ішінде файлда пайдаланушыны дерекқорға сақтау, пайдаланушыны дерекқордан алу қызметі бар. Сондай-ақ, пайдаланушыны жаңарту, пайдаланушыны жою сияқты әдістерді қосуға болады. Пайдаланушы идентификаторы 6-суретте қосымшаға жаңадан тіркелу беті көрсетілген.

1. Жаңа мәліметтерді енгізген кезде бағдарлама оларды Firebase МҚБЖ (мәліметтер қорын басқару жүйесі) жібереді.

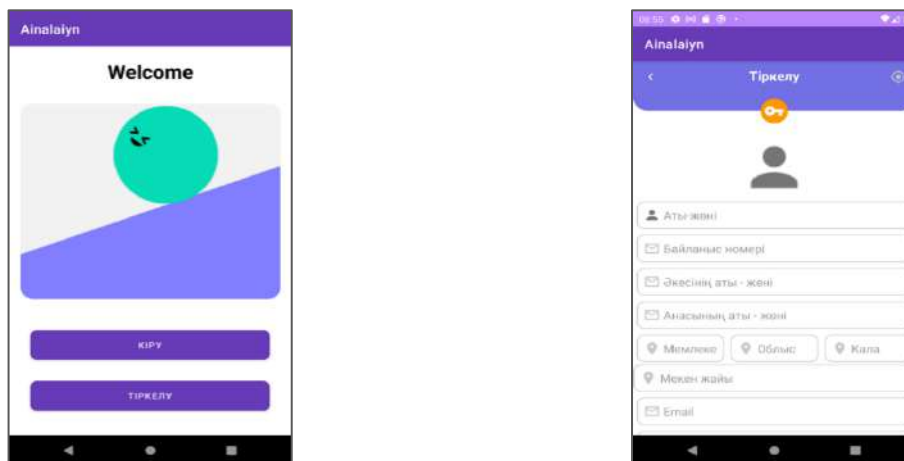
2. Деректер қорында деректерді тексереді және егер олар дұрыс болса, таңбаларды белгілейді, ол қосымшаның кейінгі қосылымдары үшін аутентификацияның дәлелі болып табылады.

3. Кейін мәліметтер бұл таңбаларды қосымшаға жібереді.

4. Бағдарлама таңбаларды сақтайды.

5. Кейінгі авторизация кезінде қосымша қол жетімді белгіні алады және тіркеледі. Құпия сөздер ешқашан қосымшаның жадында сақталмайды.

Тіркелу бөліміндегі мәліметтер атрибуттарға меншіктеліп, пайдаланушының жеке кабинетінде автоматты түрде толтырылатын болады.



Сурет 6. Қосымшаның алғашқы беті. Тіркелу және кіру функциялары

Жаңадан тіркелген пайдаланушы жүйеге кіруі үшін алдымен, енгізілген ақпарат деректер қорымен сәйкестігі анықталатын болады. Деректер қорында жаңа жазба қосылғанда Email and Password() көмегімен пайдаланушыны құру қызметі қолданылады. Бұл қызмет екі міндетті параметрді қабылдайды: электрондық пошта және пароль. Қызмет пайдаланушы сәтті қосылған кезде, сондай-ақ, пайдаланушы сәтсіз қосылған кезде жұмыс істейтін оқиға өңдегіштерін қосылады. Деректер қорынан деректерді алу және пайдаланушыны авторизациялау үшін signInWithEmailAndPassword() әдісін пайдаланылды. Бұл әдіс екі параметрді (email және пароль) қабылдайды және сәтті немесе сәтсіз тіркелу үшін оқиға өңдеуді қамтиды.

7-суретте пайдаланушының жеке кабинеті көрсетілген, ол қосымшаның негізгі беті болып саналады. Алғаш қосымша ашылғанда пайдаланушының жеке кабинеті ашылады. Жеке кабинеттің мәліметтері пайдаланушы тіркелгенде автоматты түрде осы жаққа толтырылады. Негізгі бет ретінде пайдаланушыға қолайлы болуы үшін мәзір құралған.

Android мәзірдің екі түрін қолдайды: негізгі және контексті [20]. Ескі телефондарда жеке мәзір батырмасы бар, оны басу негізгі мәзірді ашады. Смартфондарда оның орнына қосымшаларда жиі қолданылатын ActionBar әрекеттер жолы пайда болды, ол арқылы мәзір оңай құрылады.

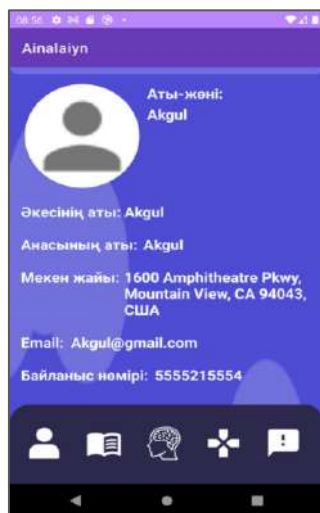
Мәзір құру үшін RES/menu жобасының каталогында XML файлын құрылады және келесі элементтер пайдаланылады:

– <menu> мәзір элементтері үшін контейнер болып табылатын Menu анықтайды. <Menu > элементі файлдың түпкі түйіні болуы тиіс және бір немесе бірнеше <item>және <group> элементтерін қамтуы мүмкін;

– <item> бұл MenuItem мәзірінде бір элемент атауын білдіреді. Бұл элементте ішкі мәзірді құру үшін кірістірілген <menu> элементі болуы мүмкін;

– <group> ол Item элементтері үшін қосымша көрінбейтін контейнер. Бұл мәзір элементтерін белсенді күйі мен көріну сияқты ортақ қасиеттерге ие жіктеу мүмкіндігін қарастырады.

«Ainalayn» қосымшасының пайдаланушыға беретін пайдасы онлайн түрде тегін видеосабақтар. Көпшілікке қолжетімсіз білімді қосымша арқылы ала алады. Android бағдарламасы бейне файлдардың ең көп таралған 3GPP (.3gp), WebM (.webm), Matroska (.mkv), MPEG-4 (.mp4) форматтағы түрлерін қолдайды. Бейне материалдармен жұмыс істеу үшін Android виджеттерінің стандартты жиынтығында бейнені ойнатуға мүмкіндік беретін бейне шолу класы анықталған.



Сурет 7. Пайдаланушының жеке кабинеті

Бейнені қарау мобильді құрылғыда орналастырылған роликтермен де, желідегі бейне материалдармен де жұмыс істей алады. Осылай бейне материалдарды пайдалана отырып, 8-суретте көрсетілген жаңа бөлім логопед маманмен арнайы сабақтарды көре аламыз.

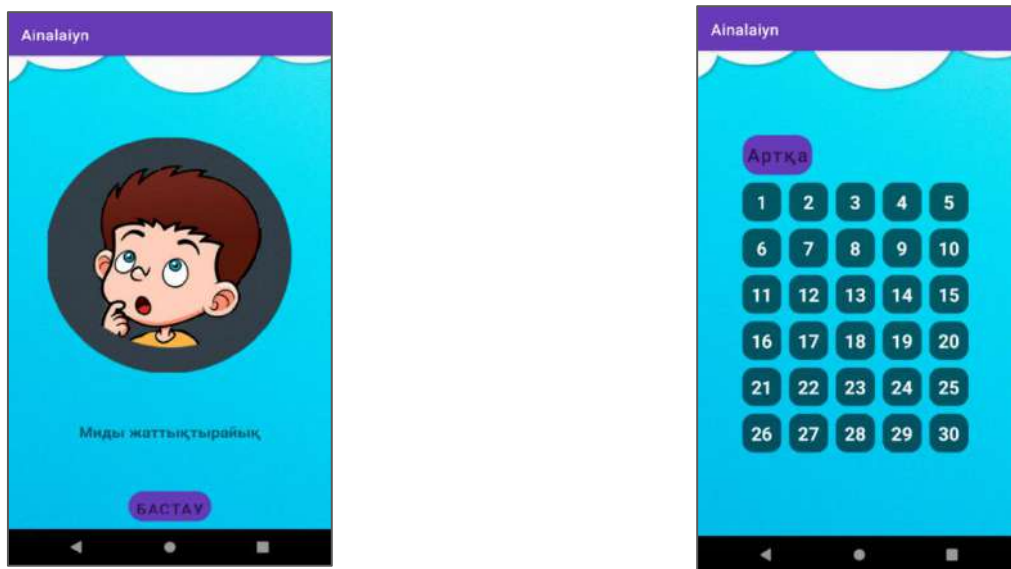


Сурет 8. Логопедпен жұмыс бөлімі. Арнайы бейне сабақтар

Мобильді қосымшаның психологиялық бөлімі пайдаланушының ата-анасымен бірге қолдануға арналған бөлім. Сөйлеу қабілеті нашар балалардың ата-аналарына психологиялық дайындық ретінде, баламен қалай жұмыс жасағанда нәтижелі болатындығы, тағы да көптеген психологиялық білімдер және осы мобильді қосымшаны нәтижелі пайдалануға нұсқаулық ретінде арнайы сабақтар қарастырылған. Осы бөлімдегі видео форматтағы файлдарды алдын ала деректер қорына жүктеп, сілтеме арқылы қолданылады. Сілтеме арқылы қолдану ыңғайлы, уақытты және жады көлемін үнемдеуге көмектеседі. PutBytes() әдісі – файлды деректер

қорына жүктеудің ең тиімді жолы. Жадты аз пайдалану үшін `putStream()` немесе `putFile()` қолдануды қарастырған жөн. Пайдаланушы алған білімді кері байланыс жасауы үшін `.docx` форматтағы файл түрінде ақпараттар ағынын қалдыра алады. Пайдаланушыға пайдалы ақпараттардан бөлек қызықты ойындар ұсыну арқылы сөйлеуге деген құлшынысын оятуға болады. Ойын жасағанда баланың жас ерекшелігі мен қызығушылықтарын ескерген дұрыс. 9-суретте көрсетілгендей қосымшадағы ойын өте қарапайым құрылған. Бала сандарды шатаспай табуы керек. Дұрыс тапқан сайын жаңа деңгейге көтеріледі. Бұл баланың жаңа ақпарат қабылдау арқылы миын жаттықтыруға ықпал етеді. Сөйлеу қабілеті нашар балалар көп жағдайда тыңдағанды ұнатады. Тыңдау арқылы бірінші миы жаттығып, ол тілінің дамуына әсер береді. Сол себепті, пайдаланушыға көңілді болуы үшін қазақша фондық әуен қойылды.

Firestore деректер қорында «Файлдарға» өтіп, әндер жүктеледі. Әнді қосышамен байланыстыру үшін URL мекен-жайы қажет. Ән файлының оң жақ шетін шертіп, URL мекен-жайын көшіру керек. Сілтемені басқаннан кейін ол автоматты түрде көшіріледі. Ең алдымен, файлға өтіп, оған сілтемені қойылады. `Oncreate()` әдісіндегі айнымалылар анықталады. Осыдан кейін `onCreate()` әдісінде Media player данасын орнату керек.



Сурет 9. Қосымшадағы ойын бөлімі және ойындарды таңдау беті

Android ОЖ (операциялық жүйе) үшін көптеген қосылатын кітапханалар болады, оларды мақсатына қарай келесі топтарға жіктеледі:

1. Үйлесімділік кітапханалары. Олар Android ОЖ-нің кейбір нұсқаларында, платформаның бұрынғы нұсқаларында пайда болған мүмкіндіктерді пайдалануға мүмкіндік береді. Себебі, API-нің жаңа нұсқалары осы нұсқаны қолдайтын құрылғылар кеңінен қолданылғаннан гөрі тезірек шығады.

2. Арнайы мақсаттағы кітапханалар. Ойындарды дамыту, әлеуметтік желілермен жұмыс істеу, статистика жинау және басқа жағдайларда қолданылады.

3. Қосымша мүмкіндіктер беретін кітапханалар. Бұл санатқа көптеген кітапханаларды жатқызуға болады. Бұған графикалық сурет кітапханалары, суреттермен жұмыс, өзгертілген басқару элементтері.

Кітапханалар жиналған және пайдалануға дайын `jar` файлдары түрінде жеткізілуі мүмкін. Кітапхананы қосу (файл `*.jar`) өте жеңіл орындалады. Жобада `libs` бумасын құру жеткілікті (`src` және `res` бумаларымен бірдей деңгейде) және кітапхана файлы сол жерге көшіру жеткілікті. Содан кейін оны жобаға `Project -> Properties` мәзірі арқылы қосу керек. Егер кітапхана бастапқы код түрінде ұсынылса, оны алдын-ала жинау керек. Жобаның түпкі бумасын оң жақ батырмамен басу керек `-> экспорттау: -> Java -> іске қосылатын файл -> іске қосу үшін`

Қойылған мақсатқа сай «Ainalaın» мобильді қосымшасы құрылды. Бұл зерттеу жұмыста Word2Vec әдісі негізінде сөйлеу қабілеті нашар балаларға арналған қазақ тілінің синонимдерінің сөздігі жасалды. Құрастырылған сөздікте 3000 сөз арнайы сөздер топтар бойынша топтастырылған. Бұл баланың тақырып бойынша сөздерді есте сақтауына жағдай жасайды. Әртүрлі дереккөздерден қазақша мәтіндер корпусын жинақталды, мәтінді алдын ала өңделді және сөздерді құру үшін Word2Vec әдісін оқытады. Модельдің өнімділігін әртүрлі сөз жұптары арасындағы косинус ұқсастығын өлшеу және модель қайтарған ең жоғары ұқсас сөздерді қолмен таңдалған синонимдер тізімімен салыстыру арқылы бағаланды.

АЛҒЫС

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің IRN AP 19577833 жобасының грантымен орындалды және қаржыландырылды.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

[1] Баранов А.А., Маслова О.И., Намазова-Баранова Л.С. // Онтогенез нейрокогнитивного развития детей и подростков // Вестник РАН. 2012, №(8), с.26–33.

[2] В Казахстане детей с речевыми проблемами становится все больше [Электронды ресурс]. – Қол жеткізу режимі: <https://astanatv.kz/ru/news/51629/>

[3] Дербисалова Г. С. Мультимедийные презентации как средство активизации познавательной деятельности младших школьников с нарушением интеллекта //Наука и перспективы. – 2019. – №. 3. – С. 52-58.

[4] Васильева В. С. Основные положения теории релевиной в современных научных исследованиях // Студенческий электронный журнал СтПИЖ. – 2021. – №. 2-2. – С. 88-90.

[5] Kumar R., Malik S., Gupta, S. (2019). Development of Hindi thesaurus using Word2Vec. Proceedings of the 3rd International Conference on Information Management and Machine Intelligence, 308-317. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1801-4_28

[6] Mavridis T., Giannakidou D., Koutsombogera M. (2020). A Greek thesaurus using Word2Vec: A tool for language therapy. International Journal of Computational Linguistics and Applications, 11(2), 21-31. <https://doi.org/10.1515/ijcla-2020-0002>

[7] Serikbolova A., Shukeyeva M. (2019). Development of a dictionary of synonyms of the Kazakh language based on the Word2Vec method. Proceedings of the 2019 IEEE 9th International Conference on Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin), 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICCE-Berlin.2019.8868532>

[8] Serikbolova A., Shukeyeva M. (2020). Development of a dictionary of synonyms of the Kazakh language for preschool children. Journal of Physics: Conference Series, 1605, 022031. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1605/2/022031>

[9] Serikbolova A., Shukeyeva M. (2021). Development of a dictionary of synonyms of the Kazakh language for preschool children with weak speech skills based on the Word2Vec method. Eurasian Journal of Educational Research, 21(91), 59-76. <https://doi.org/10.14689/ejer.2021.91.4>

[10] https://docs.google.com/spreadsheets/d/1PRw3i84thg8nDA9-NJ7u7bmSIUCkNLct/edit?usp=share_link&oid=114468051330637207467&rtpof=true&sd=true

[11] Что такое Android? Вот все, что вам нужно знать [Электронды ресурс]. – Қол жеткізу режимі: <https://www.androidauthority.com/what-is-android-328076/>

[12] Владимир Р. Облачная СУБД Firebase. – Кишинев: Tehnica UTM. – 2019. – С. 299.

[13] Zhang Q., Liu K. (2019). Research on English Synonym Dictionary Based on Word2Vec. Advances in Social Science, Education and Humanities Research, 326, 305-308. doi: 10.2991/icaahss-19.2019.68

[14] Wu Y., Chen Q., Li W. (2018). Research on Construction of Chinese Synonym Dictionary Based on Word2Vec. Journal of Physics: Conference Series, 1057, 042009. doi: 10.1088/1742-6596/1057/4/042009

[15] Zhang Y., Cui Y., Liu X., Zhang J., Sun X. (2021). Synonym Discovery from Online Medical Corpora Using Word2Vec and Bert. Applied Sciences, 11(6), 2816. doi: 10.3390/app11062816

[16] Dehkharghani R. T., Vahdatnia M., Heydari P. (2020). Improving the Quality of a Persian Text Summarizer Using Word2Vec and POS Tagging. Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences. doi:10.1016/j.jksuci.2020.05.003

[17] Tomas Mikolov, Kai Chen, Greg Corrado, Jeffrey Dean *Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space*. <https://arxiv.org/pdf/1301.3781.pdf>

[18] Ganesa K. (2020, July 30). *Word2Vec: A comparison between CBOW, skipgram, skipgrams*. <https://kavita-ganesan.com/comparison-between-cbow-skipgram-subword/#.ZBHnBOxBwl8>

[19] *Архитектура Android-приложений. Часть III – основные части приложения [Электронды ресурс]*. <https://habr.com/ru/post/141201/>

[20] *Принципы переноса ранее разработанных приложений на смартфон [Электронды ресурс]*. Қол жеткізу режимі: https://intuit.ru/studies-/professional_skill_improvements /12785/ courses/1219/lecture/22490

References

[1] Baranov A.A., Maslova O.I., Namazova-Baranova L.S. (2012) *Ontogenez neyrokognitivnogo razvitiya detey i podrostkov [Ontogenesis of neurocognitive development of children and adolescents]*. *Vestnik Rossijskoj akademii medicinskih nauk*. №8, 26-33. (In Russian)

[2] *V Kazakhstane detey s rechevymi problemami stanovitsya vse bol'she [In Kazakhstan, there are more and more children with speech problems] [Elektrondy resource]*. About the emergency mode: <https://astanatv.kz/ru/news/51629/>. (In Russian)

[3] Derbisalova G. S. (2019) *Mul'timediynye prezentatsii kak sredstvo aktivizatsii poznavatel'noy deyatel'nosti mladshikh shkol'nikov s narusheniyem intellekta [Multimedia presentations as a means of enhancing the cognitive activity of primary schoolchildren with intellectual disabilities]*. *Nauka i perspektivy*. №3.52-58. (In Russian)

[4] Vasilyeva V. S. (2021) *Osnovnyye polozheniya teorii relevinoy tekhnologii v sovremennykh nauchnykh issledovaniyakh [Basic provisions of the Relevina theory in modern scientific research]*. *Studencheskiy elektronnyy zhurnal StrIZH*. № 2-2.88-90. (In Russian)

[5] Kumar R., Malik S., Gupta S. (2019). *Development of Hindi thesaurus using Word2Vec*. *Proceedings of the 3rd International Conference on Information Management and Machine Intelligence*, 308-317. doi: 10.1007/978-981-13-1801-4_28

[6] Mavridis, T., Giannakidou, D., & Koutsombogera, M. (2020). *A Greek thesaurus using Word2Vec: A tool for language therapy*. *International Journal of Computational Linguistics and Applications*, 11(2), 21-31. doi: 10.1515/ijcla-2020-0002

[7] Serikbolova, A., & Shukeyeva, M. (2019). *Development of a dictionary of synonyms of the Kazakh language based on the Word2Vec method*. *Proceedings of the 2019 IEEE 9th International Conference on Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin)*, 1-5. doi: 10.1109/ICCE-Berlin.2019.8868532

[8] Serikbolova A., Shukeyeva M. (2020). *Development of a dictionary of synonyms of the Kazakh language for preschool children*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1605, 022031. doi: 10.1088/1742-6596/1605/2/022031

[9] Serikbolova, A., Shukeyeva M. (2021). *Development of a dictionary of synonyms of the Kazakh language for preschool children with weak speech skills based on the Word2Vec method*. *Eurasian Journal of Educational Research*, 21(91), 59-76. doi: 10.14689/ejer.2021.91.4

[10] https://docs.google.com/spreadsheets/d/1PRw3i84thg8nDA9NJ7u7bmSIUCkNLct/edit?usp=share_link&ouid=114468051330637207467&rtopf=true&sd=true

[11] *Что такое Android? Вот все, что вам нужно знать [What is Android? Here's everything you need to know] [Electronds resource]*. How to choose the mode: <https://www.androidauthority.com/what-is-android-328076/>. (In Russian)

[12] Vladimir R. (2019) *Oblachnaya SUBD [Cloud DBMS Firebase]*. Chisinau: Tehnica UTM. 299. (In Russian)

[13] Zhang Q., Liu K. (2019). *Research on English Synonym Dictionary Based on Word2Vec*. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 326, 305-308. doi: 10.2991/icaahss-19.2019.68

[14] Wu Y., Chen Q., Li W. (2018). *Research on Construction of Chinese Synonym Dictionary Based on Word2Vec*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1057, 042009. doi: 10.1088/1742-6596/1057/4/042009

[15] Zhang Y., Cui Y., Liu X., Zhang J., Sun X. (2021). *Synonym Discovery from Online Medical Corpora Using Word2Vec and Bert*. *Applied Sciences*, 11(6), 2816. DOI: 10.3390/app11062816

[16] Dehkharghani R. T., Vahdatnia M., Heydari P. (2020). *Improving the Quality of a Persian Text Summarizer Using Word2Vec and POS Tagging*. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*. DOI: 10.1016/j.jksuci.2020.05.003

[17] Tomas Mikolov, Kai Chen, Greg Corrado, Jeffrey Dean *Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space*. <https://arxiv.org/pdf/1301.3781.pdf>

[18] Ganesan, K. (2020, July 30). *Word2Vec: A comparison between CBOW, skipgram, skipgrams*. <https://kavita-ganesan.com/comparison-between-cbow-skipgram-subword/#.ZBHnBOxBwI8>

[19] *Arkhitektura Android-prilozheniy. Chast' III – osnovnaya chast' prilozheniya* [Architecture of Android applications. Part III – main parts of the application] [Electronds resource]. About the emergency mode: <https://habr.com/ru/post/141201/> .(In Russian)

[20] *Printsipy perenosa raneye razrabotannykh prilozheniy na smartfon*. [Principles of transferring previously developed applications to a smartphone] [Elektrondy resource]. About the detailed regime: https://intuit.ru/studies-/professional_skill_improvements /12785/courses/1219/lecture/22490 .(In Russian)

ИНФОРМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ. БІЛІМ БЕРУДІ АҚПАРАТТАНДЫРУ
МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОРМАТИКИ. ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ
METHODS OF TEACHING COMPUTER SCIENCE. INFORMATIZATION OF EDUCATION

ГТАХР 14.35.01

10.51889/2959-5894.2024.86.2.023

Ж.Б. Бақытбекова^{1*}, Г.Б. Камалова¹

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан
^{*}e-mail: zhans_2807@mail.ru

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ОҚЫТУ БОЛАШАҚ ИНФОРМАТИКА МҰҒАЛІМДЕРІНІҢ ЦИФРЛЫҚ ҚҰЗЫРЕТТІЛІГІН ДАМУ ФАКТОРЫ РЕТІНДЕ

Аңдатпа

Зерттеу болашақ информатика пәні мұғалімдерінің цифрлық құзыреттілігін дамытуға білім беру ақпаратын визуализациялаудың заманауи технологияларын оқытудың әсерін талдауға бағытталған. Зерттеуде Қазақстан Республикасының стратегиялық бағдарламаларына негізделген білім беру үдерісінің цифрлық трансформациясы барысында болашақ мұғалімдерді даярлау жүйесіне инновациялық дидактикалық тәсілдер мен цифрлық технологияларды енгізудің маңыздылығы аталып өтілген. Зерттеу барысында 115 респондент қатысқан сауалнама деректерін саралай келе және болашақ мамандар тәжірибелі информатика пәні мұғалімдерінің өз білімдерін білім беру ақпаратын визуализациялау технологияларының әртүрлі аспектілері бойынша бағалауын салыстыра отырып, олардың цифрлық құзыреттілігіндегі айырмашылықтарды анықтайды және оқу үдерісіндегі мүмкіндіктері мен технологияларды тиімді пайдалануында олардың әлеуетін толық ашу үшін бұндай технологияларды пайдалану бойынша тәжірибе алмасу қажеттілігіне баса назар аудару керектігін ескертеді.

Түйін сөздер: цифрлық құзыреттілік, болашақ информатика пәні мұғалімдерінің цифрлық құзыреттілігі, оқу ақпаратын визуализациялау, визуализация технологияларын оқыту, білім берудегі АКТ, интерактивті оқыту, білім берудегі геймификация, педагогикалық инновация, цифрлық экономикаға бейімдеу.

Ж.Б. Бақытбекова¹, Г.Б. Камалова¹

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г.Алматы, Казахстан
ОБУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЯМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ ИНФОРМАТИКИ

Аннотация

Исследование посвящено анализу влияния обучения современным технологиям визуализации учебной информации на развитие цифровой компетентности будущих учителей информатики. В контексте цифровой трансформации образовательного процесса, акцентированного в стратегических программах Республики Казахстан, исследование подчеркивает значимость интеграции инновационных дидактических подходов и цифровых технологий в систему подготовки будущих учителей. Анализируя данные анкетирования 115 респондентов и сравнивая самооценку знаний будущих и практикующих учителей информатики по различным аспектам технологий визуализации учебной информации, исследование выявляет различия в их цифровой компетентности и подчеркивает необходимость практического взаимодействия с подобными технологиями для полного раскрытия их потенциала, понимания их возможностей и эффективного использования в учебном процессе.

Ключевые слова: цифровая компетентность, цифровая компетентность будущих учителей информатики, визуализация учебной информации, обучение технологиям визуализации, ИКТ в образовании, интерактивное обучение, геймификация в образовании, педагогическая инновация, адаптация к цифровой экономике.

Zh.B. Bakytbekova¹, G.B. Kamalova¹

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

TEACHING VISUALIZATION TECHNOLOGIES AS A FACTOR IN THE DEVELOPMENT OF DIGITAL COMPETENCE OF FUTURE COMPUTER SCIENCE TEACHERS

Abstract

The research is devoted to the analysis of the impact of teaching modern technologies of visualization of educational information on the development of digital competence of future computer science teachers. In the context of the digital transformation of the educational process, emphasized in the strategic programs of the Republic of Kazakhstan, the study emphasizes the importance of integrating innovative didactic approaches and digital technologies into the system of training future teachers. Analyzing the survey data of 115 respondents and comparing the self-assessment of knowledge of future and practicing computer science teachers on various aspects of educational information visualization technologies, the study reveals differences in their digital competence and emphasizes the need for practical interaction with such technologies to fully unlock their potential, understand their capabilities and effectively use them in the educational process.

Keywords: Digital competence, digital competence of future computer science teachers, visualization of educational information, teaching visualization technologies, ICT in education, interactive learning, gamification in education, pedagogical innovation, adaptation to the digital economy.

Негізгі ережелер

Digital Competence of Educators (DigCompEdu) атты мұғалімдердің цифрлық құзыреттілігінің Еуропалық үлгісіне сәйкес, маңызды құзыреттердің бірі – цифрлық білім беру ресурстары мен әртүрлі форматтағы цифрлық білім беру мазмұнын іріктеу және жасақтау салаларында. Білім беруді цифрландырудың заманауи жағдайында және цифрлық ұрпақты қызықтыратын білім беру мазмұнын ұсыну форматтарының ең тиімдісі – визуализация. Сондықтан заманауи цифрлық білім беру жүйесінде кәсіби-педагогикалық қызметтің табысты болуы үшін болашақ информатика пәні мұғалімдерінің цифрлық құзыреттіліктерін деңгейге сәйкес дамыту маңызды. Бүгінгі таңда қызмет етіп жатырған және болашақ информатика пәні мұғалімдері (115 респондент) арасында жүргізілген сауалнама нәтижелері білім беру ақпаратын визуализациялаудың заманауи технологиялары саласында өз білімін бағалауы бойынша айтарлықтай айырмашылықтарды анықтады. Информатика пәні бойынша сабақ беріп жүрген мұғалімдер осы пән бойынша болашақ мамандарға қарағанда визуализация технологияларының көпшілігін жоғары бағалайды. Бұл технологияларды қолданудың практикалық тәжірибесі олардың мүмкіндіктерін тереңірек түсінуге және бағалауға мүмкіндік беретінін көрсетуі мүмкін және болашақ мамандарды оқыту бағдарламаларына білім беру ақпаратын визуализациялаудың заманауи технологияларын енгізуді, оларды оқытуда тәжірибеге бағытталған тәсілдерді қолдануды нақтылайды.

Кіріспе

Цифрлық технологиялардың қарқынды дамуы, білім беруді цифрландыру және білім алушылардың цифрлық ұрпағы мұғалімдердің кәсіби іс-әрекетінің трансформациясын айқындайды, олардан заманауи цифрлық білім беру технологиялары саласында үздіксіз даярлығын және білім беру саласындағы қызметін табысты түрде жүзеге асыруы үшін, білім беру сапасын және білім алушылардың цифрлық сауаттылығын арттыру үшін цифрлық құзыреттілігін дамытуды талап етеді [1-7]. Қазіргі ғылыми әдебиеттерде мұғалімдердің цифрлық құзыреттілігі олардың АКТ құзыреттілігінің эволюциялық дамуының нәтижесі ретінде қарастырылады, ол мұғалімнің кәсіби стандартында қазіргі мұғалімнің ажырамас сипаттамасы ретінде белгіленген [8]. Оны дамыту мәселелері мемлекеттің де, ғылыми-

педагогикалық қауымдастықтың да, ұлттық білім беру жүйесінің дамуына жетекшілік ететін Еуропалық одақ институттарының да назарында [9-10]. 2017 жылдың соңында Еуропалық Одақтың Білім комитеті мұғалімдердің цифрлық құзыреттілік үлгісін (Digital Competence of Educators (DigCompEdu) әзірледі.

Мұғалімдердің цифрлық құзыреттілігінің еуропалық үлгісі DigCompEdu алты бағыт бойынша 22 құзыретті қамтиды [10]:

- цифрлық технологиялар арқылы білім беру процесінің барлық субъектілерінің (мұғалімдер, оқушылар, ата-аналар) кәсіби өзара әрекеттесуі;
- цифрлық ресурстар (түрлі форматтағы цифрлық білім беру ресурстары мен цифрлық білім беру мазмұнын таңдау, құру, өңдеу және жариялау);
- цифрлық технологияларды пайдалана отырып оқыту және оқу;
- цифрлық технологиялар арқылы оқытуды бақылау (бағалау және талдау, кері байланыс);
- цифрлық білім беру технологияларын пайдалана отырып оқытуды саралау мен даралауды қамтамасыз ету;
- оқушылардың цифрлық сауаттылығын дамыту.

Ұсынылған цифрлық құзыреттіліктер тізімі өте кең және цифрлық білім беру жүйесінде педагогикалық қызметтің барлық аспектілеріне әсер етеді. Осы құзыреттіліктерді меңгерген мұғалімдер заманауи мектептің цифрлық білім беру ортасында оқу-тәрбие процесін табысты жүзеге асыра алады деп болжануда [11-12].

Маңызды цифрлық құзыреттердің бірі – құрамына таңдау, құрастыру, модификация және цифрлық білім беру ресурстары мен әртүрлі форматтағы цифрлық білім беру мазмұнын жариялайтын «цифрлық ресурстар» саласындағы құзыреттіліктер болып табылады.

Цифрлық білім беру жүйесінің шарттары бойынша, заманауи білім беру үдерісінде орталық орынды білім беру ақпаратының визуализациясы мен дидактикалық көрнекіліктер принциптері, сонымен қатар білім беру мазмұнының интерактивтілігі алады. Көрнекілік пен визуализация оқу материалын қолжетімді және түсінікті етуге мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде оның игерілуі мен есте сақталуын жақсартады. Оларды білім беру мазмұнында пайдалану интерактивтілікпен қатар оқушылардың пәнге деген қызығушылығын арттырады және оқу үдерісіне белсенді қатысуға ынталандырады, бұл білім беру ортасын цифрландыру және оқытудың инновациялық үлгілерін енгізу жағдайында ерекше маңызды. Бұл үрдісте цифрлық білім беру бойынша заманауи білім беруде пайдаланылатын цифрлық ресурстарды әзірлеу барысында назар аудару қажет негізгі аспект – білім беру ақпаратын визуализациялау болып табылады. Бүгінгі күні осы мақсаттарға арналған көптеген құралдар мен онлайн қызметтер бар.

Заманауи визуализация технологиялары күрделі деректер мен түсініктерді көрнекі кескіндерге, диаграммаларға, анимацияларға және интерактивті үлгілерге түрлендіруге мүмкіндік береді. Оларды меңгеру, цифрлық білім беру мазмұнын әзірлеу үшін пайдалану мұғалімнің цифрлық құзыреттілігінің негізгі элементтері болып табылады. Бұл зерттеудің мақсаты – болашақ информатика мұғалімдерінің цифрлық құзыреттілігін тиімді дамыту үшін білім беру ақпаратын визуализациялаудың заманауи технологияларын тәжірибеге бағыттап оқыту қажеттілігін негіздеу. Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды: болашақ және тәжірибелі информатика мұғалімдеріне сауалнама жүргізу және олардың өзін-өзі бағалау нәтижелерін талдау негізінде білім беру ақпаратын визуализациялаудың заманауи технологияларын білу деңгейін анықтау, осындай технологиялардың дидактикалық мүмкіндіктері туралы білімдерін талдау, сонымен қатар білім беру ақпаратын визуализациялаудың заманауи технологиялары негізінде цифрлық білім беру мазмұнын әзірлеу барысында мұғалімдерде кездесетін қиындықтарды анықтау. Бұл білім берудің ақпараттық визуализациялық технологияларын оқытудың оқу үдерісіне және педагогикалық ұжымның кәсіби деңгейін арттыруға әсері туралы жан-жақты түсінік алуға мүмкіндік береді.

Зерттеу әдістері

Зерттеу үш кезеңде жүргізілді: теориялық, эксперименттік және аналитикалық. Олардың әрқайсысы үшін зерттеу әдістерін таңдау зерттеудің мақсаттары мен міндеттері негізінде анықталды. Бірінші кезеңде қарастырылатын тақырып бойынша әдебиеттерді зерделеу және талдау мұғалімнің цифрлық құзыреттілігінің құрылымдық компоненттерін және білім беру ақпаратын визуализациялау технологияларын оқыту кезінде олардың даму мүмкіндіктерін анықтауға мүмкіндік берді. Зерттеудің екінші кезеңінде студенттер мен тәжірибиелі информатика пән мұғалімдеріне жүргізілген сауалнама олардың заманауи визуализация технологияларын білу деңгейін, мұндай технологиялардың мүмкіндіктерін түсінуін және көрнекі білім беру мазмұнын әзірлеуде оларды пайдалану дағдыларын және осы сала бойынша олардың қажеттіліктерін анықтауға мүмкіндік берді. Сауалнамаға Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің «Информатика» және «Информатика-робототехника» мамандықтарының 1-4 курс студенттері мен Алматы қаласының бірқатар мектептерінің мұғалімдері қатысты. Қорытынды кезеңде зерттеу нәтижелерін талдау статистикалық әдістерді қолдану арқылы жүргізілді, бұл информатика мұғалімдерін оқу ақпаратын визуализациялаудың заманауи технологиялары саласында даярлауды жетілдіру қажеттілігі туралы қорытынды жасауға мүмкіндік берді.

Әдеби шолу

Заманымыздың ақпаратқа толы болуы – оқу материалын студенттерге ұсынбас бұрын, мұқият дайындауды талап етеді. Бұл тапсырмаларды ойдағыдай орындау үшін мұғалімде ақпаратты іздеу, талдау, өңдеу және сауатты ұсыну дағдылары болуы керек. Білім беру үдерісіне инновацияларды енгізуге қабілетті мұғалімдердің басты қасиеттерінің бірі – оқу ақпаратын визуализациялай білу. Оқу материалының визуализациясы дидактикалық құралдарды жетілдірудің маңызды саласы ретінде танылады. Мультимедиялық визуализацияның дидактикалық маңызы – оқытуда көрнекілік принципін жүзеге асыруда. Қазіргі уақытта білім беру ақпаратын визуализациялау міндеті сапалы, жаңа деңгейде шешілуі керек. Оқу материалын көркемдеп қана қоймай, оқушылардың ақыл-ойы мен танымдық белсенділігін арттыратын осындай дидактикалық көрнекі құралдарды пайдалану қажет.

Психологтардың зерттеулері бойынша қазіргі мектеп оқушыларының 85%-ы ақпараттың негізгі бөлігін көру арқылы қабылдайтын визуал оқушылар. Мектеп оқушыларының 9%-ы ақпаратты ең алдымен есту арқылы қабылдайтын аудиалдар. 5% - кинестетиктер, олар ақпаратты иіс, жанасу және қозғалыс сияқты сезімдер арқылы қабылдайды. Оқушылардың тек 1%-ы сандарға, белгілерге және логикалық дәлелдерге сүйене отырып, ақпаратты логикалық түсіну арқылы қабылдайтын дискретті оқушылар болып табылады. Бұл оқушылардың негізгі бөлігі оқу материалдарын көрнекі-бейнелі ойлаудың арқасында қабылдайтынын көрсетеді [13].

Дегенмен, барлық мұғалімдер визуализацияны қалай тиімді пайдалану керектігін біле бермейді. Теориялық немесе практикалық материалды визуализациялау әрекеттерінің көпшілігі мұғалімнің кәсіби сауатсыздығынан және адамның ақпаратты қабылдау заңдылықтарын дұрыс түсінбеуінен зардап шегеді. Мұғалімдерде ақпаратты визуализациялаудың сапасы және бұл үдерістегі дизайнның рөлі туралы жалпы түсінік жоқ. Нәтижесінде, оқу материалы қажетсіз ақпаратқа толы болады, бұрмаланады және түсінуге қиын. Мысалы, әртүрлі қажет емес кесіндер пайдаланылады немесе керісінше, тек бірыңғай мәтін. Педагогтар мен психологтар жүргізген зерттеулер бойынша, оқу материалын құрылымдық түрде ұсынғанда оқушылар жаңа ақпаратты жақсы меңгеретіні анықталған. Бұл білім алушыларға жаңа ұғымдар мен іс-әрекет әдістерінің жүйелерін оңай меңгеруге көмектеседі. Әртүрлі пәндік салалардағы білімнің табиғатындағы, ерекшеліктері мен қасиеттеріндегі елеулі айырмашылықтарды ескеретін көрнекі құрылымдаудың көптеген әдістері бар. Нейропсихологияның жетістіктеріне сәйкес, мидың әлеуеті интеллектуалдық қиындықтарды жеңу және заңдылықтарды орнату арқылы мағынаны табу негізінде жұмыс жасағанда оқыту тиімдірек болады екен [14].

Жалпы мағынада визуализация – ақпаратты бейнелер (фотосуреттер, диаграммалар, формулалар және т.б.) түрінде көрсету. Суреттерді визуализацияның қарапайым мысалдарының бірі деп санауға болады. Қазіргі қоғамда ақпараттық визуализация барған сайын маңызды рөл атқарады және көбінесе кәсіби саламен байланысты. Оның тиімділігі әсіресе метеорология, бизнес, маркетинг, білім беру, ғылыми зерттеулер және басқа да көптеген кәсіби салаларда айқын көрінеді. Олар 3D модельдерін, виртуалды және толықтырылған шындық (VR/AR) технологияларын және т.б. кеңінен пайдаланады. Осы зерттеу аясындағы ғылыми-әдістемелік әдебиеттерді талдау [15-16] ақпараттық визуализация – күрделі деректерді оңай қабылдауға мүмкіндік беретін, көрнекі формаға түрлендіру және құрылымдау процесі екенін анықтауға мүмкіндік берді. Яғни, әдеби талдау негізінде визуализациялау принциптері дәстүрлі «көрінекілік» ұғымына негізделгені анықталды.

Оқу материалын визуализациялаудың әртүрлі заманауи технологияларын қарастырайық.

1. Инфографика: күрделі ақпаратты көрнекі және жеңілдетілген түрде ұсыну үшін мәтін мен кескіндерді біріктіріп пайдалану.

2. Уақыт шкаласы (ағылшынша Timeline тілінен) – хронологиялық тізбекті көрсететін уақыт кезеңі. Бұл әдіс тарихи процестер, өмірбаян секілді ақпараттарды беруде және дизайн кезеңдерін бейнелеуде қолданылады. Осының арқасында оқушыда бұл процеске жүйелі көзқарас қалыптасады.

3. Менталды карталар: ұғымдар мен идеялар арасындағы байланыстарды көрсететін диаграмма түріндегі ақпараттың визуалды көрінісі.

4. Жазу: презентация немесе дәріс кезінде жылдам сызбалар мен жазбалар жасау әдісі.

5. 3D модельдеу: объектілердің үш өлшемді модельдерін құру әдісі, олардың құрылымы мен функцияларын визуализациялауға мүмкіндік береді.

6. Лайворк: суреттерді, белгілерді және көрсеткілерді пайдаланып көрнекі жазбалар жасау тәсілі.

7. Мультимедиялық презентациялар: материалды интерактивті және қызықты ету үшін слайдтар, анимациялар, бейнелер мен дыбыстарды қолданатын презентациялар.

8. Интерактивті плакат жаттығулары: оқушылардың оқу ақпаратымен әрекеттесуіне мүмкіндік беретін жаттығулар.

9. Бейне сабақтар мен анимациялар: сөзбен түсіндіру қиын процестер мен құбылыстарды көрсету үшін бейнелер мен анимацияларды пайдалану.

10. Виртуалды және толықтырылған шындық: иммерсивті тәжірибе жасауға және күрделі ұғымдар мен құбылыстарды көрнекі түрде көрсетуге арналған VR және AR технологиялары.

Оқу процесінде ақпараттық визуализацияны қолданудың артықшылықтары төмендегідей:

- үлкен көлемдегі ақпаратты тез қабылдауға мүмкіндік береді;

- кестелер, диаграммалар және түрлі схемалар ақпаратты талдауға және ұйымдастыруға

ықпал етеді;

- ескі және жаңа мәліметтерді біріктіреді, оларды жүйелейді;

- оқушылардың ой-өрісін, қиялын дамытады;

- оқу материалдарына эстетикалық тартымдылық береді;

- оқу материалын қарапайым және қолжетімді формада көрсетуді қамтамасыз етеді.

Заманауи білім беру жүйесі мұғалімдерден оқу материалын визуализациялауға назар аудара отырып, білім беруде жаңа тәсілдерді қолдануды талап етеді. Мұғалімдер қазіргі таңда ақпараттың көптігін және оқушылардың басым көпшілігі визуалдар екенін ескере отырып, оқушылардың оқу материалын меңгеруін арттыру үшін көрнекі құралдарды тиімді пайдалана білуі маңызды [13]. Көрнекі құралдар материалды көркемдеп қана қоймай, сонымен қатар ойлауды ынталандырып, құрылымдық қабылдауға ықпал етіп, білімдегі олқылықтарды анықтауға көмектесуі маңызды. Нәтижесінде визуализацияны тиімді түрде пайдалану – қазіргі білім беру үрдісін тиімдірек және қызықты ететін негізгі аспектіге айналуға. Мұғалім үшін визуализацияның негізгі құралы – оқушылардың оқу материалдарын меңгеру деңгейін және қызығушылығын арттыратын жаңа технологиялар мен интерактивті оқу материалдарын

дайындайтын бағдарламаларды пайдалануды қамтитын «цифрлық құзыреттілік». Дегенмен, көптеген мұғалімдер ақпаратты қабылдау принциптерін түсіну мен қажетті дағдылардың болмауынан визуализацияны жүзеге асыруда қиындықтарға тап болады. Бұл олардың «цифрлық ресурстар» саласындағы цифрлық құзыреттілігін дамытудың жеткіліксіз деңгейін және оларды заманауи цифрлық білім беру технологияларына, оның ішінде білім беру ақпаратын визуализациялау технологияларына оқыту қажеттілігін көрсетеді.

Зерттеу нәтижелері

Қазіргі әлемде визуализация технологиялары ақпаратты ұсынуда, күрделі деректер мен түсініктерді түсінуді жеңілдетуде басты рөл атқарады. Бұл технологиялар инфографика, менталды карта, 3D модельдеу, мультимедиялық презентациялар, виртуалды және толықтырылған шындық (VR/AR) сияқты құралдар мен әдістердің кең ауқымын қамтиды [16-17]. Ақпараттың үнемі көбейіп отыруы және оны әртүрлі мақсатты аудиторияларға бейімдеу қажеттілігі ақпараттық визуализация технологиялары саласындағы білім мен дағдылар ерекше маңызды екенін көрсетеді. Осы зерттеу аясында 115 респонденттің (болашақ және тәжірибелі информатика мұғалімдері) арасында Likert шкаласы (жалпы рейтинг әдісі) арқылы тәжірибеде заманауи визуализация технологияларын пайдалануға дайындығы мен дағдыларын анықтау мақсатында білім беру ақпаратын визуализациялаудың заманауи технологияларын меңгеру бойынша өзін-өзі дамыту аясында сауалнама жүргізілді [18]. Сауалнама цифрлық құзыреттілік деңгейі туралы объективті ақпарат алуға және белгілі бір технологиялық тұжырымдамалар мен визуализация әдістерін білуге бағытталған ашық сұрақтардан тұратын мәліметтерді жинаудың жүйелі әдісі болды. Жабық сұрақтар білім деңгейін он балдық шкала бойынша бағалауды қамтыды, мұнда 1 – ең төменгі білімді, 10 – максималды білімді білдіреді. Зерттеуге 115 респондент қатысты, оның ішінде 74 (64,3%) әйел және 41 (35,7%) ер адам. Қатысушылардың жасы 17 мен 57 жас аралығында, медианасы 20 жас, бұл жас аудиторияны көрсетеді. Орташа жас шамамен 24,7 жасты құрайды, стандартты ауытқу 10,33 жасты құрайды, бұл қатысушылардың басым бөлігі жастар екенін көрсетеді. Респонденттердің басым бөлігі 29 жасқа толмағандар. 1-кестеде студенттер мен информатика пәні мұғалімдері арасындағы оқу ақпаратын визуализациялау технологиялары, олардың дидактикалық әлеуеті мен өз тәжірибесінде пайдалануға дайындығы туралы білімнің орташа бағасының салыстырылуы келтірілген.

Кесте 1. Білім беру ақпаратын визуализациялаудың заманауи технологиялары туралы хабардар болу деңгейін және оларды оқытуда пайдалануға дайындығын талдау

Визуализациялау технологиялары	Орташа рейтингі	
	Болашақ информатика пәні мұғалімдерінің	Тәжірибелі информатика пәні мұғалімдерінің
Мультимедиялық презентациялар	6.02	8.68
Видео және анимациялар	5.11	7.29
Инфографика	6.23	6.82
Ментальды карталар (Mind maps)	5.34	6.21
Таймлайн (от англ. Timeline)	4.59	4.46
Лайнворк	4.25	4.43
Скрайбинг	4.93	4.79
Интерактивті плакат	5.07	5.36
Интерактивті жаттығулар	4.76	7.32
3D-модельдеу	5.03	4.46
Виртуалды шындық (VR)	5.55	6.07
Толықтырылған шындық (AR)	5.34	6.21

Орташа бағаларды салыстырмалы талдау оқушылар (N=87) мен мұғалімдер (N=28) арасында білім бойынша өзін-өзі бағалауда айтарлықтай айырмашылық бар деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Информатика мұғалімдері жүйелі түрде өз білімдерін оқушылардан жоғары бағалайды. Олар кескіндеу технологиясының барлық аспектілері бойынша ең жоғары орташа ұпайларды көрсетеді (2-сурет). Әсіресе, мультимедиялық презентациялар санаттары бойынша орташа балл 8,68 және бейне және анимация технологиялары бойынша 7,29 балл алған жоғары ұпайларды атап өтуге болады. Сәйкесінше, салыстырмалы түрде инфографика және менталды картасы да 6,23 және 6,82 көрсеткішімен жоғары балл алды. Уақыт шкаласы мен желілік жұмысқа қатысты бөлімдерде минималды айырмашылық байқалады, бұл респонденттердің екі тобының да осы аспектілерді түсіну деңгейінің ұқсастығын көрсетуі мүмкін (1-2-сурет).



Сурет 1. Болашақ информатика мұғалімдерінің оқу ақпаратын визуализациялау технологиялары туралы білімнің орташа бағасы

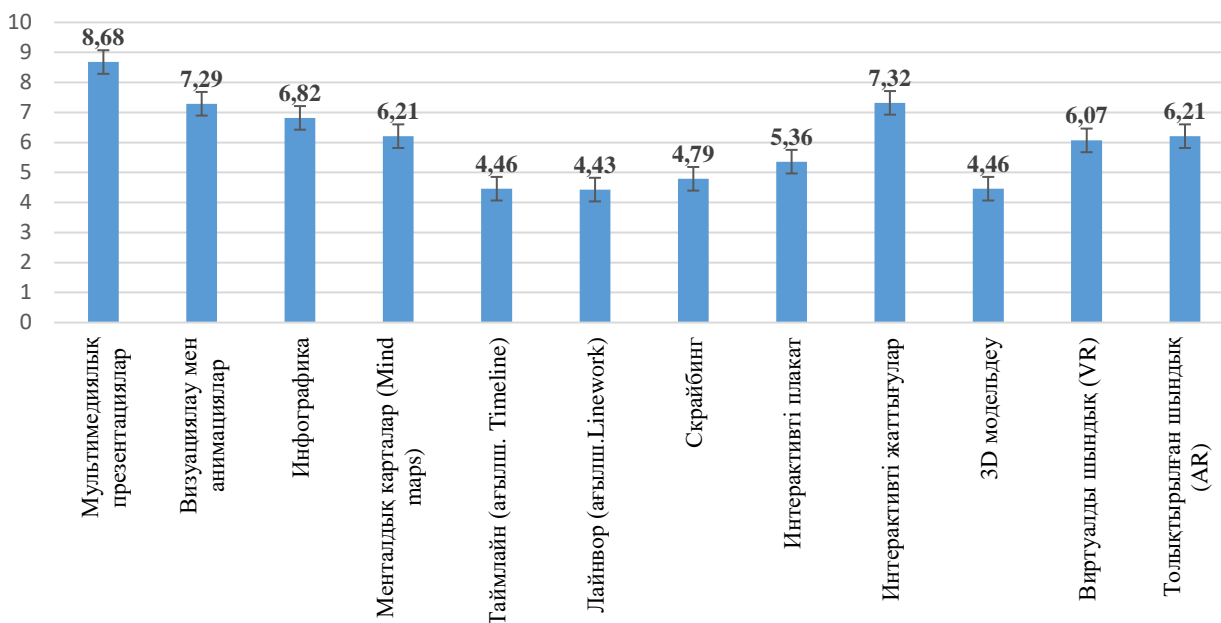
Тәжірибелі информатика пәні мұғалімдерінен кейінгі екінші ең жоғары орташа көрсеткіштерді көрсеткен төртінші курс студенттері виртуалды шындық (VR) санаттары бойынша– 6,17 және толықтырылған шындық (AR) – 6,08 секілді жоғары ұпайларға ие. Бірінші, екінші және үшінші курстар төртінші курс студенттері мен информатика мұғалімдерімен салыстырғанда төмен орташа көрсеткіштерді көрсетті, бірақ визуализация технологияларының әртүрлі аспектілері бойынша айтарлықтай білім көрсетуде.

Тәжірибелі мұғалімдердің барлығы бірауыздан білім беру ақпаратын заманауи визуализация технологиялары негізінде визуализациялау оқытуды оқушылар үшін тиімдірек, тартымды және қызықты етеді деген пікірде. Ал, технологияның қарқынды дамуына байланысты мұндай визуализация технологияларды оқыту іс-әрекетінде тиімді пайдалану үшін осы салада қосымша оқыту мен әдістемелік қолдаудың өзектілігін атап өтеді.

Екінші гистограмманың сұрыптамасы бойынша, «Болашақ информатика пәні мұғалімдерінің орташа рейтингі» мен «Тәжірибелі информатика мұғалімдерінің орташа рейтингін» салыстыра отырып, цифрлық визуализация технологиялары бойынша екі топ арасындағы бірнеше тенденциялар мен сәйкессіздіктер көрініс тапқанын байқаймыз.

Гистограммада көрініп тұрғандай, жалпы тәжірибелі информатика мұғалімдері визуализация технологияларының көпшілігін даярлық мұғалімдеріне қарағанда жоғары бағалайды. Бұл – технологияны практикалық тәжірибеде қолдану, оның мүмкіндіктерін тереңірек түсінуге және бағалауға мүмкіндік беретінін көрсетеді.

Тәжірибесі бар информатика мұғалімдерінің орташа бағасы



Сурет 2. Тәжірибесі бар информатика мұғалімдерінің оқу ақпаратын визуализациялау технологиялары туралы білімнің орташа бағасы

Әсіресе «Интерактивті жаттығулар» технологиясын бағалауда айырмашылық байқалады, мұнда тәжірибелі мұғалімдер болашақ мұғалімдерге қарағанда айтарлықтай жоғары баға береді. Бұл тәжірибелі мұғалімдердің осы технологияны оқыту тәжірибесінде қолдануда оң нәтижелерге қол жеткізгенін көрсетуі мүмкін. Скрайбинг және интерактивті плакат сияқты технологиялар екі топ арасындағы ұпайлар бойынша ең аз айырмашылықты көрсетеді, бұл олардың аталған технологиялардың мүмкіндіктері туралы хабардар болуын және оларды іс жүзінде қолдануға дайындығын анықтайды.

Дискуссия

Жалпы тенденция тәжірибелі мұғалімдердің оқыту тәжірибесі әртүрлі білім берудегі визуализация технологияларын қабылдауға және бағалауға оң әсер ететінін көрсетеді. Тәжірибелі мұғалімдер технологияны жоғарырақ бағалауға бейім, бұл олардың оқыту үрдісіне технологияны сәтті кіріктіруіне және оны пайдаланудың оң тәжірибесіне байланысты болуы мүмкін. Болашақ информатика пәні мұғалімдеріне білім беру барысында олардың әлеуетін толық көру үшін осы технологиялармен көбірек жұмыс жасауы қажет болуы мүмкін. Кейбір технологиялар бойынша бағалаудың ұқсастығы олардың тәжірибе деңгейіне қарамастан қазіргі білім берудегі маңыздылығын ортақ түсінуді көрсетеді. Болашақ педагогтар аталған технологиялардың құндылығын толық сезінуі және оларды келешек педагогикалық іс-әрекетіне тиімді енгізуі үшін аталған технологиялар бойынша тәжірибе жинақтау өте маңызды. Сауалнама нәтижелері білім беру ақпаратын визуализациялаудың заманауи технологиялары саласындағы оқытудың ағымдағы деңгейін талдауға және осы салада жетілдіру немесе қосымша оқытудың әлеуетті бағыттарын анықтау үшін пайдалануға бағытталған.

Қорытынды

Бұл зерттеу білім беру ақпаратын визуализациялаудың заманауи технологиялары мәселелерін болашақ информатика мұғалімдеріне арналған оқыту бағдарламаларына біріктіру қажеттілігін ғана емес, сонымен қатар болашақ информатика мұғалімдерін білім беру ақпаратын визуализациялаудың заманауи технологиялары бойынша тәжірибеге бағытталған

оқытудың маңыздылығын, теориялық білімнің де, оларды нақты жағдайда пайдаланудағы практикалық дағдылардың да болашақ информатика мұғалімдерінің цифрлық құзыреттілігін дамытуға тікелей әсер ететінін көрсетеді. Осыған байланысты оқу ақпаратын визуализациялаудың заманауи технологиялары болашақ информатика мұғалімдерін даярлау бағдарламаларында басым орындардың бірін алуы керек. Оларды оқыту мұғалімнің цифрлық құзыреттілігін дамыту факторларының бірі болып табылады.

Сонымен қатар, білім беруді цифрландырудың заманауи қарқынды дамуы барысында білім беруді тиімді ұйымдастыру үшін мұғалімнің цифрлық құзыреттілігін дамытудың маңыздылығын, сондай-ақ цифрлық технологиялардың қарқынды дамуын ескере отырып, бұл сала төңірегінде педагогтардың үздіксіз білім алу және біліктілігін арттыру жүйесін құру орынды.

Пайдаланған дереккөздер тізімі

[1] Игнатъев В.П., Иванова А.С., Иванова М.Д. (2020) ИКТ- компетентность педагога как основа цифровой грамотности обучающихся // *Современные проблемы науки и образования*. 2020. №2. -С.56. <http://doi.org/10.17513/spno.29709>.

[2] Usart Rodríguez M., Lázaro Cantabrana J.L., Gisbert Cervera M. Validation of a tool for self-evaluating teacher digital competence. *Education XXI*.2021. -24(1). -С.353-373. <http://doi.org/10.5944/educXXI.27080>.

[3] İlknur Reisoğlu, Ayça Çebi How can the digital competences of pre-service teachers be developed? Examining a case study through the lens of DigComp and DigCompEdu. *Computers & Education*, Volume 156, 2020, 103940, <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103940>.

[4] Yu Zhao, Ana María Pinto Llorente, María Cruz Sánchez Gómez Digital competence in higher education research: A systematic literature review. *Computers & Education*, Volume 168, 2021, 104212. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104212>.

[5] Maria Svensson, Roberto Baelo Teacher Students' Perceptions of their Digital Competence. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 180, 2015. – Pages 1527-1534. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.02.302>.

[6] Шекербекова Ш.Т., Бақытбекоева Ж.Б. Цифрлық құзыреттілік информатика мұғалімінің кәсіби дағдыларының бірі ретінде. // *Вестник КазНПУ имени Абая, Серия «Физико-математические науки»*. – 2023. – №4(84). – С. 321–331. <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2023.84.4.032>

[7] Бороненко Т.А., Кайсина А.В., Пальчикова И.Н., Федоркевич Е.В., Федотова В.С. Теоретические основы построения концептуальной модели понятия «цифровая грамотность»: монография. – СПб.: ЛГУ им. А.С. Пушкина. 2021. С. 230

[8] Профессиональный стандарт "Педагог". Утвержден приказом и.о. Министра просвещения Республики Казахстан от 15 декабря 2022 года, № 500 <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2200031149>

[9] Концепция развития дошкольного, среднего, технического и профессионального образования Республики Казахстан на 2023-2029 годы, постановление Правительства РК от 28 марта 2023года, № 249. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000249> (дата обращения: 15. 02.2024)

[10] European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu. Европейский союз. – 2017. <https://skillsproof.kz/restful/v1/domain/registry/documents/539135/>

[11] Kullaslahti J., Ruhalahti S., Brauer S. Professional development of digital competences: standardised frameworks supporting evolving digital badging practices. *J. Sib. Fed. Univ. Humanit. soc. sci.* 2019.-12(2). - С.175-186.

[12] Васильева А.А. «Цифровые компетенции педагога в свете современной системы образования». 2019. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42574694> (дата обращения: 19.04.2024).

[13] Буза А.Г. Психологические особенности восприятия учебной информации. VI Международная студенческая научная конференция «Студенческий научный форум-2014» <https://scienceforum.ru/2014/article/2014007295>

[14] Бабаева В.В. Реализация инновационных технологий в процессе подготовки будущих преподавателей профессионального образования. *Молодой ученый*. 2012. №8. С.306-308. <https://moluch.ru/archive/43/5169/>

[15] Шорина Т.В. Педагогическая технология визуализации учебной информации в высшей школе: дис. ... канд. пед. наук. Казань. 2017. С.181.

[16] Бидайбеков Е.Ы., Гриникун А.В., Шекербекова Ш.Т., Ревшенова М.И., Жабаяев Е.Х. Білім беруде толықтырылған виртуалдылық технологиясын іске асыру мүмкіндіктері// Вестник КазНПУ имени Абая, Серия «Физико-математические науки». 2022. Том 79 №3. С.271-277. <https://doi.org/10.51889/9461.2022.42.27.031>.

[17] Смолоник Г.Н., Сафонова Л.А. Современные технологии визуализации учебной информации. Материалы LX межвузовской научно-методической конференции «Качество высшего и среднего профессионального образования в условиях перехода на федеральные государственные образовательные стандарты нового поколения». 2019. С. 195-199

[18] Дубина И.Н. Математико-статистические методы в эмпирических социально-экономических исследованиях: учеб. пособие. - М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М. 2010. С.416.

References

[1] Ignatev V.P., Ivanova A.S., Ivanova M.D. (2020) ИКТ- компетентност педагога как основа цифровой грамотности обучающихся [ICT competence of a teacher as the basis for digital literacy of students]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia*. №2,56. DOI: <http://doi.org/10.17513/spno.29709>. (In Russian)

[2] Usart Rodríguez M., Lázaro Cantabrana J.L., Gisbert Cervera M. (2021) Validation of a tool for self-evaluating teacher digital competence. *Education XXI*. Vol. 24, No 1. 353–373. DOI: <http://doi.org/10.5944/educXXI.27080>.

[3] İlknur Reisoğlu, Ayça Çebi (2020) How can the digital competences of pre-service teachers be developed? Examining a case study through the lens of DigComp and DigCompEdu. *Computers & Education*, Volume 156, 103940. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103940>.

[4] Yu Zhao, Ana María Pinto Llorente, María Cruz Sánchez Gómez (2021) Digital competence in higher education research: A systematic literature review. *Computers & Education*, Volume 168, 104212. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104212>.

[5] Maria Svensson, Roberto Baelo (2015) Teacher Students' Perceptions of their Digital Competence. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, Volume 180, 1527-1534. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.02.302>.

[6] Shekerbekova Sh.T., Bakytbekova Zh.B.(2023) Цифрлық қузыреттілік информатика мұғалімінің кәсіби дағдыларының бірі ретінде [Digital competence as one of the professional skills of computer science teacher]. *КазҰПУ хабаршысы, «Физика және математика» сериясы. №4(84), 321–331. (In Kazakh) DOI: <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2023.84.4.032>*.

[7] Boronenko T.A., Kaisina A.V., Palchikova I.N., Fedorkevich E.V., Fedotova V.S. (2021) Теоретические основы построения концептуальной модели понятия «цифровая грамотность» [Theoretical foundations for constructing a conceptual model of the concept of “digital literacy”]. монография. СПб.: ЛГҮ им. А.С. Пышкына, 230. (In Russian)

[8] Professionalnyi standart "Pedagog". Ыткерден приказом і.о. Министра просвещения Республики Казахстан от 15 декабря 2022 года [Professional standard "Teacher". Approved by acting order Minister of Education of the Republic of Kazakhstan dated December 15, 2022]. № 500. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2200031149> (In Russian)

[9] Kontseptsia razvitiia doshkolnogo, srednego, tehniçeskogo i professionalnogo obrazovaniia Respubliki Kazahstan na 2023-2029 gody [Concept for the development of preschool, secondary, technical and vocational education of the Republic of Kazakhstan for 2023-2029], postanovlenie Pravitelstva RK ot 28 marta 2023g. № 249 – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000249> (data obraeniia: 15. 02.2024) (In Russian)

[10] European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu.(2017) Evropeisku soıyız. <https://skillsproof.kz/restful/v1/domain/registry/documents/539135/>

[11] Kullaslahti J., Ruhalahti S., Brauer S. (2019) Professional development of digital competences: standardised frameworks supporting evolving digital badging practices. *J. Sib. Fed. Univ. Humanit. soc. sci.*12(2). 175-186.

[12] Vasileva A.A. (2019) «Tsifrovye kompetentsu pedagoga v svete sovremennoi sistemy obrazovaniia» [“Digital competencies of a teacher in the light of the modern education system”]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42574694> (data obraeniia:19.04.2024). (In Russian)

[13] Бýза.А.Г. (2014) *Psihofiziologicheskie osobennosti vospruiatua ýchebnoi informatsiu* [Psychophysiological features of perception of educational information]. VI Mejdýnarodnaia stýdencheskaia naýchnaia konferentsua «Stýdenchesku naýchnyi forým. 2014» <https://scienceforum.ru/2014/article/2014007295> (In Russian)

[14] Babaeva V.V. (2012) *Realizatsua innovatsionnyh tehnologu v protsesse podgotovki býdyih prepodavatelei professionalnogo obrazovanua* [Implementation of innovative technologies in the process of training future vocational education teachers.]. *Molodoi ýchenyi. №8.306-308.* <https://moluch.ru/archive/43/5169/> (In Russian)

[15] Shorina T.V. (2017) *Pedagogicheskua tehnologua vizýalizatsiu ýchebnoi informatsiu v vysshei shkole* [Pedagogical technology for visualizing educational information in higher education]. *dis. ... kand. ped. naýk. Kazan. 181.* (In Russian)

16. Bidajbekov E.Y., Grinshkun A.V., Shekerbekova Sh.T., Revshenova M.I., Zhabaev E.H. (2022) *Bilim berude tolyқтырылған virtualdyлық tekhnologiyasyn iske asyru mymkindikteri* [Possibilities of implementation of augmented virtuality technology in education.]. *KazҰПУ habarshysy, «Fizika zhane matematika» serijasy. №3(79), 271-277. DOI: <https://doi.org/10.51889/9461.2022.42.27.031>.* (In Kazakh)

[17] Smolovik G.N., Safonova L.A. (2019) *Sovremennye tehnologu vizýalizatsiu ýchebnoi informatsiu.* [Modern technologies for visualizing educational information]. *Materialy LX mejvýzovskoi naýchno-metodicheskoi konferentsu «Kachestvo vysshego i srednego professionalnogo obrazovanua v ýsloviuah perehoda na federalnye gosýdarstvennye obrazovatelnye standarty novogo pokolenua». 195-199.* (In Russian)

[18] Dubina I.N. (2010) *Matematiko-statisticheskie metody v empiricheskikh social'no-ekonomicheskikh issledovaniyah* [Mathematical and statistical methods in empirical socio-economic research]. *ucheb. posobie. – M.: Finansy i statistika; INFRA-M. 416.* (In Russian)

M.S. Bekbolat^{1*}, K.M. Berkimbayev¹, H.İ. Bülbül²

¹Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan

²Gazi University, Ankara, Turkey

*e-mail: marzhan.bekbolat@alumni.nu.edu.kz

SOFT SKILLS DEVELOPMENT IN INFORMATION TECHNOLOGY EDUCATION: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Abstract

The integration of soft skills into information technology (IT) education has become increasingly important to bridge the gap between academic preparation and industry expectations. This systematic literature review examines the current landscape of soft skills development in IT education, focusing on key competencies such as communication, self-motivation, teamwork, result-oriented attitude, problem-solving, and interpersonal skills. A total of 37 relevant articles were identified through comprehensive searches of the Scopus and ACM databases, with 22 articles from Scopus and 15 from ACM meeting the inclusion criteria. The selected articles were analyzed to determine the extent to which they addressed the development of soft skills and their impact on employability among IT specialists. The findings indicate a strong emphasis on communication skills, self-motivation, teamwork, and problem-solving skills followed closely. Result-oriented attitude and interpersonal skills were also considered important. Overall, the results suggest a growing recognition of the importance of soft skills in IT education. However, there is a need for further research to establish clear frameworks and methodologies for integrating these skills into curricula effectively. This study contributes to the ongoing discourse on soft skills development in IT education and provides insights for educators, policymakers, and industry stakeholders seeking to enhance the employability of IT graduates.

Keywords: soft skills, information technology, employability, higher education, industry needs, skills gap.

М.С. Бекболат¹, К.М. Беркимбаев¹, Х.И. Булбул²

¹Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави,
г.Туркестан, Казахстан

²Университет Гази, г.Анкара, Турция

РАЗВИТИЕ МЯГКИХ НАВЫКОВ В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Аннотация

Интеграция мягких навыков в образование в области информационных технологий (ИТ) становится все более важной для преодоления разрыва между академической подготовкой и ожиданиями отрасли. В этом систематическом обзоре литературы рассматривается текущая ситуация в области развития мягких навыков в ИТ-образовании, уделяя особое внимание таким ключевым компетенциям, как коммуникация, самомотивация, работа в команде, ориентированность на результат, решение проблем и навыки межличностного общения. В результате всестороннего поиска в базах данных Scopus и ACM было выявлено в общей сложности 37 соответствующих статей, при этом 22 статьи из Scopus и 15 статей из ACM соответствовали критериям включения. Отобранные статьи были проанализированы, чтобы определить, в какой степени они посвящены развитию мягких навыков и их влиянию на возможности трудоустройства среди ИТ-специалистов. Результаты показывают, что большое внимание уделяется коммуникативным навыкам, самомотивации, командной работе и навыкам решения проблем. Ориентация на результат и навыки межличностного общения также считались важными. В целом, результаты свидетельствуют о растущем признании важности мягких навыков в ИТ-образовании. Однако существует необходимость в дальнейших исследованиях для создания четких рамок и методологий для эффективной интеграции этих навыков в учебные программы. Это исследование вносит вклад в продолжающуюся дискуссию о развитии мягких навыков в ИТ-образовании и дает ценную информацию преподавателям, политикам и заинтересованным сторонам отрасли, стремящимся повысить возможности трудоустройства выпускников ИТ-специалистов.

Ключевые слова: мягкие навыки, информационные технологии, возможности трудоустройства, высшее образование, потребности отрасли, дефицит навыков.

М.С. Бекболат¹, К.М. Беркімбаев¹, Х.И.Булбул²

Қожа Ахмет Яссауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік Университеті, Түркістан қ., Қазақстан

²Гази Университеті, Анкара қ., Түркия

АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ БІЛІМ БЕРУ ҮДЕРІСІНДЕ ИКЕМДІ DAҒДЫЛАРДЫ ДАМУ: ЖҮЙЕЛІ ӘДЕБИЕТТЕРГЕ ШОЛУ

Аңдатпа

Ақпараттық технологиялар (IT) саласына икемді дағдыларды интеграциялау академиялық дайындық пен салалық күтулер арасындағы алшақтықты жою үшін маңыздырақ бола бастады. Бұл жүйелі әдебиеттік шолу коммуникация, өзін-өзі ынталандыру, топтық жұмыс, нәтижеге бағдарлану, проблемаларды шешу және тұлға аралық дағдылар сияқты негізгі құзыреттерге назар аудара отырып, IT-білім берудегі икемді дағдыларды дамытудың қазіргі көрінісін зерттейді. Scopus және ACM дерекқорларын кешенді іздеу нәтижесінде барлығы 37 сәйкес мақала анықталды, Scopus-тан 22 мақала және ACM-ден 15 мақала қосу критерийлеріне сәйкес келді. Таңдалған мақалалар IT мамандарының икемді дағдыларын дамыту және олардың жұмысқа қабілеттілікке әсер ету дәрежесін анықтау үшін талданды. Нәтижелер қарым-қатынас дағдыларына, өзін-өзі ынталандыруға, топта жұмыс істеуге және проблемаларды шешу дағдыларына қатты назар аударылғанын көрсетеді. Нәтижеге бағытталған көзқарас пен тұлғааралық дағдылар да маңызды деп саналды. Жалпы алғанда, нәтижелер IT-білім берудегі икемді дағдылардың маңыздылығын мойындаудың артып келе жатқанын көрсетеді. Дегенмен, осы дағдыларды оқу бағдарламаларына тиімді енгізудің нақты негіздері мен әдістемелерін құру үшін қосымша зерттеулер қажет. Бұл зерттеу IT білім берудегі икемді дағдыларды дамыту бойынша жалғасып жатқан дискурсқа үлес қосады және IT түлектерінің жұмысқа қабілеттілігін арттыруға ұмтылатын мұғалімдерге, саясаткерлерге және салалық мүдделі тараптарға түсінік береді.

Түйін сөздер: икемді дағдылар, ақпараттық технологиялар, жұмысқа қабілеттілік, жоғары білім, салалық қажеттіліктер, дағдылардағы айырмашылық.

Main provisions

The main provisions of the study illuminate the crucial intersection between higher education in information technology (IT) and the evolving demands of the industry. It underscores the necessity for academic institutions to adapt their curricula to bridge the gap between what companies require and what students are taught. This adaptation is imperative due to significant shifts in the technology-related job market, driven by rapid technological advancements. The research highlights a fundamental misalignment between the skills imparted by higher education institutions and those sought after by IT companies. It reveals a prevailing deficiency in soft skills among novice ICT professionals, emphasizing the need for a holistic approach to education that goes beyond technical knowledge. The study underscores the importance of personal development goals, including the cultivation of social and emotional skills, alongside technical proficiency.

Additionally, the findings emphasize the critical role of collaboration between academic institutions and industry stakeholders. By fostering partnerships and engaging in dialogue, universities can gain valuable insights into industry needs and tailor their programs accordingly. This collaborative approach is essential for addressing the skills gap and ensuring the employability of IT graduates in a rapidly changing job market. Furthermore, the study sheds light on the emerging importance of non-cognitive competencies, often referred to as soft skills, in the IT sector. These skills, such as communication, creativity, and critical thinking, are increasingly valued by employers alongside technical expertise. As such, there is a growing imperative for higher education institutions to integrate the development of these skills into their curricula to better prepare students for the demands of the modern workforce. In conclusion, the study underscores the transformative role of higher education in shaping the future of the IT workforce. By prioritizing the development of both technical and soft skills, academic institutions can empower students to thrive in a dynamic and competitive industry landscape while contributing to societal and economic growth.

Introduction

The growing emphasis on soft skills in the field of Information Technology (IT) highlights a pivotal shift in higher education and professional sectors toward more holistic competency frameworks. As the demand for soft skills has escalated, so too has the scrutiny on higher education institutions (HEIs) by employers who believe graduates are not sufficiently prepared with these crucial capabilities. In [1] researchers articulate this dynamic by exploring the differing perceptions between students and employers regarding the importance and acquisition of soft skills, indicating a significant gap in expectations and reality.

Innovative educational strategies such as cooperative learning have been developed to address these needs. The implementation of group projects in IT courses at Georgia Southern University demonstrates an active learning approach aimed at enhancing both deep learning and soft skills, such as teamwork and communication, which are crucial for success in the IT sector [2]. However, while these methods promote soft skills training, their effectiveness in real-world scenarios remains difficult to assess, particularly in terms of equitable contribution and actual skill application outside the classroom.

Despite the acknowledged importance of soft skills, there is a dearth of empirical models linking these skills directly to IT project success. In [3] authors underscore this gap, revealing a lack of comprehensive models that delineate the causal relationship between soft skills and project outcomes in IT, even though such skills are crucial for managing the complexities of modern IT.

This study aims to address the gap in the literature by investigating the integration of soft skills into IT curricula. Specifically, the research focuses on identifying which soft skills are deemed essential for IT specialists and examining the educational strategies and pedagogical theories that support the development of these skills in IT education settings.

The primary purpose of this systematic literature review is to synthesize existing research on the role of soft skills in IT education and professional practice. By consolidating findings from studies published in major academic databases, the review seeks to highlight effective strategies for embedding soft skills within IT curricula and to discuss the implications of these strategies for enhancing employability and job performance among IT professionals.

The study was guided by several hypotheses:

H1: Soft skills are positively associated with job performance and employability among IT specialists.

H2: Educational interventions that incorporate soft skills development into IT curricula improve student outcomes and preparedness for the workforce.

These hypotheses aim to explore the transformative potential of integrating soft skills into IT education and to provide a foundation for recommendations on curriculum enhancements. Through this review, we seek to provide educational leaders and policymakers with evidence-based guidance on fostering a workforce well-equipped to meet the challenges of the modern IT landscape.

Research methodology

This systematic literature review aims to identify the essential soft skills relevant to IT specialists by reviewing existing literature and citing relevant studies and theories related to soft skills development in education and the IT sector. The Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) method was employed to ensure a structured and transparent approach to this review.

Based on a comprehensive review of available databases, Scopus and ACM were chosen for this study. Scopus was selected over the Web of Science (WoS) due to its broader coverage in Natural Sciences and Engineering, as established by Philippe Mongeon and Adèle Paul-Hus in their comparative analysis of journal coverage [4]. This study also noted a 63% overlap between Scopus and WoS, justifying the choice to use only one of these databases to avoid redundancy. Meanwhile, the overlap between ACM and Scopus was deemed low, making ACM a valuable additional source

for accessing literature specific to computing and IT. This selection strategy ensures coverage of high-indexed and good journals, important for a comprehensive review of the topic.

The search was conducted using the string: "soft skills" AND ("IT specialists" OR "information technology" OR education) AND ("development" OR "employability" OR "integration"). This search aimed to capture a broad spectrum of articles discussing the development, relevance, and educational theories of soft skills specifically tailored for IT professionals.

The search criteria used for retrieving relevant articles from the Scopus and ACM databases are summarized in Table 1. This table outlines the database names, search keywords, date ranges, and language filters employed in the search process.

Table 1. Summary of Search Criteria for Scopus and ACM Databases

Scopus	ACM
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Field of Study: Computer Science, Social Sciences, and Engineering.</i> - <i>Document Type: Review papers and research articles.</i> - <i>Time Frame: From 2010 to April 2024, based on the relevance and contemporary significance of the literature.</i> - <i>Language: Articles published in English.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Document Type: Research articles.</i> - <i>Time Frame: Articles published from 2010 onwards, following the same rationale as for Scopus to ensure the relevance of the data.</i>

The initial screening was based on titles and abstracts using pre-defined questions aligned with the study's hypotheses. This was followed by a full-text review to ensure the articles adequately addressed the research questions and hypotheses.

Screening Questions

Hypothesis 1: Soft skills are positively associated with job performance and employability among IT specialists.

- Question 1: Does the article investigate the impact of soft skills on job performance or employability in the IT sector?

- Question 2: Are specific soft skills linked to positive outcomes in professional IT settings within the article?

Hypothesis 2: Educational interventions that incorporate soft skills development into IT curricula improve student outcomes and preparedness for the workforce.

- Question 1: Does the article evaluate or discuss educational programs or interventions aimed at developing soft skills within IT education?

- Question 2: What are the reported effects of these interventions on student outcomes or workforce preparedness?

General Screening Questions

- Question 1: Is the article a research study, literature review, or theoretical analysis that directly relates to soft skills in the IT sector?

- Question 2: Does the study provide empirical data or theoretical insights that can inform the development, integration, or impact of soft skills in IT professions?

Data extraction focused on identifying information relevant to the hypotheses, including types of soft skills discussed, the context of their application, methodologies used for teaching these skills, and the outcomes related to IT professional practice. A standardized form was used to extract data, which included study design, population, interventions, outcomes, and conclusions.

The quality of each selected article was assessed using established criteria to ensure reliability and validity of the findings. This included evaluating the clarity of data presentation, the appropriateness of the methodologies used, and the strength of the evidence provided.

The findings from the selected articles were synthesized qualitatively. Themes were identified based on the frequency and significance of findings related to the hypotheses. The synthesis aimed to provide a comprehensive understanding of the role of soft skills in IT education and their impact on employability and job performance.

This methodology ensures a thorough and systematic review of the literature, providing a robust foundation for understanding the current landscape of soft skills in the IT sector and their critical role in shaping the future of IT education and professional practice.

Results of the study

The systematic search conducted in the Scopus and ACM databases yielded a substantial number of articles relevant to the integration of soft skills in IT education. The search in Scopus resulted in 921 matches, with publications dating back as far as 1985. However, for the purpose of maintaining a focus on contemporary practices and theories, only articles published from 2010 onwards were considered, narrowing down the selection to 886 articles. Of these, 814 were published in English and were included in the further screening process.

In ACM, the first relevant article appeared in 2007, with a total of 971 matches found by the search. Consistent with the Scopus approach, only articles published after 2010 were included, resulting in 904 matches that were considered for detailed review. After rigorous screening based on title and abstract relevance, 64 papers from Scopus and 57 from ACM were identified as suitable for further review. Following a comprehensive full-text review, this number was further narrowed down to 22 papers from Scopus and 15 from ACM, which precisely addressed the integration of soft skills into IT curricula and their impact on employability. Table 2 displays the distribution of papers that adequately answered the screening questions, highlighting a robust focus on the development of soft skills and their impact on job performance and employability among IT specialists.

Table 2. Response to Screening Questions by Included Papers

<i>Paper Title</i>	<i>Discusses Soft Skills Development? (Y/N)</i>	<i>Focuses on IT Specialists? (Y/N) (P-partially)</i>	<i>Addresses Impact on Job Performance? (Y/N)</i>
<i>Soft skills to enhance graduate employability: comparing students and employers' perceptions</i>	Y	P	Y
<i>Enhancing individual employability: the perspective of engineering graduates</i>	Y	Y	Y
<i>Bringing the Human Factor to Software Engineering</i>	Y	Y	Y
<i>Enhancing employability in engineering and management students through soft skills</i>	Y	Y	Y
<i>Perceptions of STEM alumni and students on developing 21st century skills through methods of teaching and learning</i>	Y	P	Y
<i>Operationalisation of soft skill attributes and determining the existing gap in novice ICT professionals</i>	Y	Y	Y
<i>Evaluating the demand for soft skills in software development</i>	Y	Y	Y
<i>Peer assessment of soft skills and hard skills</i>	Y	Y	Y
<i>Development of the employability skills assessment</i>	Y	Y	Y
<i>Cooperative learning and soft skills training in an IT course</i>	Y	Y	Y

<i>Emotions and interpersonal skills for IT professionals: An exploratory study</i>	Y	Y	Y
<i>Critical IT project management competencies: Aligning instructional outcomes with industry expectations</i>	Y	Y	Y
<i>Assessing alignment between information technology educational opportunities, professional requirements, and industry demands</i>	P	Y	Y
<i>Emotional maturity and employer satisfaction: A study on recruitment of information technology graduates</i>	P	Y	Y
<i>Assessing both the Know and Show in IT Service-Learning</i>	Y	Y	Y
<i>Balancing skills in the digital transformation era: The future of jobs and the role of higher education</i>	Y	P	Y
<i>Technical and non-technical education and the employability of engineering graduates: an Indian case study</i>	Y	Y	Y
<i>Using virtual interactions to enhance the teaching of communication skills to information technology students</i>	Y	Y	Y
<i>Information technology asymmetry and gaps between higher education institutions and industry</i>	Y	Y	Y
<i>A Project-Based Learning Approach for Enhancing Learning Skills and Motivation in Software Engineering</i>	Y	Y	Y
<i>Soft Skills: What do Computing Program Syllabi Reveal About Non-Technical Expectations of Undergraduate Students?</i>	Y	Y	Y
<i>Hackathons as a Pedagogical Strategy to Engage Students to Learn and to Adopt Software Engineering Practices</i>	Y	Y	Y
<i>Bridging the Digital Skills Gap* Are computing degree apprenticeships the answer?</i>	Y	Y	Y
<i>Faculty Views on the Goals of an Undergraduate CS Education and the Academia-Industry Gap</i>	Y	Y	Y
<i>Assessing Students' IT Professional Values in a Global Project Setting</i>	Y	Y	Y
<i>Assessing the Impact of the Distributed Software Development Course on the Careers of Young Software Engineers</i>	Y	Y	Y
<i>Knowledge, Skills, and Abilities for Specialized Curricula in Cyber Defense: Results from Interviews with Cyber Professionals</i>	Y	Y	Y
<i>Going soft on soft skills: A qualitative study of student supervisor perspectives of the impacts of COVID-19 on soft skill development in students</i>	Y	P	Y
<i>How COVID-19 impacted soft skills development: The views of software engineering students</i>	Y	Y	Y

The review of the selected papers emphasized the critical soft skills necessary for IT professionals, identified as:

- Communication: Essential for collaboration and clarity in IT projects.
- Self-Motivation (Initiativeness): Key in driving self-directed projects and continuous learning.
- Teamwork: Crucial for successful project execution in team-based environments.
- Result-Oriented: Important for aligning efforts with business outcomes.
- Problem Solving: Necessary for addressing and resolving technical issues.
- Interpersonal Skills: Required for effective client and team interactions.

These competencies were visualized in a bar chart (Figure 1), which provided a breakdown of the emphasis each skill received across the reviewed literature.

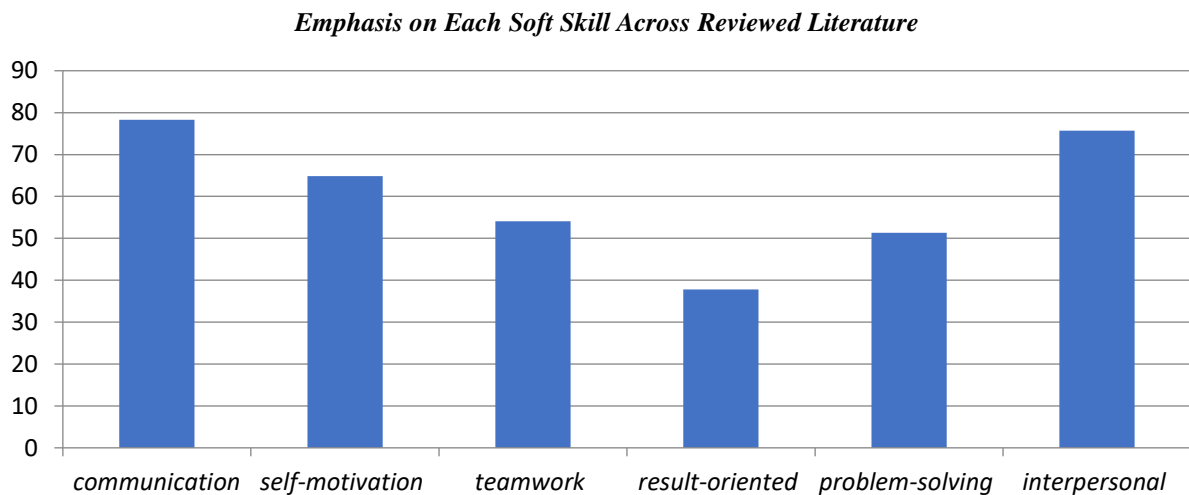


Figure 1. Emphasis on Each Soft Skill Across Reviewed Literature

The studied articles encompassed a wide range of topics related to the development and assessment of soft skills in Information Technology (IT) students. The following sections provide a summary of the key findings from these articles. In [1] authors highlighted a significant disparity between the soft skills that students believe are important for employability and those that employers prioritize. Employers often value communication, teamwork, and problem-solving skills more than technical expertise, which students may not fully appreciate. The perceptions of engineering graduates regarding the importance of soft skills in their careers were studied in [5]. The study found that while technical skills are essential, soft skills such as communication and adaptability are equally important for career success. The authors also indicated that employers generally think self-initiativeness and creativity is key soft skills in employability. Authors in [6] emphasized the importance of soft skills, such as communication and teamwork, in software engineering projects. The paper argued that while technical skills are necessary, they are not sufficient for project success, and soft skills play a crucial role in enhancing team dynamics and collaboration. The industry's demand for soft skills among software developers was addressed in [7]. The study found that employers increasingly value soft skills such as communication, creativity, and problem-solving, alongside technical skills, in software development roles. "Peer assessment of soft skills and hard skills" discussed the use of peer assessment to evaluate both soft and hard skills in IT students. The paper highlighted the benefits of peer assessment, such as promoting self-reflection and providing students with constructive feedback to improve their skills [8]. "Cooperative learning and soft skills training in an IT course" examined the effectiveness of cooperative learning strategies in developing soft skills in IT students. The study found that cooperative learning promotes collaboration, communication, and problem-solving skills, which are essential for success in the IT industry [2].

This finding aligns with the broader literature that underscores the value of active, collaborative learning approaches in enhancing students' ability to work effectively in team-based environments, a key requirement in IT professional practice [9]. The project-based learning (PBL) experience in a Spanish university's software engineering program showcased the effectiveness of student-centered approaches in bridging theory and practice. The PBL approach, implemented through small, diverse teams, allowed students to tackle real-world software development challenges, emphasizing skills like teamwork, leadership, and initiative. A key feature was role rotation and documentation transfer, enabling students to engage in various tasks and challenges throughout the project. The assessment included both teacher ratings and peer assessments, reflecting a holistic evaluation of student performance. The results demonstrated that PBL significantly enhanced students' skills, preparing them more effectively for future roles as software engineers.

Similarly, authors in [10] examined the non-technical skills expected of undergraduate computing students by analyzing 278 non-technical syllabi from 110 universities in 30 European countries. It found that while skills like teamwork and communication were commonly emphasized, others such as creativity and empathy were less frequently highlighted, suggesting a need for greater emphasis on a broader range of non-technical skills in computing programs.

Another work that studied educational interventions incorporating soft skills investigated the use of hackathons as a pedagogical strategy in undergraduate computing programs to motivate students to practice software development and enhance social skills through group work. It examined students' motivations for attending, perceptions of, and practices during hackathons. Findings indicated that students enjoyed the informal learning environment of hackathons for improving technical skills and networking, offering insights for educators seeking non-traditional teaching methods [11].

The study "Operationalisation of Soft Skill Attributes and Determining the Existing Gap in Novice ICT Professionals" examines the importance and gap in soft skills among new entrants in the information technology sector. It identifies 53 soft skill attributes and categorizes them into six significant factors: personal skill, leadership skill, interpersonal skill, team skill, enterprising skill, and organizational skill. The research highlights the importance of these skills in the ICT sector and the need for academic institutions to review their methods to enhance students' employability. The findings provide valuable insights for educators, employers, and policymakers to bridge the gap between industry expectations and students' preparedness in soft skills, ultimately contributing to the future success of novice ICT professionals [12].

The article "Balancing Skills in the Digital Transformation Era: The Future of Jobs and the Role of Higher Education" explores the evolving job market in the context of digital transformation and the role of higher education in preparing students for future careers. The study likely delves into the changing skillsets required by employers, emphasizing the need for a balance between technical and non-technical skills. It might discuss how higher education institutions can adapt their curricula to meet these demands, potentially highlighting the importance of soft skills, adaptability, and continuous learning. The article likely provides insights into how educators can better prepare students for the future job market, ensuring they have the skills needed to thrive in a rapidly evolving digital landscape [13].

In [14] and [15] investigated the impact of the COVID-19 pandemic on the development of soft skills among IT students. The studies found that the shift to online learning and remote work during the pandemic posed challenges for soft skills development, particularly in areas such as communication and teamwork.

This systematic literature review revealed a critical need for educational institutions to adapt their curricula to better meet the demands of the IT industry, particularly in the development of soft skills such as initiativeness and result-oriented problem-solving. The findings underscore the importance of innovative educational strategies that provide real-world experience and a closer alignment with industry expectations, ultimately enhancing the employability of IT graduates.

Discussion

The findings reveal a good alignment of current IT education with the soft skills demanded by the industry, particularly in communication and teamwork. However, the less frequent emphasis on result-oriented and self-motivation skills suggests potential areas for curriculum enhancement to meet evolving industry standards.

The review highlighted innovative educational strategies like project-based learning and cooperative learning as effective in embedding soft skills in IT curricula. These methods not only address technical skill development but also enhance essential interpersonal and problem-solving skills, preparing students for real-world challenges.

Challenges in updating curricula to keep pace with rapid technological advancements and industry demands were evident. However, the increasing incorporation of soft skills into IT education presents significant opportunities for enhancing graduate employability and meeting the nuanced needs of the IT sector.

Conclusion

The systematic literature review confirmed that while significant progress has been made in integrating soft skills into IT education, gaps still exist, particularly in developing initiative and result-oriented competencies. The strong emphasis on communication and teamwork across the studies underscores their importance in both educational settings and the workplace.

Future research should explore effective strategies for integrating less emphasized soft skills, such as result-orientation and initiative, into IT curricula. Additionally, longitudinal studies could be beneficial in assessing the long-term impacts of current educational strategies on IT graduate employability.

This review suggests that IT education programs should continue to evolve, incorporating a balanced mix of soft and technical skills to better prepare students for the complexities of the modern workplace. Close collaboration with industry professionals can help ensure that curricula remain relevant and responsive to the dynamic IT landscape.

These sections synthesize the hypothetical findings, discuss their implications, and conclude with recommendations for future research and educational practice, providing a comprehensive overview of the current state of soft skills integration in IT education.

Acknowledgment

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant AP14871966).

References

- [1] Succi, Chiara, and Magali Canovi. "Soft Skills to Enhance Graduate Employability: Comparing Students and Employers' Perceptions." *Studies in Higher Education* 45, no. 9 (2019): 1834–47. <https://doi.org/10.1080/03075079.2019.1585420>.
- [2] Zhang, Aima. "Cooperative Learning and Soft Skills Training in an IT Course." *Journal of Information Technology Education: Research* 11 (2012): 065–079. <https://doi.org/10.28945/1570>.
- [3] Iriarte, Carmen, and Sussy Bayona Orè. "Soft Skills for IT PROJECT SUCCESS: A Systematic Literature Review." *Advances in Intelligent Systems and Computing*, October 12, 2017, 147–58. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69341-5_14.
- [4] Mongeon, Philippe, and Adèle Paul-Hus. "The Journal Coverage of Web of Science and Scopus: A Comparative Analysis" *Scientometrics* 106, no. 1 (2015): 213–28. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5>.
- [5] Nilsson, Staffan. "Enhancing Individual Employability: The Perspective of Engineering Graduates." *Education + Training* 52, no. 6/7 (2010): 540–51. <https://doi.org/10.1108/00400911011068487>.
- [6] Fernando Capretz, Luiz. "Bringing the Human Factor to Software Engineering." *IEEE Software* 31, no. 2 (2014): 104–104. <https://doi.org/10.1109/ms.2014.30>.

- [7] Ahmed, Faheem, Luiz Fernando Capretz, and Piers Campbell. "Evaluating the Demand for Soft Skills in Software Development." *IT Professional* 14, no. 1 (2012): 44–49. <https://doi.org/10.1109/mitp.2012.7>.
- [8] Zhang, Aima. "Peer Assessment of Soft Skills and Hard Skills." *Journal of Information Technology Education: Research* 11 (2012): 155–68. <https://doi.org/10.28945/1634>.
- [9] Pérez, Beatriz, and Ángel L. Rubio. "A Project-Based Learning Approach for Enhancing Learning Skills and Motivation in Software Engineering." *Proceedings of the 51st ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, February 26, 2020. <https://doi.org/10.1145/3328778.3366891>.
- [10] Groeneveld, Wouter, Brett A. Becker, and Joost Vennekens. "Soft Skills: What Do Computing Program Syllabi Reveal about Non-Technical Expectations of Undergraduate Students?" *Proceedings of the 2020 ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*, 2020. <https://doi.org/10.1145/3341525.3387396>.
- [11] Steglich, Caio, Larissa Salerno, Thaís Fernandes, Sabrina Marczak, Alessandra Dutra, Ana Paula Bacelo, and Cássio Trindade. "Hackathons as a Pedagogical Strategy to Engage Students to Learn and to Adopt Software Engineering Practices." *Proceedings of the XXXIV Brazilian Symposium on Software Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1145/3422392.3422479>.
- [12] Singh Dubey, Richa, and Vijayshri Tiwari. "Operationalisation of Soft Skill Attributes and Determining the Existing Gap in Novice ICT Professionals." *International Journal of Information Management* 50 (February 2020): 375–86. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.09.006>.
- [13] Goulart, Vera G., Lara Bartocci Liboni, and Luciana Oranges Cezarino. "Balancing Skills in the Digital Transformation Era: The Future of Jobs and the Role of Higher Education." *Industry and Higher Education* 36, no. 2 (July 14, 2021): 118–27. <https://doi.org/10.1177/09504222211029796>.
- [14] Martin, Priya, Geoff Argus, Srinivas Kondalsamy-Chennakesavan, and Saravana Kumar. "Going Soft on Soft Skills." *The Journal of Practice Teaching and Learning* 20, no. 3 (2023). <https://doi.org/10.1921/jpts.v20i3.2109>.
- [15] Brennan, Attracta, Mary Dempsey, John McAvoy, Majella O’Dea, Sharon O’Leary, and Margaret Prendergast. "How Covid-19 Impacted Soft Skills Development: The Views of Software Engineering Students." *Cogent Education* 10, no. 1 (2023). <https://doi.org/10.1080/2331186x.2023.2171621>.

K.D. Berkinbayeva¹, Zh.T. Zhiyembayev¹, G.B. Issayeva^{2*}

¹Zhetysu University named after Ilyas Zhansugurov, Taldykorgan, Kazakhstan

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: guka_issaeva@mail.ru

INTEGRATING MOBILE TECHNOLOGY IN COMPUTER SCIENCE EDUCATION AT TERTIARY LEVEL

Abstract

This study addresses the imperative for contemporary computer science educators to integrate mobile technology into their pedagogy, with a particular focus on mobile gaming applications for educational content. Through a meticulous literature review and surveys, the research identifies crucial competencies required by computer science teachers, evaluates current assessment methods, and proposes integrative strategies for curricula. Key competencies such as coding, pedagogical integration of technology, and game design principles are spotlighted. The development of assessment tools aims to balance theoretical knowledge with practical application, ensuring educators' readiness for a digitally oriented classroom. Proposals for curriculum integration emphasize the harmonization of technical skills with effective teaching methods, aligning education with rapid technological advancements. The findings suggest the need for enhanced teacher training, practical application opportunities, and industry-academia collaboration. This research contributes a framework for updating computer science education, preparing educators to meet modern technological challenges and enrich student learning outcomes.

Keywords: computer science education, mobile technology integration, educational gaming applications, teacher competency assessment, curriculum development, pedagogical strategies, technology, industry-academia collaboration.

К.Д. Беркинбаева¹, Ж.Т. Жиембаев¹, Г.Б. Исаева^{2*}

¹Илияс Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Талдықорған, Қазақстан

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

УНИВЕРСИТЕТТЕРДЕ ИНФОРМАТИКА ПӘНІНДЕГІ ОҚЫТУДА МОБИЛЬДІ ҚОЛДАНБАЛАРДЫ ДАМУ ТУРАСЫНДА ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ИНТЕГРАЦИЯЛАУ

Аңдатпа

Бұл зерттеу жоғары оқу орындарында білім беру бағдарламасында мобильді ойын қосымшаларын даярлау дағдыларын үйретуге ерекше назар аудара отырып, қазіргі информатика мұғалімдері үшін мобильді қосымшаларды әзірлеуді педагогикаға біріктіру қажеттілігін зерттейді. Әдебиеттерді шолу және сауалнамалар арқылы зерттеу информатика мұғалімдеріне қажет сыни құзыреттерді анықтайды, ағымдағы бағалау тәжірибесін бағалайды және оқу бағдарламасына интеграциялық стратегияларды ұсынады. Бағдарламалау, технологияны педагогикаға біріктіру және ойынды құрастыру принциптері сияқты негізгі құзыреттерге баса назар аударылады. Бағалау құралдарын әзірлеу білім берушілердің цифрлық сыныпқа дайын болуын қамтамасыз ете отырып, теориялық білімді практикалық қолданумен теңестіруге бағытталған. Оқу бағдарламаларын біріктіру бойынша ұсыныстар техникалық дағдыларды тиімді оқыту әдістерімен үйлестіруге, білім беруді жылдам технологиялық жетістіктерге сәйкестендіруге баса назар аударады. Нәтижелер мұғалімдердің біліктілігін арттырудың, тәжірибе мүмкіндіктерінің және өндіріс пен академия арасындағы ынтымақтастықтың қажеттілігін көрсетеді. Бұл зерттеу информатика білімін дамытуға, мұғалімдерді бүгінгі технологиялық мәселелерді шешудегі дағдыларын арттыруға және оқушылардың оқу нәтижелерін жақсартуға негіз береді.

Түйін сөздер: информатика бойынша білім, мобильді технологиялар интеграциясы, білім беру ойын қосымшалары, мұғалімнің құзыреттілігін бағалау, оқу жоспарын әзірлеу, педагогикалық стратегиялар, технология, сала-академияның ынтымақтастығы.

К.Д. Беркинбаева¹, Ж.Т. Жиембаев¹, Г.Б. Исаева^{2*}

¹Жетысуский университет имени Ильяса Жансугирова, Талдыкорган, Казахстан

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗРАБОТКИ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ В ОБУЧЕНИИ ИНФОРМАТИКЕ В ВУЗАХ

Аннотация

В этом исследовании изучается интегрирование разработки мобильных приложений в педагогику для современных преподавателей информатики и дальнейшее, уделяя особое внимание мобильным игровым приложениям для образовательного контента, после чего делается вывод о необходимости такого подхода. Посредством обзора литературы и опросов исследование определяет важнейшие компетенции, необходимые учителям информатики, оценивает текущие методы оценки и предлагает интегративные стратегии для учебных программ. Особое внимание уделяется таким ключевым компетенциям, как программирование, интеграция технологий в педагогику и принципы игрового дизайна. Разработка инструментов оценки направлена на то, чтобы сбалансировать теоретические знания с практическим применением, обеспечивая готовность преподавателей к работе в цифровом классе. В предложениях по интеграции учебных программ делается упор на гармонизацию технических навыков с эффективными методами обучения, приведение образования в соответствие с быстрым технологическим прогрессом. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости улучшения подготовки учителей, возможностей практического применения и сотрудничества между промышленностью и научными кругами. Это исследование создает основу для обновления образования в области информатики, подготовки преподавателей к решению современных технологических задач и улучшения результатов обучения учащихся.

Ключевые слова: образование в области информатики, интеграция мобильных технологий, образовательные игровые приложения, оценка компетентности учителей, разработка учебных программ, педагогические стратегии, технологии, сотрудничество между промышленностью и научными кругами.

Main provisions

This research focuses on the essential need for modern computer science educators to incorporate mobile technology, specifically emphasizing educational applications through mobile gaming. Through thorough examination of literature and surveys, the study identifies essential skills needed by computer science instructors, assesses existing assessment techniques, and suggests methods to integrate these skills into curricula effectively. Important skills like programming, integrating technology into teaching, and understanding game design principles are emphasized.

This study provides a framework for modernizing computer science education, equipping educators to address current technological challenges and enhance student learning results.

Introduction

The rapid proliferation of mobile technology has necessitated a reevaluation of competencies for computer science educators, especially in leveraging mobile gaming applications for educational purposes. This study is structured around three core research objectives aimed at addressing the evolving demands of computer science education in the context of mobile technologies. The relevance of the problem at hand lies in the urgent need to equip educators with the skills and knowledge to effectively integrate these technologies into their teaching practices, ensuring that students are well-prepared for a technology-driven future. By focusing on the pedagogical potential of mobile gaming, this research seeks to bridge the gap between current educational practices and the innovative tools that are increasingly shaping the digital landscape.

Defining the objectives of the study involves three key components. The primary goal is to pinpoint the abilities required for educators, in computer science. It aims to highlight the expertise needed for developing and using mobile gaming applications. This involves not programming and game design concepts but incorporating teaching methods, with technological resources to enhance learning effectively.

The second goal involves creating assessment methods. This means developing accurate tools to assess the skills identified covering both the basis and real world use of mobile technology, in education. These tools are essential to help educators have the needed abilities to succeed in an environment enriched with technology.

The final objective revolves around proposals for curriculum integration. The study aims to provide recommendations on how to embed these competences in the training curricula of future computing teachers. It highlights the need to strike a balance between in-depth technical acumen and pedagogical finesse. The intended outcome is a curriculum that not only keeps pace with technological advances, but also promotes effective teaching methods. The culmination of this research will contribute to a comprehensive framework that empowers educators to effectively harness mobile technology, thereby enriching the computer science education paradigm and enhancing student learning experiences.

This review critically examines the evolving competencies required in computer science education, emphasizing the integration of mobile technologies and their pedagogical applications. It spans global research with a particular focus on how these developments pertain to Kazakhstan's educational context. The main problematic provisions have two different directions. Teachers in Kazakhstan may not be receiving the professional development and ongoing support needed to acquire and effectively utilize these developing competencies in their classrooms. Also there may not be enough emphasis on developing and implementing assessment tools to measure the effectiveness of mobile technology integration in computer science education in Kazakhstan.

In the realm of computer science education, a crucial aspect of pedagogical competency is striking a balance between theoretical knowledge and hands-on technological skills. Angeli and Giannakos [1] emphasize the importance of computational thinking as a fundamental competency for educators, particularly in the digital age. This skill extends beyond mere coding; it involves a problem-solving mindset that is essential for understanding and applying computer science principles.

However, a significant gap is evident in the literature regarding the integration of mobile technologies and gaming applications within computer science education. This gap is not just about the technical skills needed to use or develop these applications, but also about understanding their pedagogical implications. The rapid evolution of mobile technology and its widespread use in everyday life makes it a critical area for educational integration, yet current curricula seem to lag behind these technological advancements. This disconnect between educational practices and technological evolution suggests that educators might not be fully prepared to leverage these technologies effectively in their teaching practices.

To address this, there's a need for more research and curricular development focusing on the integration of mobile technologies in computer science education. This could include exploring the pedagogical potentials of mobile gaming applications, which offer an engaging and interactive way of learning complex computer science concepts. The current lack of emphasis on these areas in the literature points towards an urgent need for curriculum updates and professional development opportunities for educators, to equip them with the necessary skills and knowledge to navigate this rapidly changing technological landscape.

The integration of mobile technologies in education, particularly through mobile learning (m-Learning) and educational mobile gaming applications, represents a significant shift in teaching methodologies. Ally [2] highlights the evolving competency profiles required for educators in digital and online contexts, emphasizing the need for dynamic and adaptive skill sets. However, the potential of mobile gaming applications in enhancing learning outcomes remains underexplored in current literature, signaling a vital area for further research. This gap is especially noteworthy in the context of inquiry-based learning approaches and the individualization of educational experiences, where mobile technologies can play a transformative role. Studies like those by Onyema et al. [3] investigate the potentials of mobile technologies in improving inquiry-based learning methods, underscoring their effectiveness in engaging and interactive learning. Furthermore, the work of Tangirov and Sattarov [4] delves into the didactical possibilities of mobile applications, highlighting their role in

the individualization and informatization of education. This suggests a vast potential for mobile technologies to cater to diverse learning needs and styles, thereby enhancing the overall educational experience. The comparative analysis examines prominent game development platforms – Unity, Fusion, and Unreal Engine – in the context of their application in educational environments. This section highlights the unique attributes, advantages, and challenges of each platform, offering insights into their suitability for developing educational content (Table 1). The analysis serves as a guide for educators and developers in choosing the most appropriate platform to meet their specific educational application needs.

Table 1. Comparison of mobile programming languages

Unique attributes	Unity	Unreal Engine	Fusion
Accessibility	User-friendly interface, suitable for beginners and experienced developers alike [5].	Advanced features presenting a steeper learning curve, more suitable for experienced developers [6].	Intuitive interface and easy to use, making it suitable for beginners and those without traditional programming experience.
Cross-Platform Development	Supports a wide range of platforms including mobile, PC, consoles, and web browsers [5].	Also supports multiple platforms, often preferred for PC and console development due to high-end graphics capabilities [5].	Fusion offers capabilities for developing games across various platforms, though it's more renowned for its 2D game development strengths.
Graphics	Improved graphics capabilities but may fall short compared to Unreal Engine for highly realistic visuals [6].	Renowned for photorealistic graphics, advanced rendering techniques, and high-quality visual effects [6].	While Fusion is powerful for 2D game development, it may not match the advanced 3D graphical capabilities of engines like Unreal.
Scripting	Uses C# for scripting, offering a balance of simplicity and power [6].	Utilizes a hybrid approach of Blueprint visual scripting and C++ programming, allowing for complex game logic creation [5].	Fusion allows for game and application development without traditional programming, utilizing a more visual and event-based programming language.
Asset Store	Extensive library with a variety of assets, including models, textures, and scripts [5].	Vast library of high-quality assets, particularly advanced graphical assets and tools [5].	It has a community-driven extensive object repository with a variety of game-building assets and extensions.
Performance	Suitable for mobile and less demanding projects, may require optimization for high-end projects [6].	Better suited for visually demanding and high-performance games, requires more powerful hardware [5].	Fusion is well-optimized, especially under high object numbers, making it suitable for PC and iOS development.
VR/AR Support	Offers straight-forward VR/AR development, making it accessible for beginners [5].	Provides advanced features for high-end VR/AR experiences [5].	Specific VR/AR support capabilities are not as prominent as in Unity or Unreal Engine.
Community and Support	Large community with ample resources and tutorials, especially beneficial for beginners [5].	Supportive community with expertise in advanced topics and AAA game development [6].	Fusion boasts a supportive and passionate community, with forums and events fostering a community spirit among its users.

The comparative analysis of Unity, Fusion, and Unreal Engine reveals distinct differences in their approach to game development, particularly in educational settings. Unity and Unreal Engine emerge as strong contenders for high-end, graphically intensive projects, with Unity being more accessible to beginners and Unreal Engine offering advanced visual capabilities. Fusion, while less advanced in 3D graphics, provides an intuitive platform ideal for beginners and 2D game development.

Comparatively, other engines like Godot, CryEngine, Lumberyard, and Construct also offer unique features. Godot is known for being open-source and user-friendly, CryEngine for its advanced graphics, Lumberyard for its integration with Amazon's AWS services, and Construct for its simplicity and focus on non-programmers. Each of these alternatives presents its own set of advantages, catering to different needs and expertise levels in the realm of educational game development.

Existing methods and tools for assessing teacher competencies in technology often include a mix of self-assessment questionnaires, performance-based evaluations, and peer reviews. Self-assessment tools typically involve teachers reflecting on their own skills and knowledge in using technology in the classroom. Performance-based evaluations observe teachers in real or simulated teaching scenarios to assess their practical application of technology. Peer reviews involve colleagues or experts reviewing and providing feedback on a teacher's use of technology, offering a collaborative approach to competency assessment. These methods aim to gauge both theoretical understanding and practical application of educational technology.

The discussion on competency assessment methods in teacher technology education integrates insights from several key studies. Miranda et al. [7] suggest that with the advent of Education 4.0, assessment methods are increasingly leaning towards evaluating the application of technology in realistic settings, rather than just theoretical knowledge. This is echoed in the work of Bahodirovich and Romilovich [8], who advocate for project-based assessments that reflect real-world challenges teachers might face.

Ally [2] contributes to this discussion by highlighting the unique competencies required for digital and online teaching. The assessment of these competencies, therefore, demands tools that can evaluate not just technical skills but also the ability to engage and educate in a virtual environment. Fernández-Batanero et al. [9] further reinforce the need for continuous and systematic assessment methods that evolve alongside digital advancements in education.

These studies collectively underline a shift in assessment paradigms - from traditional, knowledge-based evaluations to dynamic, skill-and-application-oriented approaches. This shift reflects the broader changes in educational technology and underscores the necessity for assessment methods that are adaptable (Figure 1), practical, and aligned with the digital competencies required in contemporary education.

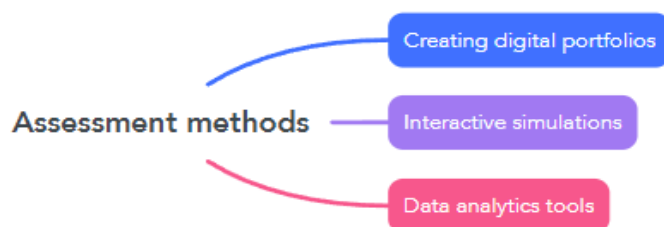


Figure 1. Assessment methods for evaluating teacher competencies

Emerging assessment methods for evaluating teacher competencies in technology include digital portfolios, interactive simulations, and data analytics tools. Digital portfolios allow teachers to showcase their integration of technology in teaching through a collection of digital artifacts. Interactive simulations provide an immersive environment where teachers can demonstrate their technological skills in a controlled, yet dynamic setting. Data analytics tools use data gathered from

various digital platforms to assess teachers' engagement with and effective use of educational technologies. These innovative approaches provide a more comprehensive and practical assessment of teachers' technological competencies. The assessment methods, such as digital portfolios, interactive simulations, and data analytics tools, not only evaluate teachers' skills but also reflect the kind of technological integration that modern curricula aim to achieve.

Understanding how teachers are assessed for their technological proficiency provides insight into what is valued and prioritized in educational technology, thus informing the curricular models and case studies explored in the context of integrating technology into computer science education. This connection highlights a reciprocal relationship where effective assessment drives curriculum development, and innovative curricular models, in turn, shape the focus of competency assessments.

In the realm of curriculum design, several models (Figure 2) have emerged that effectively integrate technology competencies, especially in computer science education. A prominent model is the TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) framework, which emphasizes the intersection of technology, pedagogy, and content knowledge. This model advocates for a holistic approach where educators are not only proficient in their subject matter but also skilled in pedagogical strategies enhanced by technology.

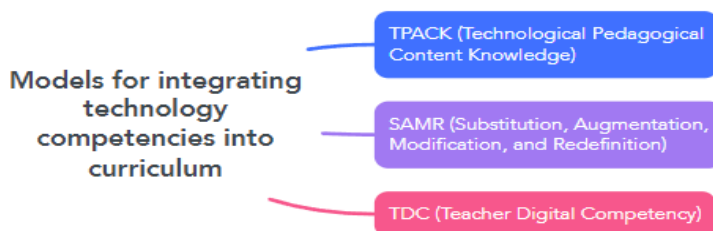


Figure 2. Models for integrating technology competencies into curriculum

Another significant model is the SAMR (Substitution, Augmentation, Modification, and Redefinition) model, which provides a method for moving through degrees of technology integration in teaching. The model challenges educators to progress from merely substituting traditional methods with technology (Substitution) to transforming learning experiences in ways that were previously inconceivable without technology (Redefinition).

Third framework, TDC (Teacher Digital Competency) framework, by Falloon [10] presents a comprehensive conceptual framework that expands the view of teacher digital competence. The TDC framework moves beyond traditional technical skills and literacy conceptualizations and advocates for a more holistic and broad-based understanding of the knowledge and skills needed in diverse and digitally-mediated environments. This framework is significant for its interdisciplinary nature, emphasizing the need for comprehensive digital capabilities in educational settings. It also offers practical suggestions for faculty on implementing this framework, underlining its applicability in contemporary education.

In computer science education, specifically, the incorporation of project-based learning (PBL) and flipped classroom models, supported by digital tools and resources, has shown significant promise. These approaches encourage active learning and hands-on experience with technology, crucial for developing practical skills in computer science.

The following cases showcase the successful integration of the programming into the curriculum.

-MIT's Introduction to Computer Science and Programming: This course, widely popular on platforms like edX, successfully integrates technology by using an online learning platform, enabling interactive learning experiences. It combines video lectures, interactive problem sets, and a community forum, thereby enhancing engagement and practical application of computer science principles.

-The Flipped Classroom Model in High Schools: A case study in a high school showed that flipping the classroom – where students engage with lecture content at home and work on problem-solving in class – significantly improved students' practical skills in computer science. The use of technology for accessing content outside the classroom and for collaborative projects inside the classroom proved effective.

Despite all the opportunities, there are distinctive challenges in integration technology, especially, creating mobile applications into the curriculum such as limited access to internet in some locations and teacher preparedness. The second is the central issue of the present article, and the object that the present article aims to investigate. Rural schools face challenges in integrating technology in computer science education due to limited access to high-speed internet and modern computing resources. This limited the effectiveness of technology-dependent curricular models.

Moreover, in some instances, despite having the technological tools, the lack of adequately trained teachers to integrate these tools into the computer science curriculum posed a significant challenge. This underscores the need for professional development focused on technological competencies. These curricular models and case studies demonstrate the varying degrees of success and challenges in integrating technology into computer science education, highlighting the importance of access, teacher preparedness, and innovative teaching strategies.

In conclusion, the review of literature on teacher competencies in technology, innovative assessment methods, and integration into curricula reveals several key findings.

There is a clear emphasis on developing comprehensive technological skills among educators, moving beyond basic digital literacy to encompass a more integrated, practical application of technology in pedagogy. Moreover, Innovative assessment methods, such as digital portfolios and interactive simulations, are increasingly recognized for their effectiveness in evaluating technological competencies. These methods offer a more holistic and authentic measure of teachers' abilities to integrate technology in educational settings.

Finally, models like TPACK and SAMR, along with project-based and flipped classroom approaches, are pivotal in embedding technology into curricula. Successful case studies highlight the transformative potential of these models in enhancing computer science education, while challenges point to issues like access and teacher preparedness.

Despite these insights, several gaps remain in the existing literature, which this research aims to address. There is a need for more longitudinal studies to understand the long-term effects of technology integration in education, particularly how it influences teaching practices and student outcomes over time. Much of the current research is centered on specific educational contexts or regions. More studies are needed to explore how technology integration and teacher competencies vary across different educational settings, including under-resourced or rural areas. Furthermore, while the importance of teacher competencies in technology is well-recognized, there is a gap in literature on effective teacher training and professional development models that specifically cater to these technological competencies. The majority of research focuses on technology integration in STEM education, particularly computer science. There is a gap in exploring how technology can be effectively integrated into non-STEM subjects. By addressing these gaps, the research aims to contribute a more comprehensive understanding of technology integration in education, offering insights that can inform policy, curriculum design, and teacher training programs.

Research methodology

The methodology of this study is designed to comprehensively evaluate the competencies required for computer science teachers in the context of mobile technologies. Initially, a literature review analyzed existing research on relevant competencies and educational platforms like Unity, Fusion, and Unreal Engine. This phase aims to consolidate theoretical frameworks and existing knowledge in the field. Subsequently, the study employed surveys and interviews to gather insights from a practicing computer science teachers and mobile application developers. The insights gained from two groups that allowed to understand the gaps between the industry demand and current

competencies of the teachers. This approach ensures a practical perspective on the competencies currently in use and those needed for future development.

This examination aims to identify gaps and areas for enhancement, particularly focusing on how mobile technology competencies are integrated into existing educational frameworks.

After analyzing the collected data, a two-pronged approach were adopted. Quantitative analysis processed statistical data from surveys to identify trends and commonalities. Complementing this, qualitative analysis was delved into the data obtained from interviews, aiming to interpret and understand the nuances and contextual applications of the competencies identified.

The expected outcomes of this research include the development of a detailed list of essential competencies for computer science teachers in the field of mobile technology. Additionally, the study aims to propose reliable and valid tools for the assessment of these competencies. Furthermore, actionable suggestions for integrating these competencies into computer science education curricula developed. The study, while comprehensive, acknowledges potential limitations. Rapid technological changes may quickly render some findings outdated. Additionally, the limited availability of experts and the subjective nature of some assessments could pose challenges to the comprehensiveness and objectivity of the study. These limitations carefully considered throughout the research process to ensure the validity and relevance of the findings.

Results of the study

In the findings section, an analysis of the survey responses from computer science teachers and mobile application developers reveals insightful trends and specific needs in the realm of integrating mobile technology into computer science education. In the beginning the insights gained from practicing computer science teachers will be illustrated. 30 practicing teachers were surveyed to reveal the following trends. Figure 3 shows the spectrum of confidence levels among computer science teachers in integrating mobile technologies.

THE SPECTRUM OF CONFIDENCE LEVELS AMONG COMPUTER SCIENCE TEACHERS IN INTEGRATING MOBILE TECHNOLOGIES

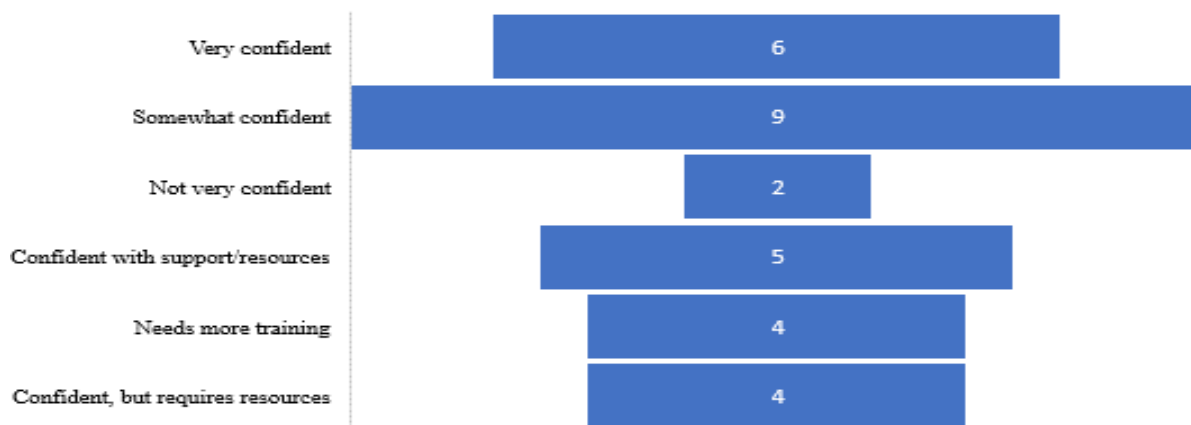


Figure 3. Confidence in Integrating Mobile Technologies

While some teachers expressed high confidence (6), a significant portion indicated a need for more training and resources. This implies that there is a significant room for improvement.

Moreover, to the question asking for challenges in using platforms like Unity, Fusion, Unreal Engine, teachers answered in the following manner (Figure 4).

Figure 4 highlights the challenges teachers face with platforms like Unity, Fusion, and Unreal Engine. Complex interfaces and lack of training were frequently mentioned, suggesting a disconnect between the teachers' current skills and the demands of these platforms.

COMPLICATIONS OF TEACHERS FACE WITH PLATFORMS LIKE UNITY, FUSION AND UNREAL ENGINE

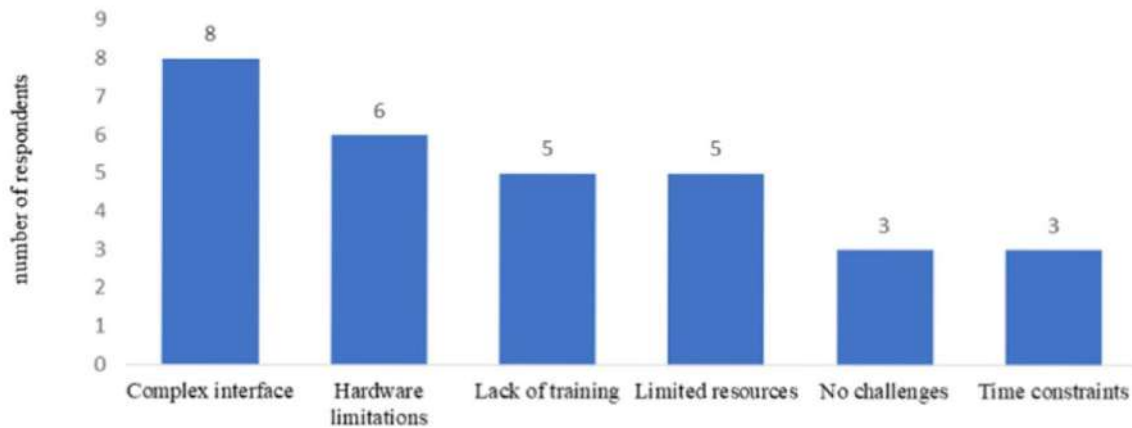


Figure 4. Challenges in Using Platforms like Unity, Fusion, Unreal Engine

Figure 5 illustrates the diverse range of curriculum integration examples provided by teachers, ranging from basic coding projects to advanced app design courses. This diversity indicates varied approaches to integrating technology into the curriculum, catering to the unique learning needs and interests of students across different levels of proficiency and engagement.

THE DIVERSE RANGE OF CURRICULUM INTEGRATION EXAMPLES PROVIDED BY TEACHERS

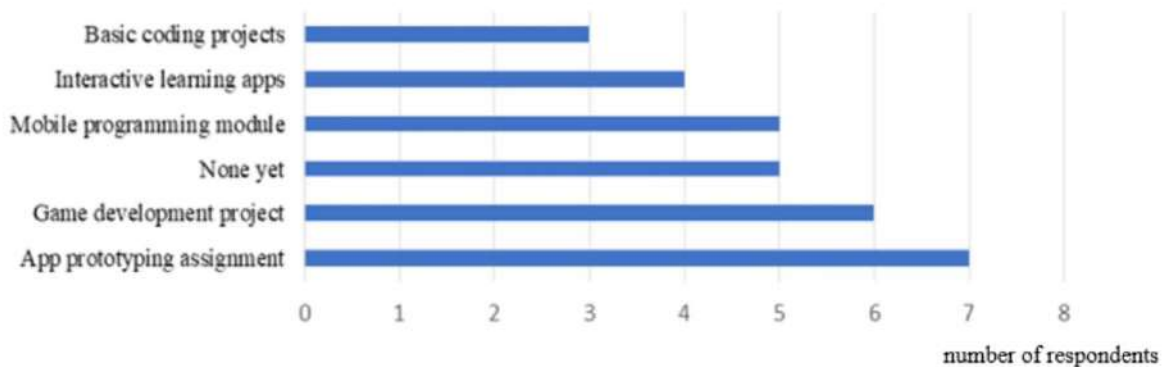


Figure 5. Examples of Mobile App Development in Curriculum

Finally, the fourth question of the survey, which aimed to identify the teacher perspective on which additional training or resources were needed, revealed that the most requested resource was hardware upgrades (7 responses), followed by advanced workshops (6 responses) and online courses (5 responses). Peer collaboration and more software licenses are equally needed (5 responses each), with in-depth training sessions being the least mentioned (3 responses). This table highlights the key areas where teachers seek additional support to effectively integrate mobile technology into their teaching. To sum up, this reveals the demand for additional training and resources, such as advanced workshops, online courses, and updated software tools. These needs highlight areas for improvement in current educational practices and resources.

The data from survey questions collectively point to a nuanced landscape in computer science education regarding mobile technology. The variance in confidence levels (Figure 3) suggests that while some teachers are adapting well to technological integration, others may feel left behind due to a lack of proper training or resources. Challenges cited in Figure 4, such as complex interfaces of popular development platforms and a lack of hands-on projects, further highlight the need for curricula that are more aligned with practical industry standards and teacher competencies. The range of curriculum integration examples (Figure 5) underscores the creativity and effort of some educators

but also hints at inconsistencies in approach and resource availability. Finally, the expressed need for more in-depth training and modern tools (4th question responses) underscores the gap between existing educational practices and the rapidly evolving field of mobile technology.

These insights suggest that while strides have been made in integrating mobile technologies into computer science education, there remains significant room for improvement, particularly in terms of teacher training, resource allocation, and curriculum development. Addressing these areas could lead to more consistent and effective integration of mobile technology into educational settings.

The findings from the survey responses of computer science teachers and mobile application developers reveal distinct yet interconnected perspectives on the integration of mobile technology in education. From the developers' side, the emphasis is on the competencies that teachers should possess, such as proficiency in the latest coding languages and practical app development experience. The developers highlight gaps in current educational approaches, notably the lack of real-world problem-solving and an interdisciplinary approach, which are critical for students to thrive in the modern tech landscape. Furthermore, industry trends such as the need for rapid adaptation to new technologies and the growing importance of mobile security skills underline the necessity for curricula that are not only current but also predictive of future technological directions.

The findings from the survey data (Figure 6) indicate that mobile application developers place a high value on a range of competencies for computer science teachers specializing in mobile technology.

HIGH VALUE ON A RANGE OF COMPETENCIES FOR COMPUTER SCIENCE TEACHERS

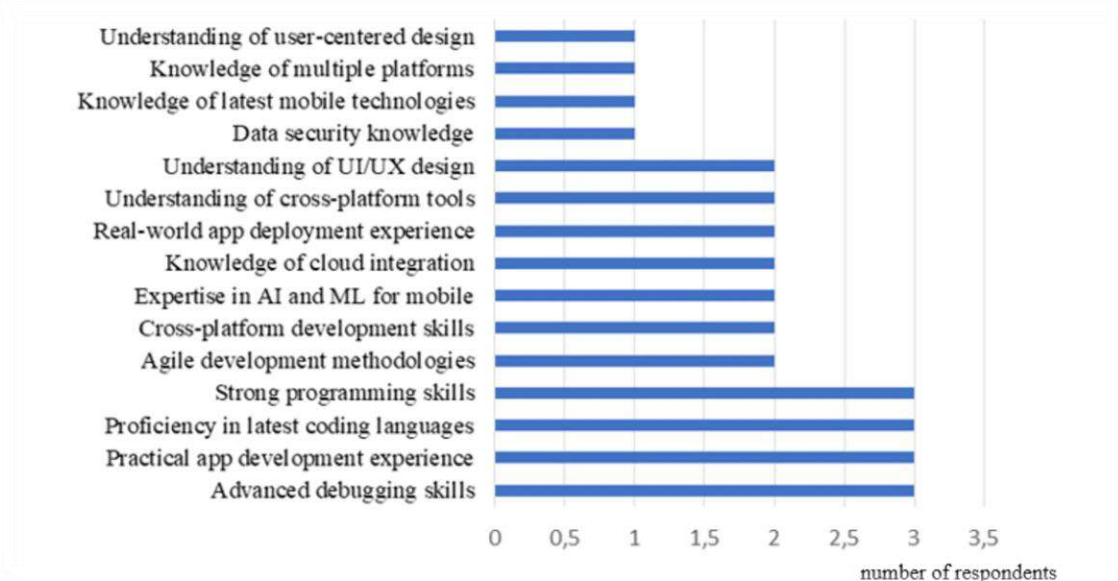


Figure 6. Key Competencies for Teaching Mobile App Development

Core programming skills are evidently at the forefront, with 'Strong programming skills', 'Proficiency in latest coding languages', and 'Advanced debugging skills' each garnering three mentions, suggesting a consensus on the importance of fundamental coding abilities in education. Practical application is also highlighted, with 'Practical app development experience' being emphasized by three developers, indicating the importance of hands-on, experiential learning.

Agility and adaptability in skills are considered significant but to a lesser degree, with 'Agile development methodologies', 'Cross-platform development skills', and 'Understanding of cross-platform tools' receiving two mentions each. These responses reflect the industry's appreciation for versatility in working across different platforms and methodologies.

Emerging technologies like 'AI and ML for mobile' and 'Cloud integration' are also recognized as important areas of expertise, though they are not as heavily emphasized, with two developers

mentioning each. This suggests a growing trend in the need for integrating advanced technological trends into the curriculum. Notably, 'Data security knowledge', 'Knowledge of latest mobile technologies', 'Knowledge of multiple platforms', and 'Understanding of user-centered design' were identified by a single developer each, which may indicate these areas are seen as more specialized or assumed to be encompassed within broader skill sets.

Overall, the diversity of responses underscores the need for a comprehensive approach to teacher competencies in computer science, blending foundational programming skills with an adaptable, practical, and forward-looking educational framework that reflects the multi-faceted nature of mobile application development.

The synthesis of the findings of Figure 7 suggests that while computer science teachers are eager to enhance their technical competencies and integrate mobile technology into their curricula, they require more structured support to meet industry standards. Developers, on the other hand, see vast room for improvement in educational practices and advocate for active collaboration between the tech industry and educational institutions. This collaboration could lead to a more dynamic educational framework that is responsive to the rapid evolution of mobile technology and prepares students for the challenges and opportunities of the digital world.

COMPUTER SCIENCE TEACHERS REQUIRE MORE STRUCTURED SUPPORT TO MEET INDUSTRY STANDARDS

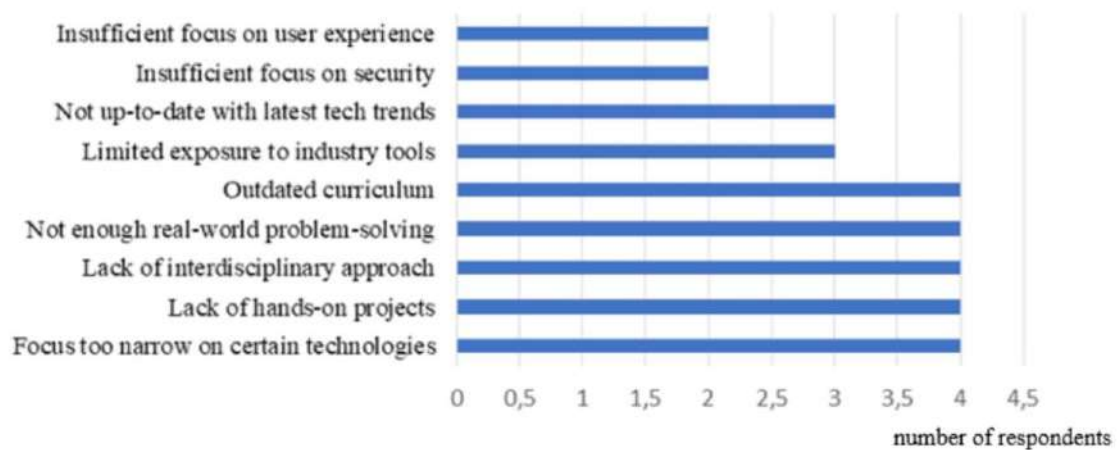


Figure 7. Gaps in Current Educational Approaches

The data presented indicates in Figure 8, a clear recognition among mobile application developers of the key impacts of industry trends on education. Security and privacy concerns are uniformly emphasized, with equal importance given to the need for mobile security skills, data privacy, and ethics, which each received four mentions. This uniformity suggests that the industry sees these areas as increasingly critical in the educational preparation of future professionals.

Equally noted is the 'Need for updated content' and 'Rapid adaptation to new technologies required', also with four responses, highlighting the dynamic nature of the tech industry and the expectation that educational content should be timely and evolve at pace with technological advancements. The 'Shift towards hybrid apps' is another trend with four responses, reflecting the industry's move towards more versatile and platform-agnostic applications.

Slightly less emphasized, but still noted by developers, are the 'Greater focus on user experience' and 'Shift towards AI-driven development', each with three responses. This suggests that while these areas are indeed considered important, they might be viewed as emerging trends that supplement the core skills and knowledge areas.

The survey data of Figure 9 regarding collaboration opportunities reveal that mobile application developers see a variety of ways to engage with educational institutions.

THE PRINCIPAL INFLUENCES OF INDUSTRY TRENDS ON EDUCATIONAL PRACTICE

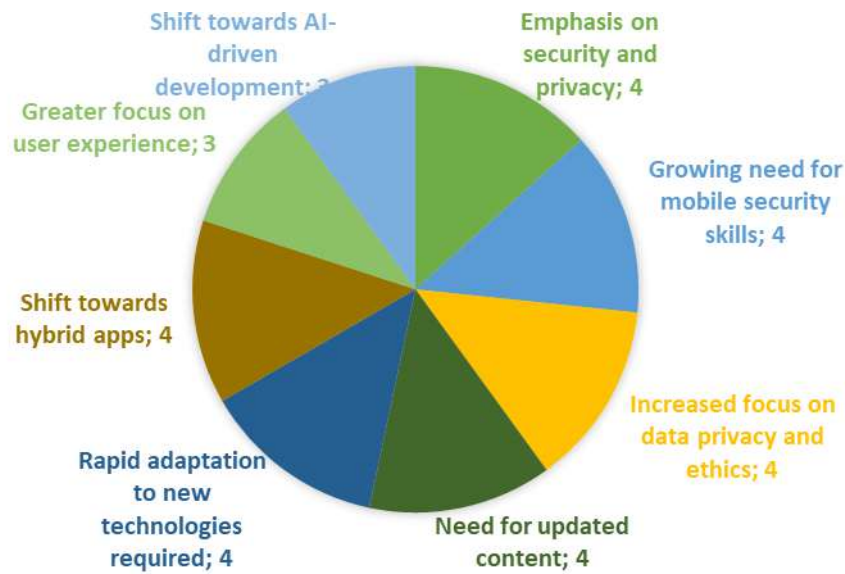


Figure 8. Impact of Industry Trends on Education

VARIETY OF WAYS TO ENGAGE WITH EDUCATIONAL INSTITUTIONS BY COLLABORATION OPPORTUNITIES

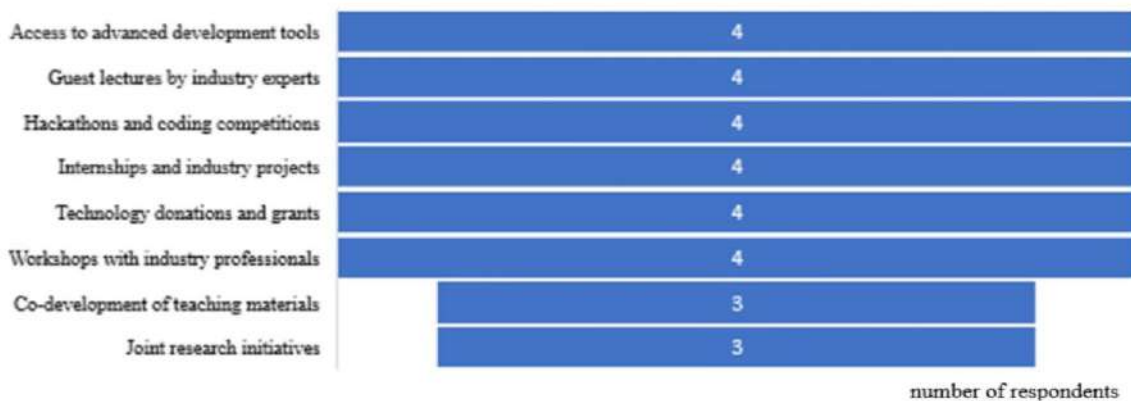


Figure 9. Collaboration Opportunities

The leading areas for potential collaboration, each with four mentions, include providing access to advanced development tools, guest lectures by industry experts, hackathons and coding competitions, internships and industry projects, technology donations and grants, and workshops with industry professionals. This indicates a strong desire for a hands-on, practical approach to education that aligns closely with current industry practices and tools.

Slightly less emphasized but still regarded as significant are co-development of teaching materials and joint research initiatives, each noted by three respondents. These areas suggest an interest in more deeply integrated partnerships that extend beyond immediate educational experiences into collaborative content creation and exploratory research, potentially blurring the lines between academic learning and industry practice. In sum, there's a consensus among developers that meaningful engagement with the tech industry can significantly enrich the educational landscape. They advocate for a multi-faceted collaboration that not only enhances the practical skills of students but also contributes to the resources and curriculum offered by educational institutions, ensuring that the training provided is relevant and up-to-date.

Discussion

The discussion addresses the initial research objectives, which sought to determine key competencies for computer science teachers, develop methods for assessing these competencies, and form recommendations for integrating them into curricula.

Teachers' varied confidence levels in integrating mobile technologies underscore a pressing need for targeted professional development, aligning with the objective to assess and enhance teacher competencies. The challenges they face, notably the complex interfaces of advanced development platforms and a scarcity of practical application opportunities, reflect the necessity for curricular reform. The educators' call for updated tools, advanced workshops, and peer collaboration resonates with the objective to not only identify but also resource these competencies effectively.

Developers' perspectives complement these findings by delineating specific competencies such as proficiency in coding and real-world application experience. Their emphasis on the growing need for mobile security skills and updated content reflects the rapid evolution of the mobile tech industry, which educational curricula must match. The responses further suggest an industry expectation for educational institutions to produce graduates who are not only technically adept but also capable of navigating the ethical and practical challenges of the tech landscape.

The shared advocacy from both teachers and developers for collaboration points to a collective recognition that the integration of industry expertise into educational frameworks is vital. Developers identify concrete collaborative opportunities, such as internships and workshops, which could serve as real-world platforms for competency development, addressing another research objective.

Moreover, it is evident that a strategic approach is necessary – one that considers teacher development, curricular updates, and industry-academia partnerships. By focusing on these areas, the research aligns educational practices with industry requirements, ensuring that future computer science educators are equipped to deliver a relevant and robust mobile technology education.

Conclusion

Based on the findings and discussions outlined, the following recommendations can be made for the development of curriculum in computer science education, particularly for integrating mobile technology competencies:

- Incorporate real-world tools and practices by updating the curriculum to include hands-on experience with industry-standard development platforms. Ensure that teachers and students have access to the latest tools and are familiar with current industry practices.
- Provide ongoing professional development opportunities focused on the latest mobile technology trends, programming languages, and application development practices. Encourage participation in advanced workshops, online courses, and peer collaboration sessions.
- Integrate project-based learning and capstone projects that require students to develop and deploy mobile applications, fostering practical skills and real-world problem-solving abilities.
- Given the industry emphasis on security and privacy, embed comprehensive modules on data security, privacy, and ethics in mobile technology into the curriculum.
- Embrace interdisciplinary learning by encouraging interdisciplinary approaches by combining computer science education with other subjects such as design thinking, user experience (UX), and business strategies to provide a holistic understanding of mobile application development.
- Strengthen industry collaboration and develop partnerships with tech companies to facilitate guest lectures, internships, technology donations, and collaborative projects that can provide students with insights into the mobile tech industry.
- Curriculum co-development by involving industry professionals in the curriculum design process to ensure that the content is aligned with current and future industry needs.
- Create a flexible curriculum framework that can be rapidly adapted to accommodate new technologies and industry trends.
- Secure necessary resources, such as advanced development tools and hardware, to support an up-to-date learning environment.

- Encourage and support joint research initiatives between academia and industry to explore innovative mobile technology applications and pedagogical strategies.

By implementing these recommendations, educational institutions can ensure that their computer science curriculum remains relevant, comprehensive, and responsive to the fast-paced changes in mobile technology, thereby preparing students for successful careers in the field.

References

- [1] Angeli C., Giannakos M. (2020) *Computational thinking education: Issues and challenges* // *Computers in Human Behavior*. No. 105, P. 106185. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.106185>
- [2] Ally M. (2019) *Competency profile of the digital and online teacher in future education* // *International Review of Research in Open and Distributed Learning*. Vol. 20, No. 2. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v20i2.4206>
- [3] Onyema E. M., Ogechukwu U., Anthonia E. C. D., Deborah E. (2019) *Potentials of mobile technologies in enhancing the effectiveness of inquiry-based learning approach* // *International Journal of Education (IJE)*. Vol. 2, No. 01, Pp. 1-22. DOI:10.5121/IJE.2019.1421
- [4] Tangirov K. E., Sattarov A. R. (2020) *Didactical possibilities of mobile applications in individualization and informatization of education* // *Mental Enlightenment Scientific-Methodological Journal*. Pp. 76-84. URL:https://api.scienceweb.uz/storage/publication_files/3800/11035/647c4c2184308Tangirov_Sattarov_Mamatqulova_MESMJ.pdf
- [5] Papa K. (2023) *Unity 3D VS Unreal Engine: The Ultimate game development showdown*. MarketSplash [Electronic resource]. URL: <https://marketsplash.com/tutorials/unity-3d/unity-3d-vs-unreal-engine/> (date of access: 09.12.2023).
- [6] Azsan F. (2023) *Best Game Engines The best Option to choose in 2023*. Polydin [Electronic resource]. URL: <https://.com/best-game-engines/> (date of access: 26.09.2023).
- [7] Miranda J., Navarrete C., Noguez J., Molina-Espinosa J. M., Ramírez-Montoya M. S., Navarro-Tuch S. A., Molina A. (2021) *The core components of education 4.0 in higher education: Three case studies in engineering education* // *Computers & Electrical Engineering*. No. 93, P. 107278. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107278>
- [8] Bahodirovich O. J., Romilovich B. R. (2021) *Project for training professional skills for future teachers of technological education* // *Mental Enlightenment Scientific-Methodological Journal*. Pp. 139-150. DOI:10.51348/tziuj2021216
- [9] Fernández-Batanero J. M., Montenegro-Rueda M., Fernández-Cerero J., García-Martínez I. (2022) *Digital competences for teacher professional development. Systematic review* // *European Journal of Teacher Education*. Vol. 45, No. 4, Pp. 513-531. DOI:10.1080/02619768.2020.1827389
- [10] Falloon G. (2020) *From digital literacy to digital competence: the teacher digital competency (TDC) framework* // *Educational Technology Research and Development*. Vol. 68, Pp. 2449-2472. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09767-4>

Н. Карелхан¹, Н.К. Удербаева^{1*}, М.Б. Онгарбаева²

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

²Шерхан Мұртаза атындағы Халықаралық Тараз инновациялық институты,
Тараз қ., Қазақстан

*e-mail: nurgul.kalievna@mail.ru

ВИРТУАЛДЫ ЖӘНЕ ТОЛЫҚТЫРЫЛҒАН ШЫНДЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН «ЦИФРЛЫҚ САУАТТЫЛЫҚ» ПӘНІНДЕ ҚОЛДАНУДЫҢ ПРАКТИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

Аңдатпа

Мектеп қабырғасынан бастап жоғарғы білімге дейін білім беру жүйесі дәстүрлі педагогикалық әдістерге қосымша жаңа технологияларды енгізудің ұзақ тарихына ие. Күннен – күнге өзгеріп отырған технологияларды оқушылар мен студенттер, тіпті мұғалімдер, ноутбуктер мен смарт – тақталар және тағы да басқа жаңа технологияларды өздігінен оқып үйренгендері де белгілі. Виртуалды және толықтырылған шындық технологияларын білім беру жүйесінде, әсіресе бастауыш сыныптарда қолдану оқушылардың қызығушылығының арттыруына және көп уақыт бойы келе жатқан классикалық әдістерге заманауи өзгерістерді әкеледі. Мақалада екінші сынып оқушыларының «Цифрлық сауаттылық» пәні бойынша білім, білік, дағдысы мен білім алуға қызығушылығын арттыру мақсатында барлық бөлімдерін қамтитын толықтырылған және виртуалды шындық технологиялары қолданылған жұмыс дәптерін қолдану нәтижелері жай туралы қарастырылды. Жұмыс дәптердің «Компьютердің құрылғылары» тақырыбында оқушылар 3D объектілермен қоса виртуалды көзілдіріктің көмегімен виртуалды жұмыс үстелінде компьютердің құрылғыларымен танысып, компьютердегі видеобейнені де көре алады. AR және VR элементтерін қамтитын «2-сынып оқушыларына арналған цифрлық сауаттылықты дамыту» бойынша жұмыс дәптері Қостанай облысы Қостанай ауданындағы жалпы білім беретін екі қазақ мектебінде апробациядан өтті. Сонымен қоса, Virtual Reality (VR) және Augmented Reality (AR) технологияларын оқу процесінде қолданылуының практикалық мысалы да қарастырылып, тиімділігі анықталды.

Түйін сөздер: толықтырылған шындық, виртуалды шындық, AR, VR, Vuforia Engine, Unity 3D, цифрлық сауаттылық.

Н. Карелхан¹, Н.К. Удербаева¹, М.Б. Онгарбаева²

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

²Международный Таразский инновационный институт им. Шерхана Муртазы, г. Тараз, Казахстан

ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ДИСЦИПЛИНЕ «ЦИФРОВАЯ ГРАМОТНОСТЬ»

Аннотация

От школьных стен до высшего образования система образования имеет долгую историю внедрения новых технологий в дополнение к традиционным педагогическим методам. Известно, что учащиеся и студенты, даже учителя, самостоятельно изучали новые технологии, такие как ноутбуки и смарт – платы и многое другое. Использование технологий виртуальной и дополненной реальности в системе образования, особенно в начальных классах, приводит к повышению интереса учащихся и радикальным изменениям в классических методах, которые существуют уже давно. В статье рассмотрена рабочая тетрадь, в которой использованы технологии дополненной и виртуальной реальности, охватывающие все разделы с целью повышения интереса учащихся второго класса к получению знаний, умений, навыков и навыков по предмету «Цифровая грамотность». В том числе, тему «Устройства компьютера» учащиеся могут ознакомиться с устройствами компьютера на рабочем столе на виртуальной сцене с помощью виртуальных очков, а также посмотреть видео на этом компьютере. Рабочая тетрадь «Развитие цифровой грамотности у второклассников», содержащая элементы AR и VR, апробирована в двух казахских общеобразовательных школах Костанайского

района Костанайской области. Кроме того, рассмотрен и определен практический пример использования технологий Virtual Reality (VR) и Augmented Reality (AR) в учебном процессе.

Ключевые слова: дополненная реальность, виртуальная реальность, AR, VR, Vuforia Engine, Unity 3D, цифровая грамотность.

N. Karelhan¹, N.K. Uderbayeva¹, M.B. Ongarbayeva²

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

²International Taraz Innovation Institute named after Sherkhana Murtaza, Taraz, Kazakhstan

PRACTICAL FOUNDATIONS OF THE USE OF AUGMENTED AND VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES IN THE DISCIPLINE «DIGITAL LITERACY»

Abstract

The education system, from school walls to higher education, has a long history of introducing new technologies in addition to traditional pedagogical methods. It is also known that schoolchildren and students, even teachers, laptops and smart boards, and many other new technologies have learned on their own. The use of virtual and augmented reality technologies in the educational system, especially in elementary grades, will lead to an increase in the interest of students and radical changes in the classical methods that have been coming for a long time. In order to increase the interest of second-graders in obtaining knowledge, skills, skills and knowledge in the discipline "digital literacy", the article considered a workbook with the use of augmented and virtual reality technologies, covering all sections. In particular, on the topic "computer devices" students can get acquainted with 3D objects, as well as with computer devices on the desktop and watch a video video on the same computer using virtual glasses. The workbook "Development of digital literacy in second-graders," containing elements of AR and VR, was tested in two Kazakh secondary schools in the Kostanay district of the Kostanay region. In addition, a practical example of the use of Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR) technologies in the educational process was considered and the effectiveness was determined.

Keywords: augmented reality, virtual reality, AR, VR, Vuforia Engine, Unity 3D, digital literacy.

Негізгі ережелер

Зерттеудің негізгі идеясы AR және VR технологияларының оқу процесіндегі қолданылуы бойынша тәжірибелерді ескеріп, бастауыш сыныптарында «Цифрлық сауаттылық» пәнін оқытуда виртуалды және толықтырылған шындық технологияларын қолданып, оқушылардың қызығушылығын арттыру арқылы, алған білімін толық меңгеруге және есінде сақтауға ықпалын тигізу.

AR және VR технологияларының оқу процесіндегі тиімділігін анықтау үшін жалпы білім беретін мектептердің бастауыш білім беру деңгейінің 2-сынып оқушыларына арналған «Цифрлық сауаттылық» пәнінің тақырыптары мен мазмұнына сай жазылған «2-сынып оқушыларына арналған цифрлық сауаттылықты дамыту» бойынша жұмыс дәптері құрастырылды. Жұмыс дәптердің оқу процесінде қолданылуы бойынша экспериментке Қостанай облысы әкімдігі білім басқармасының «Қостанай ауданы білім бөлімінің Н.Наушабаев атындағы мектеп-гимназия» коммуналдық мемлекеттік мекемесінің «2А» және «2Ә» сыныптарындағы 42 оқушы қатысты, эксперимент оң нәтиже берді.

Кіріспе

Қазіргі таңда білім алушыларға визуалды көзбен көретін, оған қоса естіп және сол ортаны сезіну арқылы білім беру тиімдірек екеніне көзіміз жетіп отыр. Мысалы, Американдық педагог Эдгар Дейль 1960 жылдары көбімізге белгілі «Тәжірибе конусы» жасағаны белгілі және бұл конусты білім алушы оқып немесе естігеннен емес, қолмен ұстап, сезіну арқылы білімді көбірек алатынын көрсетілген. Яғни белгілі бір эксперимент жасаса да, өзінің қателіктері арқылы үйренетініне күмән жоқ. Ал шынайы экспериментті бірден жасау қолайсыз, әрі қауіпті болғандықтан толықтырылған және виртуалды ортада жасаған қауіпсіз екені барлығымызға белгілі. Әрі оқу үрдісін одан әрі қызық етіп өткізілетіні де анық.

Еліміздің кәсіптік және жоғары оқу орындарында «Дуалды білім беру» бағдарламасы кеңінен қолданыста, яғни өндірісте, кәсіпорнындарда теорияға қосымша практикаға бағытталған білім беру тиімдірек екеніне көзіміз жетіп отыр. Сондықтан виртуалды және толықтырылған шындықты білім беру жүйесінде қолданысқа енгізудің өзектілігі артып келеді. Оған қоса бұл технологиялар көптеген басқа салаларда да кеңінен қолданыста. Мысалға медицинада, жас мамандарға бірден ота жасау өте қиын және қауіпті, сондықтан бұл технологиялар кеңінен қолданысқа енгізіліп жатыр. Бұл мақалада виртуалды және толықтырылған шындық технологияларын білім беру жүйесінде қолданылуы қарастырылды.

Виртуалды шындық (VR) білім берудің қуатты және перспективалы құралына айналды және көптеген зерттеулер VR білім берудің қолданылуы мен тиімділігін зерттеді [1].

Виртуалды шындық пен нақты уақыттағы Интернет ағынындағы жетістіктер оқу бағдарламалары мен аудиторияларда төңкеріс жасады [2].

Виртуалды шындық құралдары қарапайым 360 градусық көріністерден ерекшеленетін және студенттердің белсенділігін арттыруы мүмкін «өтіп өтетін» деректерді, визуализацияларды қамтуы мүмкін [3].

Білім берудегі виртуалды шындық туралы қорытындылар:

- VR-бұл студенттерге компьютерде жасалған кескіндер мен дыбыстар әлемімен өзара әрекеттесуге мүмкіндік беретін иммерсивті технология.

- Виртуалды шындыққа негізделген белсенді оқыту оқушылардың білімі мен белсенділігін жақсартуға көмектеседі.

- Білім берудегі виртуалды шындықты пайдалана отырып, студенттер тәжірибеден үйренеді, мазмұнмен жаңа тәсілдермен әрекеттеседі және виртуалды емес жағдайларда қол жетпейтін тәжірибе алады.

- Өнімділігі жоғары ДК виртуалды шындықта оңтайлы, қызықты оқытуды қамтамасыз етуге көмектеседі [4].

Білім берудегі виртуалды шындық пайдалану туралы шет елдегі жүргізілген статистиканы да қарастырып кетейік:

- Zipria мәліметтері бойынша, өткен жылғы жағдай бойынша Америка Құрама Штаттарында 57,4 миллион виртуалды шындық пайдаланушысы болды, бұл ел халқының 15% құрайды.

- Білім беру нарығындағы жаһандық виртуалды шындық қарқынды дамып, 2021 жылы 6,37 миллиард доллардан 2022 жылы 8,66 миллиард долларға дейін өсті. Business Research мәліметтері бойынша, ол 2026 жылға қарай 39,7% жылдық жиынтық өсу қарқынымен 32,94 миллиард долларға жетеді деп күтілуде.

- App Solutions мәліметтері бойынша, студенттердің 97% виртуалды шындық курсынан өтуге мүдделі.

- Мұғалімдердің 93% - ы сыныпта виртуалды шындық технологиясын қолдану сол App Solutions есебінде көрсетілгендей, олардың оқушыларын қуантады деп санайды.

- App Solutions мәліметтері бойынша, 10 оқытушының 7-сі виртуалды шындық технологиясын өздері оқытатын курстық жұмыс тәжірибесіне еліктеу үшін пайдаланғысы келеді [5].

Халықаралық оқушыларды бағалау бағдарламасының нәтижелері оқуды түсінуді насихаттау қажет болғанымен, мұғалімдер оқушыларды оқуды түсіну тапсырмаларын орындауға ынталандыру жолдарын табу үшін күресіп жатқанын және сыныпқа технологияны қолдану арқылы оқыту тәсілдері кірсе де, зерттеушілер олардың артықшылықтары мен салдарын анықтау үшін әлі де олармен тәжірибе жасап жатқанын көрсетеді. Технологияны қолдана отырып оқытудың осындай тәсілдерінің ішінде біз кеңейтілген шындық пен ойынға негізделген оқытуды табамыз [6].

AR және VR технологияларын шет елдегі білім беретін ұйымдарда оқу процессінде қолданудың мысалын қарастырып кетейік. Михайло Стелмах атындағы филология және журналистика факультетінің оқу процесіне AR элементтерімен геймификацияны енгізу

аспектілері көрсетілген. AR элементтерімен геймификацияны қолдану филолог-студенттің стратегиялық көзқарасын, шығармашылық қабілетін, дербестігі мен шешім қабылдаудағы табандылығын қалыптастыруға мүмкіндік береді деп есептейміз; болашақ педагог-филологтың коммуникативті дағдыларын және ұжымдық жұмыс істеу қабілетін белсендіру, өзін-өзі тәртіп пен өзін-өзі ұйымдастыруды нығайту, мақсатты іздеу және ақпаратты өңдеу дағдыларын қалыптастыруға ықпал ету; филолог-студенттің пәндерді оқуға деген ынтасының деңгейін оның қызығушылығы мен құмарлығы, пәндерді оқуға уақыт бөлудің мақсаттылығын нақты түсіну, білімді практикада, оның ішінде ұйымдастыру мен оқуда пайдалана білу қабілетін арттыру. украин тілі мен әдебиетінен тиімді сабақтар мен сыныптан тыс жұмыстарды өткізу. Мұндай нәтижеге жету білім беру әдістері мен технологияларының педагогикалық тұрғыдан орынды үйлесуі және олардың өзара тығыз байланысы мен интеграциясы (геймификация, толықтырылған шындық, жобалық әрекеттер, тәжірибеге бағытталған іс-әрекеттер) арқасында мүмкін болады [7].

Толықтырылған шындық (AR) студенттерге олардың нақты әлемде көргендерін бұрынғы білімдерімен байланыстыру көмектесетін әлеуетті технология ретінде танылды. AR негізіндегі оқытудың күрделі мәселелері бірі студенттер далада не байқау керек екеніне назар аударып тиімді стратегияны қамтамасыз ету болып табылады. Бұл зерттеу бәсекелестікті ұсынады AR негізіндегі оқу іс-шараларын қолдауға арналған ойын тәсілі нақты контексттерде. Эксперимент жүргізілді ұсынылған тәсілдің тиімділігін зерттеу үшін бастауыш мектеп экологиясы курсы далалық сапарлар кезінде AR негізіндегі мобильді оқытудың әдеттегі тәсілімен. Нәтижелер эксперименттер AR-ға негізделген ойын тәсілі тек қана жақсарта алмайтынын көрсетеді студенттердің оқуға деген көзқарасы, сонымен қатар олардың экскурсия кезіндегі үлгерімі [8].

Ұсынылған AR көмегімен балаларға арналған кітап балаларға түрік әліпбиін және сөздегі әр әріпті қалай қолдану керектігін көрсетеді. Маркер суреті түрік тілінің 3D нысандарын бейнелейді алфавит және әріптің айтылу дыбысы және құрамындағы сөздің 3D элементінің мысалы, әріп, сөздің өзі кескін нысанында көрсетілген. Бұрынғы және соңғы зерттеулерге сәйкес, толықтырылған шындық білім беру секторында, әсіресе балаларды оқытуда жоғары сұранысқа ие [9].

Зерттеу мақсаты еліміздегі мектептердің бастауыш сыныптарында «Цифрлық сауаттылық» пәнін оқытуда виртуалды және толықтырылған шындық технологияларын қолданып, оқушылардың қызығушылығын арттыру арқылы, сабақты толық игеруге ықпалын тигізу.

Зерттеу міндеттері: виртуалды және толықтырылған шындық технологияларының білім беру жүйесіне енгізудің тиімділігін анықтау; оқушылардың жаңа технологияларды бастауыш білім беру деңгейінде цифрлық сауаттылықтарын арттыру мақсатында қызығушылықтарын арттыру; жаңа технологиялардың көмегімен жасалынған инновациялық жұмыс дәптерінің өскелең Z – ұрпағы үшін өте ыңғайлы, қызықты және түсінікті екенін практика жүзінде көрсету.

Зерттеу әдіснамасы

Зерттеу Қостанай облысының Қостанай ауданы білім бөлімінің мемлекеттік тілде оқытатын Заречный жалпы білім беретін мектебінің 2 сыныбында виртуалды және толықтырылған шындық технологияларын «Цифрлық сауаттылық» пәніне арналған қосымша әдістемелік құрал, яғни жұмыс дәптері арқылы жүргізілді. Берілген жұмыс дәптерінде әр тарауларында осы жаңа технологиялардың әр түрлі әдістері пайдаланылды. «Цифрлық сауаттылық» пәні 6 бөлімнен тұрады, осы 6 бөліміне виртуалды және толықтырылған шындық технологияларының мүмкіндіктері қарастырылды. Мысалға: алгоритм тақырыбына – видео, виртуалды кеңістіктегі сахнада оқушы берілген батырмалар мен схема арқылы алгоритм туралы толық ақпаратты игере алады, оған қоса алгоритм дұрыс орындалған жағдайда электр шамының жанғанын көріп, білімін қорытындылай алады (1 сурет).

Сонымен қоса компьютердің құрылғыларына – 3D модель мен видео, роботтар тақырыбына – 360⁰ виртуалды кеңістіктегі роботтар мен, олардың даму тарихымен танысу және тағы да басқа VR және AR технологияларының мүмкіндіктерін көре алады. Тіпті, виртуалды сахнада жұмысқа кірісердің алдында, қауіпсіздік техникасымен де танысып кетеді. Виртуалды сахнада оқушыларға ыңғайлы болу үшін жұмыс мәзірі де қарастырылып кетті. Бұл мәзірде оқушы қажетті тілді немесе тақырыптарды да таңдай алады (2 сурет).



Сурет 1. Виртуалды сахнадағы алгоритм бөлімі

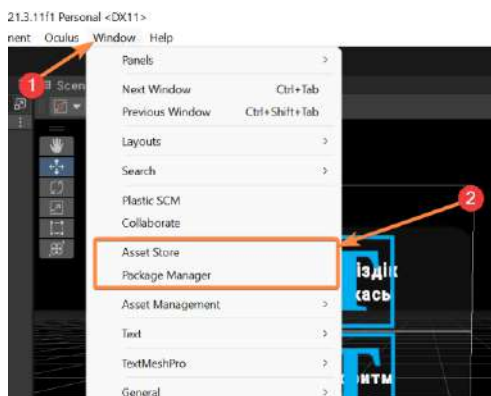


Сурет 2. Виртуалды сахнадағы жұмыс мәзірі

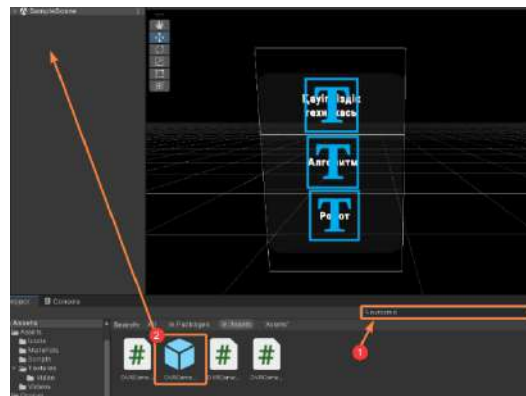
VR және AR технологияларының көмегімен «Цифрлық сауаттылық» пәніндегі «Компьютердің құрылғылары» тақырыбына виртуалды кеңістіктегі 3D модель түрінде компьютердің құрылғыларын көреді және де қолмен ұстап, алгоритм туралы видеобейнені де көріп, тыңдай алады, яғни виртуалды көзілдірігі арқылы виртуалды әлемге кіреді.

Соған орай, қысқаша бір мысал ретінде виртуалды көзілдірігін пайдалана отырып, Unity ойын платформасында жасалған жобаны практикалық түрде қарастырып кетейік. Unity-бұл әлемдегі ең жақсы нақты уақыттағы даму платформасынан әлдеқайда көп, бұл сонымен қатар сенімді экожүйе [10] болып табылады. Unity және оның құралдарымен жұмыс істеу үшін Unity Editor бағдарламасын жүктейміз. Оны орнату үшін "Install Editor" батырмасын басамыз, содан кейін "«Install» батырмасын басу арқылы бізге қажет нұсқаны таңдаймыз. Нұсқаның қайсысы тұрақты және ең жаңасы екенін Сам Unity өзі айтады. Дұрыс компиляция үшін Oculus және телефондарда Android модулін орнату керек, сондықтан "Android Build Support" тармағын таңдап, "Continue" батырмасын басамыз. Жобаны құру үшін шаблон мен атауларды таңдап, кейін «Create project» батырмасын басамыз. Жобалар терезесінде жасалған жобалар көрсетіледі, құрылған жобамен жұмыс істеу үшін сол жобаны басамыз. Жоба іске қосылғаннан кейін жұмыс кеңістігінде көріністер мен олардың нысандары, көріністің өзі, объектілердің қасиеттері және жоба файлдары көрсетіледі. Жобада Oculus API нысандары пайдаланылатындықтан, әдепкі бойынша жасалған нысандарды жою қажет. VR Oculus-пен жұмыс істеу үшін жетіспейтін компоненттерді жобаға жүктеу қажет. Оларды жүктеу үшін "Window" батырмасын басып, "Package Manager" бөліміне өтеміз. Содан кейін іздеу жүйесіне "XR" деп жазамыз да, компоненттерді таңдап, "Install" батырмасын басамыз. Оған қоса жоба параметрінде «Player Settings...» батырмасын басамыз (3 сурет).

Oculus-пен жұмыс істеу үшін оны қолдау көрсетілетін құрылғылар тізімінен таңдау керек. Файлды іздеу менюінде "OVRCameraRig" деп жазып, VR көзілдірігімен жұмыс істейтін камераны тауып, оны жоба сахнасына сүйреп апарамыз (4 сурет).



Сурет 3. Компоненттерді жүктеуге арналған ашылмалы мәзір



Сурет 4. VR – мен жұмыс жасайтын OVRCameraRig камерасы

Сондай-ақ, сахнаға 3 бос нысан жасап, Oculus сценарийлерінің біріне "UIHelpers" қосу керек:

- VideoManager-бұл нысан 360⁰ бейнеге жауап береді;
- InputManager – контроллер түймелерін басқан кезде функцияның іске қосылуына жауап беретін объект;
- MenuCanvas-түймелері бар мәзір бейнелерді ауыстыру (5 сурет).



Сурет 5. Барлық көрініс файлдары

Әрі қарай, бейнелерді ойнату үшін кітапханаларды қосамыз. Кітапханаларды қосқаннан кейін бейнелермен жұмыс істеу үшін негізгі айнымалыларды жасаймыз (6 сурет), мысалы:

- Videos-массивтік бейнелерді алу үшін;
- OnPause және OnLoad – бейнені кідірту және жүктеу кезінде іске қосу үшін;
- isPaused - бейне кідірілгеніне жауап береді;
- isVideoReady - бейненің экранға жүктеуге дайын екендігін тексереді;
- index - шот бойынша бейнеролик шоты;
- videoPlayer - экранда бейнелерді көрсетеді.

```
public List<VideoClip> videos = null;

public VideoEvent onPause = new VideoEvent();
public VideoEvent onLoad = new VideoEvent();

private bool isPaused = false;
Ссылка: 2
public bool IsPaused{...}

private bool isVideoReady = false;
Ссылка: 2
public bool IsVideoReady{...}

private int index = 0;
private VideoPlayer videoPlayer = null;
```

Сурет 6. Негізгі айнымалалар

Awake и Start функциялары бағдарлама жүктелген кезінде, оның жұмысына жауап береді. Міндетті түрде VideoPlayer – ге айнymалылырды жіберу керек. Бейнелермен жұмыс істеу функциясын сипаттағаннан кейін оларды виртуалды көзілдіріктің контроллеріндегі батырмалармен байланыстыру керек. Ол үшін InputManager сценарий файлына өтеміз. InputManager немен жұмыс істейтінін түсіну үшін VideoManager және Menu айнymалы мәндерін жасау керек. Ресми веб-сайтта сценарийлерді дұрыс тасымалдау үшін контроллердің барлық батырмаларының белгілерін табуға болады (7 сурет).

```
private void OculusInput()
{
    if (OVRInput.GetDown(OVRInput.Button.One, OVRInput.Controller.All))
    {
        videoManager.PauseToggle();
    }
    if (OVRInput.GetDown(OVRInput.Button.PrimaryHandTrigger, OVRInput.Controller.LTouch))
    {
        videoManager.PreviousVideo();
    }
    if (OVRInput.GetDown(OVRInput.Button.PrimaryHandTrigger, OVRInput.Controller.RTouch))
    {
        videoManager.NextVideo();
    }
    if (OVRInput.GetDown(OVRInput.Button.Four, OVRInput.Controller.All))
    {
        videoManager.SeekBack();
    }
    if (OVRInput.GetDown(OVRInput.Button.Two, OVRInput.Controller.All))
    {
        videoManager.SeekForward();
    }
    if (OVRInput.GetDown(OVRInput.Button.Three, OVRInput.Controller.All))
    {
        menu.menuON();
    }
}
```

Сурет 7. Сценарийлерді контроллер батырмаларына жіберу

Жобада кейбір бейнелер 360⁰ емес және дұрыс көрсету үшін біз компьютер моделін қосамыз және оған VideoManager тағайындаймыз (8 сурет). Енді, компьютер моделіне бейнелерді жүктейміз де, ол 9 суретте көрсетілгендей болады.



Сурет 8. Компьютер объектісін құру нәтижесі



Сурет 9. Бейнені ойнату нәтижесі

Толықтырылған шындық оқушыларға физикалық құбылысты 3D форматында көруге және елестетуге айтарлықтай көмектеседі. Бұл инновациялық технология басқа жолмен оңай қол жеткізуге болмайтын дерексіз жағдайдың көрнекі көрінісін қамтамасыз етеді. Оқушылар «елестетудің орнына көре» алады және теорияны оның физикалық көрінісімен

байланыстырады. Толықтырылған шындықтың тағы бір артықшылығы - ол тәжірибені, басқаша қол жетімді болмайтын виртуалды параметрмен өзара әрекеттесуді қамтамасыз етеді. Оқушылар өз түсінігін бірден дәлелдей алады [11].

Зерттеу нәтижелері

Қостанай ауданы білім бөлімінің мемлекеттік тілде оқытатын Заречный жалпы білім беретін мектебінің 2 сыныбына «Цифрлық сауаттылық» пәніндегі барлық бөлімдерін қамтыған, толықтырылған және виртуалды шындық технологиялары қолданылған жұмыс дәптерімен эксперимент өткізілді. Мақалада мысал ретінде «Компьютердің құрылғылары» тақырыбында осы жобаны пайдаланып сабақ жүргізілгені және оның практикалық жүзеге асуы қарастырылды. 80-ге жуық оқушының тақырыпты 80%-ға игергені, қатты қызығушылық танытқаны, сонымен қоса жаңа технологияның аппараттық құрылғыларымен жұмыс жасауына тез бейімделетіндіктері таң қалдырды, тіпті виртуалды көзілдірігін Touch контроллерінің джойстикімен кейбір оқушылар еркін пайдаланғаны да ерекше атап кеткен жөн (10 сурет).



Сурет 10. Оқушылардың виртуалды көзілдірігін қолдануы

Дискуссия

Толықтырылған және виртуалды шындық білім беру процесін байытудың бірегей мүмкіндіктерін ұсынады, бұл оны интерактивті, тартымды және тиімді етеді. Бұл технологияларды білімге енгізу бірқатар артықшылықтарға әкелуі мүмкін. Атап кетсек:

- толықтырылған және виртуалды шындық білім алушыларға виртуалды сценарийлерге енуге және үш өлшемді кеңістіктегі объектілермен өзара әрекеттесуге мүмкіндік береді. Бұл тереңірек және есте қаларлық тәжірибе жасайды, өйткені білім алушылар ақпаратты көріп қана қоймай, онымен қарым-қатынас жасай алады;

- виртуалды орталар нақты тәуекелдерсіз әртүрлі эксперименттер мен тәжірибелер жасауға мүмкіндік береді. Оқушылар өздерін немесе айналасындағыларды нақты қауіп-қатерге ұшыратпай қателіктер жіберіп, олардан сабақ ала алады;

- толықтырылған және виртуалды шындық білім алушыларға дүниетанымды кеңейту үшін бірегей білім беру мүмкіндіктерін жасай отырып, әртүрлі мәдениеттерді, уақыттар мен оқиғаларды зерттеуге мүмкіндік береді. Бұл жаһандану шешуші рөл атқаратын қазіргі әлемде өте маңызды;

- оқу материалын қызықты және қызықты сценарийлерде сезіну мүмкіндігі білім алушылардың мотивациясын айтарлықтай арттырады. Сабақтар қызықты бола бастайды және тақырыпқа көбірек қызығушылық тудырады.

Виртуалды көзілдіріктің бастауыш мектеп оқушыларына пайдалануда оқушылардың жас ерекшеліктеріне сай VR көзілдірікті 5-10 минуттан артық қолданбау ескертіледі.

Осыған орай, құрастырылған «2-сынып оқушыларына арналған цифрлық сауаттылықты дамыту» атты жұмыс дәптерін жалпы білім беретін мектептердің бастауыш білім беру деңгейінің 2-сынып оқушыларына қолдануға болады.

Қорытынды

Мақалада виртуалды және толықтырылған шындық технологияларының шет елдердегі білім беру жүйесінде қолданылуының мысалы келтіріліп, еліміздегі мектептердің бастауыш сыныптарында «Цифрлық сауаттылық» пәнін оқытуда виртуалды және толықтырылған шындық технологияларын қолданып, оқушылардың қызығушылығын арттыру арқылы, сабақты толық игеруге ықпалын тигізуі қарастырылды. Сонымен қоса толықтырылған және виртуалды шындық технологияларының практикалық жүзеге асуының мысалы да қарастырылды. Қорытындылай келе, оқу процессінде виртуалды және толықтырылған шындық технологияларын пайдалану арқылы, білім алушылардың виртуалды әлемде, виртуалды кеңістікте, ойын алаңына шығып отырғандай әсер алып, колмен ұстап, батырмаларды басу арқылы, онымен қоса естіп, көру арқылы, білімді әлдеқайда сапалы алатынына көзіміз жетіп отыр. Өйткені, қазіргі болашақ өскелең ұрпақты құр кітаптар мен плакаттар арқылы қызықтыру мүмкін емес, оған қоса жаңа туған нәрестенің өзі, аяғына нық баспаса да, смартфондарға қызығушылығын танытып отыратынына да белгілі. Және де, жаңа цифрлық технологияларды оқушыларға бастауыш сыныптан бастап қолданысқа енгізу, болашақ ұрпақтың, мына 4.0 цифрландыру дәуірінде баптау, бәсекеге қабілетті Қазақстан Республикасының жастарын тәрбиелеуге ықпалын тигізетініне сенімдіміз.

Пайдаланған дереккөздер тізімі

[1] Guo J., Weng D., Liu Y., Chen Q. & Wang Y. “Analysis of teenagers' preferences and concerns regarding HMDs in education”, *Journal Virtual Reality & Intelligent Hardware*, volume 3, issue 5, (2021); pp. 369-382, <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2021.09.004>

[2] Sharrab Y., Almutiri N. T., Tarawneh M. & Alzyoud F. “Al-Ghuwairi, A.-R. F., & Al-Fraihat, D. Toward Smart and Immersive Classroom based on AI”, *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 18(02), (2023); pp. 4–16, <https://doi.org/10.3991/ijet.v18i02.35997>

[3] leBrasseur R. “Virtual Site Visits: Student Perception and Preferences Towards Technology Enabled Experiential Learning”, *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 18(02), (2023); pp. 115–140. <https://doi.org/10.3991/ijet.v18i02.32013>

[4] “Help All Students Reach Their Full Potential with Smart, Secure, Innovative Technology”, Intel Co., 29 April, 2024, <https://www.intel.com/content/www/us/en/education/intel-education.html>

[5] Pauleth Ip. *Virtual Reality in Education: How Schools Are Using VR*, December 7, 2022, <https://www.adorama.com/alc/virtual-reality-in-education/>

[6] Bar-Munoz H., Baldiris S., Fabregat R. “Augmented reality game-based learning: Enriching students' experience during reading comprehension activities”, *Journal of Educational Computing Research*, vol. 55, no. 7, (2017); pp. 901–936, <https://doi.org/10.1177/0735633116689789>

[7] Petrovych O., Zavalniuk I., Bohatko V. & Poliarush N. “Motivational Readiness of Future Teachers-Philologists to Use the Gamification with Elements of Augmented Reality in Education”, *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, vol.18, no. 03, (2023): pp. 4–21, <https://doi.org/10.3991/ijet.v18i03.36017>

[8] Hwang G.-J., Wu P.-H., Chen C.-C. & Tu N.-T. “Effects of an augmented reality-based educational game on students' learning achievements and attitudes in real-world observations”, *Journal Interactive Learning Environments*, vol. 24, no. 8, (2016); pp. 1895–1906, <https://doi.org/10.1080/10494820.2015.1057747>

[9] Alyousify A.L., Mstafa R.J. “AR-Assisted Children Book For Smart Teaching And Learning Of Turkish Alphabets”, *Journal Virtual Reality & Intelligent Hardware*, volume 4, issue 3, (2022); pp.263-277, <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2022.05.002>

[10] *Get more with Unity // URL: https://unity.com/pages/more-than-an-engine* 12.05.2023

[11] S. Barma S.D., Bacon N., Gingras M.-A. & Fortin M. “Observation and analysis of a classroom teaching and learning practice based on augmented reality and serious games on mobile platforms”, *IJSG*, vol. 2, no. 2, (2015); <https://doi.org/10.17083/ijsg.v2i2.66>

References

[1] Guo J., Weng D., Liu Y., Chen Q. & Wang Y. “Analysis of teenagers' preferences and concerns regarding HMDs in education”, *Journal Virtual Reality & Intelligent Hardware*, volume 3, issue 5, (2021); pp. 369-382, <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2021.09.004>

[2] Sharrab Y., Almutiri N. T., Tarawneh M. & Alzyoud F. “Al-Ghuwairi, A.-R. F., & Al-Fraihat, D. Toward Smart and Immersive Classroom based on AI”, *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 18(02), (2023); pp. 4–16, <https://doi.org/10.3991/ijet.v18i02.35997>

[3] leBrasseur R. “Virtual Site Visits: Student Perception and Preferences Towards Technology Enabled Experiential Learning”, *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 18(02), (2023); pp. 115–140. <https://doi.org/10.3991/ijet.v18i02.32013>

[4] “Help All Students Reach Their Full Potential with Smart, Secure, Innovative Technology”, Intel Co., 29 April, 2024, <https://www.intel.com/content/www/us/en/education/intel-education.html>

[5] Pauleth Ip. *Virtual Reality in Education: How Schools Are Using VR*, December 7, 2022, <https://www.adorama.com/alc/virtual-reality-in-education/>

[6] Bar-Munoz H., Baldiris S., Fabregat R. “Augmented reality game-based learning: Enriching students' experience during reading comprehension activities”, *Journal of Educational Computing Research*, vol. 55, no. 7, (2017); pp. 901–936, <https://doi.org/10.1177/0735633116689789>

[7] Petrovych O., Zavalniuk I., Bohatko V. & Poliarush N. “Motivational Readiness of Future Teachers-Philologists to Use the Gamification with Elements of Augmented Reality in Education”, *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, vol.18, no. 03, (2023): pp. 4–21, <https://doi.org/10.3991/ijet.v18i03.36017>

[8] Hwang G.-J., Wu P.-H., Chen C.-C. & Tu N.-T. “Effects of an augmented reality-based educational game on students' learning achievements and attitudes in real-world observations”, *Journal Interactive Learning Environments*, vol. 24, no. 8, (2016); pp. 1895–1906, <https://doi.org/10.1080/10494820.2015.1057747>

[9] Alyousify A.L., Mstafa R.J.. “AR-Assisted Children Book For Smart Teaching And Learning Of Turkish Alphabets”, *Journal Virtual Reality & Intelligent Hardware*, volume 4, issue 3, (2022); pp.263-277, <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2022.05.002>

[10] Get more with Unity // URL: <https://unity.com/pages/more-than-an-engine> 12.05.2023

[11] . Barma S.D., Bacon N., Gingras M.-A. & Fortin M. “Observation and analysis of a classroom teaching and learning practice based on augmented reality and serious games on mobile platforms”, *IJSG*, vol. 2, no. 2, (2015); <https://doi.org/10.17083/ijsg.v2i2.66>

С.М. Кенесбаев¹, Г.П. Мажобаева^{1*}

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

*e-mail: Mazhibaeva.84@mail.ru

БОЛАШАҚ ИНФОРМАТИКА МҰҒАЛІМДЕРІНЕ БАҚЫЛАУ-ӨЛШЕУ МАТЕРИАЛДАРЫН ЖАСАУДА ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ПАЙДАЛАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІ

Аңдатпа

Қазіргі білім беруде цифрлық технологиялар бақылау-өлшеу материалдарын (БӨМ) құруда және басқаруда маңызды рөл атқарады. Атап айтқанда, болашақ информатика мұғалімдеріне арналған БӨМ әзірлеуде цифрлық технологияларды қолдану бағалау әдістерін түрлендіруге және болашақ мұғалімдерді тиімдірек оқытуға мүмкіндік береді. Бұл мақала бақылау-өлшеу материалдарын әзірлеу барысында цифрлық технологияларды қолданудың тиімділігін зерттеуге арналған. Зерттеуге Қазақ Ұлттық қыздар педагогикалық университетінің 4 курс «Информатика» білім беру бағдаламасы бойынша білім алып жатқан 22 студенттері мен осы институттың 26 профессор-оқытушылары қатысты. Авторлар деректерді жинау құралы ретінде Google формада білім алушыларды даярлауда тиімді бағалау үшін қолданылатын әдістер мен құралдарды зерттеуге студенттер мен оқытушылардан сауалнамалар алынды. Сауалнама нәтижесі бойынша сандық талдау жүргізілді. Сауалнамада оқыту және оқу әдістері, білім мен дағдыны бағалау, кері байланыс, техникалық ресурстар мен жабдықтар сияқты модульдері бойынша сұрақтар берілді. Зерттеу нәтижесінде оқытушылар үшін цифрлық технологияларды оқу процесінде тиімді қолдануға үйрету қажеттілігін көрсетеді. Болашақ информатика пәні мұғалімдерін даярлауда цифрлық технологияларды пайдалану білім сапасының жоғарылауына әкеліп, заман талабына бейімделіп, студенттердің бойында қажет дағдылардың қалыптасуына ықпал етеді деген жалпы тұжырым қалыптасты.

Түйін сөздер: бақылау-өлшеу материалдары, информатика, цифрлық технологиялар, бағалау.

С.М. Кенесбаев¹, Г.П. Мажобаева¹

¹Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СОЗДАНИИ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ ИНФОРМАТИКИ

Аннотация

В современном образовании цифровые технологии играют важную роль в создании и управлении контрольно-измерительными материалами (КИМ). В частности, применение цифровых технологий в разработке КИМ для будущих учителей информатики позволяет трансформировать методы оценки и более эффективно обучать будущих учителей. Данная статья посвящена исследованию эффективности использования цифровых технологий при разработке контрольно-измерительных материалов. В исследовании приняли участие 22 студента Казахского национального женского педагогического университета, обучающиеся по образовательной программе «Информатика» 4 курса и 26 профессорско-преподавательского состава данного института. Авторы опросили студентов и преподавателей, чтобы изучить методы и инструменты, используемые для эффективной оценки обучения учащихся в форме Google в качестве инструмента сбора данных. По результатам опроса был проведен количественный анализ. В анкете были заданы вопросы по таким модулям, как методы обучения и оценивания, оценка знаний и навыков, обратная связь, технические ресурсы и оборудование. Исследование показывает необходимость обучения преподавателей эффективному использованию цифровых технологий в учебном процессе. Сформирован общий вывод о том, что использование цифровых технологий в подготовке будущих учителей информатики приведет к повышению качества знаний, адаптируется к современным требованиям и будет способствовать формированию у студентов необходимых навыков.

Ключевые слова: контрольно-измерительные материалы, информатика, цифровые технологии, оценка.

S. Kenesbayev¹, G. Mazhibayeva¹

¹Kazakh National Women's teacher training University, Almaty, Kazakhstan

THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF CONTROL AND MEASUREMENT MATERIALS FOR FUTURE COMPUTER SCIENCE TEACHERS

Abstract

In modern education, digital technologies play an important role in the creation and management of control and measuring materials (CMM). In particular, the use of digital technologies in the development of CMM for future computer science teachers makes it possible to transform assessment methods and train future teachers more effectively. This article is devoted to the study of the effectiveness of the use of digital technologies in the development of control and measurement materials. The study involved 22 students of the Kazakh National Women's Pedagogical University, studying under the 4th year educational program "Informatics" and 26 faculty members of this institute. The authors interviewed students and teachers to explore the methods and tools used to effectively evaluate student learning in the form of Google as a data collection tool. A quantitative analysis was carried out based on the results of the survey. The questionnaire asked questions on modules such as teaching and learning methods, knowledge and skills assessment, feedback, technical resources and equipment. The study shows the need to train teachers in the effective use of digital technologies in the educational process. A general conclusion has been formed that the use of digital technologies in the training of future computer science teachers will lead to an increase in the quality of knowledge, adapt to modern requirements and will contribute to the formation of necessary skills among students.

Keywords: control and measuring materials, computer science, digital technologies, assessment.

Негізгі ережелер

Бақылау-өлшеу материалдарына (БӨМ) және олардың педагогикалық жоғары оқу орынының студенттерінің кәсіби құзыреттіліктерін қалыптастырудағы рөліне басты назар аударылады. Оқуды интерактивті және қолжетімді ететін цифрлық технологияларды оқу үдерісіне енгізудің маңыздылығы атап өтілді.

Заманауи технологиялар студенттердің білімі мен дағдыларын дәлірек бағалауды жеңілдеті отырып, БӨМ құруды және пайдалануды жеңілдетеді. Сондай-ақ, болашақ информатика пәні мұғалімдерін даярлаудың ерекшеліктеріне назар аударылды, олар тек пәнді меңгеріп қана қоймай, оқу үрдісінде цифрлық құралдарды пайдалана білуі қажеттілігі мен олардың студенттердің мотивациясын арттыруға көмектеседіндігі қарастырылды. Цифрлық БӨМ-мен жұмыс істейтін болашақ информатика мұғалімдері цифрлық технологиялар оқу процесінің ажырамас бөлігіне айналып жатқан заманауи мектептерде жұмыс істеу үшін қажетті дағдылары қалыптасады.

Осылайша, зерттеу болашақ информатика мұғалімдері үшін бақылау-өлшеу материалдарын жасау мен пайдалануда цифрлық технологияларды интеграциялау оларды оқытудың тиімділігін айтарлықтай арттырып, оқу үдерісінің сапасын жақсартады.

Кірісіне

Цифрлық технологиялар қазіргі заманауи білім беруде маңызды рөл атқарады, бұл жүйе оқу тәсілін өзгертеді және студенттер мен оқытушыларға жаңа мүмкіндіктер жасайды. Олар ақпаратты тиімді пайдалануға, білімге қолжетімділікті жақсартуға, интерактивті және инновациялық оқу ортасын құруға мүмкіндік береді.

Білім берудегі цифрлық технологиялардың негізгі мақсаттарының бірі – білімге қолжетімділікті қамтамасыз ету. Олар шалғайдағы немесе мүмкіндігі шектеулі студенттерге онлайн курстар мен қашықтықтан оқыту арқылы сапалы білім алуға мүмкіндік береді. Бұл әсіресе мектепте немесе университетте физикалық тұрғыдан болу мүмкін емес жағдайларда, мысалы, пандемия кезінде өте маңызды роль атқарады.

К.Г.Кязимов [1] цифрлық білім беру технологияларының маңыздылығына туралы: «Кәсіптік білім беру мекемесінде заманауи цифрлық білім беру технологияларын қолдану бұл сапалы білім беру нәтижелеріне қол жеткізуге әкеледі, басқарушылық қызметтің тиімділігін арттырады, жас мамандарды кәсіби құзыреттілікке кезең-кезеңімен қол жеткізу процесін жеделдетеді» деп айтады.

Мәселе қазіргі цифрлық технологияларға негізделген инновациялық білім беру технологиялары мен дидактикалық үлгілерін жаппай және тиімді пайдалану арқылы білім беру жүйесін цифрлық білімді ұрпаққа бейімдеу қажет. Жаңа цифрлық технологиялардың білім беру процесінде тиімділігін өлшеу қиындықтарды туғызады. Себебі білім алушылардың оқу нәтижелеріне, олардың мотивациясына және оқу процесіне әсерін бағалау жан-жақты зерттеуді, сонымен қатар жаңа әдістемелік тәсілдерді қажет етеді.

Бұл мәселені шешу үшін мұғалімдердің біліктілігін арттыруды қамтамасыз ету, студенттерге арнап жаңа ресурстарды құру және білім берудегі цифрлық технологиялардың әсерін бағалаудың тиімділігін қамтамасыз ететін кешенді әдіс-тәсілдерді жасау қажеттілігі туындап отыр.

Жалпы білім беру жүйесін дамыту үшін цифрлық білім беру технологияларын пайдалану білім сапасын арттыру саласындағы маңызды стратегиялық бағыттардың бірі болып табылады. Бүгінгі таңда цифрлық технологияларды қолданудың даму сатысынан өтуде.

Г. Petana және С. Rosa [2] пікірлерінше «Цифрлық технологиялар бүкіл білім беру жүйесінде парадигмалық өзгерістерге әкелді. Ол тек білім беруші ғана емес, сонымен қатар ақпараттың бірлескен авторы, тәлімгер және бағалаушы».

Ал, М.А. Camilleri , А.С. Camilleri [3] зерттеулерінде үлестірмелі материалдар мен кітаптар үшін қағазды аз пайдаланудың қоршаған ортаға әсерінен бастап, уақытты үнемдеу мен зерттеудің ыңғайлылығына дейін цифрлық оқыту шығындарды азайтудың, ресурстарды тиімді пайдаланудың, тұрақтылықты ынталандырудың және студенттер мен мұғалімдердің қол жетімділігі мен әсерін кеңейтудің тамаша тәсілі болып табылатындығын атап көрсетеді.

Қазіргі уақытта білім беру үдерісінде цифрлық технологиялардың рөлі артып келеді. Бұл технологиялар тек оқыту әдісін өзгертіп қана қоймайды, сонымен қатар олар бақылау- өлшеу материалдарын (БӨМ) жасауға айтарлықтай әсер етеді. БӨМ әзірлеуде цифрлық технологияларды пайдалану оқу орындарына, оқытушыларға және студенттерге көптеген жеңілдіктер береді [4].

Бақылау-өлшеу материалдары қазіргі әлемдегі білім беру процестерінің құрамдас бөлігі болып табылады. Олар студенттердің білімін, дағдылары мен құзыреттерін бағалаудың құралы болып, сонымен қатар білім беру бағдарламалары мен оқыту әдістерінің тиімділігін бағалауға мүмкіндіктер береді.

Бақылау-өлшеу материалдары білім алушылардың кәсіби құзыреттіліктерінің қалыптасу деңгейін бақылау үшін мақсатты түрде әзірленген материалдар болып табылады, яғни БӨМ білім, білік және дағдыларды меңгеру дәрежесін нақты көрсете алатын сапалық және сандық көрсеткіштермен анықталады [5].

Цифрлық технологиялар БӨМ-ды студенттерді оқытудың әртүрлі деңгейлеріне икемді және тиімдірек бейімдеуге мүмкіндік береді. Цифрлық технологияларды пайдалану оқу үлгерімін бағалау тиімділігін арттыруда және оқу мүмкіндіктерін әртараптандыруда көптеген артықшылықтары көрінеді [6]. Жоғары білім беру саласындағы жұмысты бағалау цифрлық технологияларды енгізудің негізгі мақсаттарының бірі болып табылады. Бұл білім алушылардың үлгерімін, дағдыларын және жұмысын бағалауға айтарлықтай көмектеседі. Цифрлық технологияның көмегімен істелінетін іс-шаралардың көптеген түрлерінің жағдайын қысқа мерзімде бағалауға болады. Зерттеушілердің пікірінше, цифрлық технологияларды оқу орындарында білім алушыларды оқытуға оң әсерін тигізетіндігін, сонымен бірге мұғалімдер оларды пассивті және белсенді оқу іс-шараларына қарағанда конструктивті және интерактивті түрде студенттерді тартуды ынталандыру үшін пайдаланған кезде олар ерекше тиімді болатындығын атап айтқан [7].

Интерактивті тапсырмалар, кіріктірілген тесттер және бейімделген платформалар әрбір студенттің жеке қажеттіліктері мен білім деңгейін ескере отырып, нақты уақыт өлшемінде сұрақтардың күрделі түрін меңгеруге мүмкіндік береді. Сондай-ақ, цифрлық технологияларды пайдалану арқылы сұрақтар мен тапсырмалардың алуан түрлерін құруға болады. Интерактивті тапсырмалар, мультимедиялық элементтер, симуляциялар және виртуалды зертханаларда жұмыс істеу барысында цифрлық технологияларды пайдалану оларды қызықтырақ және әртүрлі оқу стильдерін қолданып дәрістерді беруге болады.

Цифрлық технологиялардың өзін қолдану мұғалімге білім алушылардың назарын оқу процесіне көбірек аударуға мүмкіндік береді, өйткені цифрлық технологияларды пайдалану оқытудың заманауи қосымша әдістемелік жолдарын меңгеру керектігін көрсетеді.

Білім беруді цифрландыру бүгінгі күні шығармашылық ойлау мен қабілеттілікті жетілдірудің принциптеріне негізделген. Жоғары білімнің міндеті - шығармашылық қабілеттердің дамуына ықпал ету, бұл бүгінгі күні ресми білімнен гөрі маңызды. Оқытушының міндеті – білім алушының дамуына серпін беру [8].

Автоматтандырылған бақылау жүйесі сияқты цифрлық құралдарды пайдалану арқылы мұғалімдер әдеттегі бағалауға уақытты үнемдей алады және нәтижелерді тереңірек талдауға көп көңіл бөледі. Автоматтандырылған кері байланысты пайдалана отырып, компаниялар мен білім беру мекемелері студенттерге ақпаратты тез қабылдап, ұсына алады [9]. Ол сондай-ақ адам қателігінің ықтималдығын азайтады және объективті бағалауды қамтамасыз етеді.

БӨМ-ді құруда цифрлық технологияларды пайдалануда біраз қиындықтар кездеседі. Ең алдымен, студенттердің белгілі бір топтары үшін мүмкін болатын технологиялық кедергілерді ескере отырып, қолжетімділік пен теңдік қамтамасыз етілуі керек. Сондай-ақ онлайн бақылау өткізу кезінде деректер қауіпсіздігі мен алаяқтықтан қорғауды қамтамасыз ету маңызды. Дегенмен, студенттер мен оқытушылар қазір осы жаңа технологияны аудиториядағы тиімділік пен нәтижелілікті арттыру үшін пайдалануда.

Бақылау-өлшеу материалдарын жасаудағы цифрлық технологиялар білім беру ұйымдары мен болашақ педагогтерді даяралау, бақылау форматтарын кеңейту мен интерактивті бағалауды автоматтандырудың заманауи құралдарымен қамтамасыз етеді. Бұл артықшылықтар оқу үдерісінің тиімділігін арттыруға және студенттерді заманауи әлемнің қиындықтарына жақсырақ дайындауға ықпал етеді.

Болашақ информатика мұғалімдері программалау және ақпараттық технологиялар әлеміндегі соңғы тенденциялармен таныс болып, танымал бағдарламалау тілдерін меңгеру, заманауи фреймворктермен жұмыс істеу және программалық жасақтама архитектурасын түсіне білу керек. Жоғары деңгейде білім беру үшін тек технологияны білу жеткіліксіз. Болашақ информатика мұғалімдері оқытудың заманауи әдістерін, соның ішінде интерактивті және шығармашылық тәсілдерді меңгеруі керек. Бұған сыни тұрғыдан ойлауға және мәселелерді шешуге ықпал ететін білім беру саласындағы оқыту бағдарламаларының жаңа заман талабына сай жасалған оқу-әдістемелік құралдары болу керек.

Болашақ информатика мұғалімдерін дайындауда ақпараттық технологияларды әртүрлі пәндер мен сынып деңгейлеріне кіріктіру әдістері, сондай-ақ оқыту үдерісін қолдау мен интерактивті дәрістерді құру үшін технология түрлерін пайдаланады.

Оқытудың мазмұндық жүйесін жетілдіру үшін кешенді оқыту курсының стандарттарын әзірлеуді және жоғары бейімделетін «дәлдік» оқыту үлгісін құруды ұсынды. Сонымен қатар, оқыту мазмұны қолданбалы қосымшаларды оқыту, аудио және бейне жасау және өңдеу сияқты практикалық технологиялардың үлесін арттыру арқылы үнемі жаңартылып отыруы керек.

Болашақ информатика мұғалімдерін нәтижелі дайындау тек теориялық біліммен қатар практикалық тәжірибені жетілдіруді де қажет етеді. Мектептер мен оқу орталықтарындағы практикумдар студенттерге алған дағдыларын нақты жағдайда қолдануға көмектеседі.

Болашақ информатика мұғалімдерін даярлау техникалық білімнің, әдістемелік шеберліктің және педагогикалық құзіреттіліктің үйлесімділігін талап ететін күрделі процесс. Информатика

мұғалімдерінің нәтижелі дайындығы цифрлық қоғамның болашағын қалыптастыруда, кейінгі ұрпаққа заманауи ақпараттық әлемге сәтті бейімделу үшін қажетті дағдыларды беруде шешуші рөл атқарады.

Білім беруде цифрлық технологиялардың дамуымен студенттердің білімін бағалау әдістемесінде елеулі өзгерістер орын алуда. Бұл түрлендірудің негізгі аспектілерінің бірі - интерактивті бағалау формаларын құру мүмкіндігінің ғылыми әдістемелік жолдарын жасауды талап етеді [10].

Студенттердің жетістігі мұғалімдердің педагогикалық тәжірибесін жақсарту үшін де, үлгерімі төмен студенттерге нақты нұсқаулықтық қолдау көрсету үшін де қалыптастырушы бағалауды қолдану болып табылады [11].

Ең көрнекті өзгерістердің бірі электронды тестілер мен сауалнамаларды қолдану болып отыр. Оқытушылар енді бағалау процесіне әртүрлі ұсыныстар айта отырып, бірнеше таңдау жасауды, сәйкестендіруді және басқа сұрақ түрлерін жасай алады. Цифрлық платформалардың арқасында сынақ нәтижелерін жылдам тексеруге болады, бұл уақытты үнемдейді және дереу кері байланыс бере алады. Сондай-ақ, практикалық дағдыларды қажет ететін пәндер үшін цифрлық технологиялар симуляциялар мен виртуалды зертханаларды ұсынады. Бұл студенттерге бақыланатын ортада дағдыларды үйренуге мүмкіндік береді, яғни бұл әсіресе физикалық ресурстарға қолжетімділік шектеулі болса пайдалы. Оқытушылар студенттерге виртуалды шындықта тәжірибе жасауға және түсініктерді үйренуге мүмкіндік беретін интерактивті сценарийлер жасай алады.

Бағалау материалдарында аудио, бейне және графиканы қолдану студенттердің оқу тәжірибесін байытады. Презентацияларды, интерактивті графиканы және бейне сабақтарды тапсырмаларға қосуға болады, бұл күрделі ұғымдарды визуализациялауға және курс материалдарын қол жетімді етуге көмектеседі. Цифрлық технологиялар сонымен қатар нақты уақыт ішінде кері байланысты қамтамасыз ету мүмкіндігін береді. Оқытушылар цифрлық ортада студенттердің үлгерімі туралы тікелей түсініктеме бере алады, қателерді түсіндіре алады және жақсарту бойынша ұсыныстар ұсына алады.

Төменгі 1-кестеде дәстүрлі әдістермен салыстырғанда бағалаудың интерактивті түрлерінің тиімділігін зерттеудің негізгі аспектілері, сондай-ақ ықтимал әдістер мен күтілетін нәтижелер туралы қысқаша мәліметтерді береміз:

Кесте 1. Дәстүрлі әдістермен салыстырғанда бағалаудың интерактивті түрлерінің тиімділігіннің негізгі аспектілері

<i>N</i>	<i>Зерттеу аспектісі</i>	<i>Зерттеу әдістері</i>	<i>Күтілетін нәтиже</i>
<i>1.</i>	<i>Студенттердің орындауы</i>	<i>Интерактивті формалар мен дәстүрлі әдістерді қолдану арқылы топтарға арналған емтихан және тест нәтижелерін салыстырмалы талдау. Студенттердің әртүрлі әдістердің тиімділігін қабылдауы туралы сауалнама жүргізу.</i>	<i>Бағалаудың интерактивті түрлерін пайдалана отырып, топпен жұмыс жасауды жақсартады. Студенттердің интерактивті әдістерге деген оң көзқарасы қалыптасады.</i>
<i>2.</i>	<i>Студенттердің мотивациясы</i>	<i>Студенттердің мотивация деңгейін бағалау үшін сұхбаттар мен сауалнамалар. Оқушылардың сабаққа қатысуы мен белсенділігінің статистикасын салыстыру.</i>	<i>Интерактивті әдістерді қолдану арқылы студенттердің жалпы мотивациясы, белсенділік пен сабаққа қатысуы артады.</i>

3.	Оқуға белсенділік	Студенттердің пікірталастарға және интерактивті тапсырмаларға қатысу деңгейін бақылау. Сауалнама нәтижелерін салыстырмалы талдау.	Интерактивті әдістерді қолдану арқылы студенттердің оқу үрдісіне қатысуын арттырады. Топтардағы қарым-қатынас пен өзара әрекетті жақсартады.
4.	Кері байланыс	Дәстүрлі және интерактивті әдістердегі кері байланыс құрылымын салыстырмалы талдау. Кері байланыс беруге қажетті уақытта бағалауды жүргізу.	Интерактивті әдістерді қолдану кезінде кері байланыс сапасын арттыру. Кері байланыс беруге кететін уақытты азайту.
5.	Қосымша дағдыларды дамыту	Сыни тұрғыдан ойлау, дербестік, топпен жұмыс жасау сияқты дағдылардың дамуын өлшеу. Дағдыларды өзін-өзі бағалау бойынша сауалнама нәтижелерін салыстыру.	Интерактивті әдістерді қолдану арқылы студенттер арасында қосымша дағдыларды дамыту деңгейін артады. Студенттердің кәсіби және тұлғалық дамуына интерактивті әдістердің әсері туралы оң көзқарастары қалыптасады.

Бейімделетін оқыту жүйелері әр студенттің білім деңгейіне байланысты жеке тапсырмаларды құруға мүмкіндік береді. Бұл оқудың тиімділігін арттырып қана қоймай, әр студенттің жеке қажеттіліктерін ескере отырып, бағалауды әділетті жүргізеді.

Цифрлық технологиялар автоматтандырылған бағалау әдістерін қолдануға мүмкіндік береді, бұл мұғалімдердің уақытын айтарлықтай үнемдейді. Оқытуды басқару жүйелері (LMS) ұсынатын жылдам кері байланыс студенттерге қателерді дереу түзетуге және дағдыларын жақсартуға көмектеседі.

Қазіргі білім беру әлемінде оқытудың сапасы мен білім беру бағдарламаларының тиімділігін арттыру үшін цифрлық технологияларды қолдануға айтарлықтай бетбұрыс болды. Бұл ауысымды жеңілдететін негізгі құралдардың бірі - Learning Management Systems (LMS) немесе оқытуды басқару жүйелері. LMS - виртуалды кеңістікте білім беру процестерін ұйымдастыруға, басқаруға және бақылауға арналған қуатты онлайн платформалар. LMS -тің оқу-ақпараттық бақтарының негізгі мақсаты білім алушылар мен оқытушылар үшін оқу процесін ұйымдастыруды әдіснамалық, дидактикалық және ақпараттық қамтамасыз етудің деңгейі мен сапасын арттыру болып табылады. MOODLE-learning ақпараттық/білім беру ортасы икемді және бейімделген болып табылады [12]. LMS дәріске қатысу, тапсырмаларды орындау мерзімі, талқылауға қатысу және тестілеу сияқты студенттердің белсенділігіне қатысты әртүрлі деректерді автоматты түрде жинайды [13]. Бұл деректер оқытушылар мен білім беру басшыларына жылдам қол жеткізуге мүмкіндік беретін ыңғайлы және құрылымдық пішінде сақталады. LMS сонымен қатар оқытушыларға студенттердің жұмысын талдауға мүмкіндік береді. Бұған сынақ нәтижелері мен тапсырмаларды бағалау, сондай-ақ семестрдегі оқу үлгерімін бағалау кіреді. Автоматтандырылған бағалау жүйелері мен бағалау кітаптары бұл процесті жеңілдетеді. Бизнеске автоматтандырылған бағалау және кері байланыс компанияларға процестерді оңтайландыруға, қызметкерлердің өнімділігін арттыруға және нарықтағы өзгерістерге тез жауап беруге көмектеседі. Тұрақты және жедел бағалау стратегиялардың, басқарушылық және техникалық шешімдердің тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде білім берудің ыңғайлы және бәсекеге қабілетті болуына ықпал етеді. Дегенмен, көптеген артықшылықтарға қарамастан, автоматтандырылған бағалау және кері байланыс жүйелерін енгізу мұқият жоспарлау мен басқаруды талап етеді. Деректер қауіпсіздігін қамтамасыз ету, пайдаланушыларды жүйені пайдалануға үйрету, оқыту мен еңбек қатынастарында этикалық ұсыныстар мен көзқарастарды ескеру маңызды.

Зерттеу әдіснамасы

Болашақ информатика мұғалімдеріне арналған бақылау-өлшеу құралдарын әзірлеу кезінде білім алушылардың білімін бағалау мен тексеруді жеңілдету үшін әртүрлі цифрлық технологиялар қолданылады. Бұл технологияларды болашақ информатика мұғалімдерін оқыту мен бағалау процесінде пайдалануда тиімді. Төменде 2-кестеде болашақ информатика мұғалімдері үшін бақылау және өлшеу құралдарын әзірлеудегі негізгі қадамдардың сипаттамасы берілген:

Кесте 2. Болашақ информатика мұғалімдері үшін бақылау және өлшеу құралдарын әзірлеудегі негізгі қадамдардың сипаттамасы

Кезең	Тапсырмалар	Цифрлық технологиялар
1. Мақсаттары мен міндеттері	Негізгі мақсаттар мен міндеттерді бақылаңыз және анықтаңыз.	Мысалы: қолданылмайды
2. Технологияларды таңдау	Цифрлық технологияларды анықтаңыз.	- Білім беру платформалары; - Курстарды басқару жүйелері (LMS); - Онлайн тестілеу және бейімделу платформалары.
3. Контентті құру	- Бақылау материалдарын әзірлеңіз: тесттер, тапсырмалар, сұрақтар.	- Google Form; - Quizizz; - Тест және сауалнама конструкторлары.
4. Зертханалық интеграция	- Виртуалды зертханалар мен симуляторларды пайдалануды қарастырыңыз.	Тренажерлар
5. Баға	Білімді бағалау әдістерін таңдаңыз: автоматты бағалау, өзара бағалау.	- Автоматты сынақ ұнайлары, - Өзара бағалау.
6. Бейімделу жүйелері	Бейімделетін оқыту жүйесін, дербестендірілген тапсырмаларды әзірлеңіз.	- Бейімделетін оқыту жүйелері
7. Автоматтандыру	-Процесті автоматтандыруды тексеріңіз: нәтижелерін бағалау, статистика, кері байланыс.	- Нәтижелерді автоматты өңдеу; - Деректерді талдау және есеп беру жүйелері.
8. Тестілеу және тиімділеу	Құралдарды тестілеуді жүргізу, кері байланыс пен тестілеу нәтижелеріне сәйкес тиімділеу.	Тестілеу және тиімділеу
9. Оқытушылардың біліктілігін арттыру	Оқытушыларды жаңа бақылау-өлшеу құралдарын пайдалануға оқытуды қамтамасыз етіңіз.	Жаңа цифрлық технологияларды қолдану бойынша оқу курстары мен материалдар
10. Іске асыру	Құралдарды оқу процесіне енгізу, пайдалану мен тиімділігін бақылаңыз.	- Оқу үдерісін интеграциялау; - Қолдан мониторингі және тиімділігі.

Болашақ информатика мұғалімдеріне арналған бақылау-өлшеу материалдарын әзірлеуде цифрлық технологияларды қолданудың тиімділігін зерттеу – білім беру және ақпараттық

технологиялар саласындағы қазіргі тенденция. Зерттеудің бұл түрі заманауи технологиялардың оқу үдерістеріне әсерін бағалауға және болашақ информатика мұғалімдерінің білімін бақылау сапасын арттыруға мүмкіндік береді. Осы мақсатта зерттеу жұмысы Қазақ Ұлттық қыздар педагогикалық университетінің 4 курс «БВ01506-Информатика» және «БВ01514-Информатика-робототехника» білім беру бағдаламасы бойынша білім алып жатқан 22 студенттерден сауалнама алынды. Бұл студенттерді даярлауда тиімді бағалау үшін қолданылатын әдістер мен құралдарды зерттеуге арналған сауалнама болып табылады. Сауалнамада оқыту және оқу әдістері, білім мен дағдыны бағалау, кері байланыс, техникалық ресурстар мен жабдықтар модульдері бойынша сұрақтар берілді. Сауалнамаға нәтижесінде қатысқан 23 студенттің 95%-ы цифрлық технологияларды білімді бақылауда тиімді деп санайтындықтарын көрсетті. Сауалнама қорытындысы 3-кестеде толығымен берілген.

Кесте 3. Студенттерді даярлауда тиімді бағалау үшін қолданылатын әдістер мен құралдарды зерттеуге арналған сауалнама

Сауалнама модулі	Сұрақ	Студенттердің жауаптары (студент саны, %-дық көрсеткіш)
Оқыту және оқу әдістері	Пән оқытушылары бағалау үшін қандай әдістерді қолданады?	– Жазбаша тесттер – 4 (17.3%) – Ауызша сұрақтар – 1 (4.3%) – Үй тапсырмалары- 2 (8.7%) – Жобалар – 10 (43%) – Практикалық жұмыстар немесе зертханалық жұмыстар – 6 (26%)
	Пән оқытушылары Сіздердің білімдеріңізді цифрлық технологияларды білімді бақылау барысында қолданылды ма?	– Ия – 15 (65.2%) – Жоқ - – Кейбір жағдайларда – 8 (34,8%)
	Сіздің оқыту бағдарламаңызда қандай оқыту әдістерін тиімді деп санайсыз? (Бірнеше опцияны таңдаңыз)	– Дәрістер мен семинарлар – 18 (78%) – Топтық жобалар – 17 (73%) – Практикалық жаттығулар – 8 (34,8%) – Виртуалды сабақтар мен онлайн курстар – 12 (52%) – Қашықтықтан оқыту технологиялары – 12 (52%)
	Осы материалдардың қайсысын білім алуыңызға тиімді деп санайсыз? (Бірнеше опцияны таңдауға болады)	– Бейне сабақтар – 18 (78%); – Интерактивті тапсырмалар – 18 (78%); – Электрондық оқулықтар – 8 (34,8%); – Тесттер мен викториналар – 15 (65.2%); – Басқа (көрсетіңіз):
Білім мен дағдыны бағалау	Білім алушылардың жетістіктерін бағалау үшін қандай бағдарламалар немесе платформалар қолданар едіңіз?	– Электрондық портфолиолар – 2 (8.6%); – Арнайы онлайн платформалар – 10 (43.4%); – Оқу орындарында бекітілген оқытуды басқару жүйелері (LMS) – 11 (47.8%); – Басқалар (көрсетіңіз):
	Кәсіби дағдыларын бағалаудың қандай әдістері ең тиімді деп санайсыз? (бірнеше таңдау)	– Тестілеу - 10 (43.4%); – Жобалық жұмыстар - 10 (43.4%); – Оқу материалдар бойынша тапсырмалар 15(65.2%); – Бағалаудағы басқа ұсынысыңыз

		(көрсетіңіз): 5(21%);
Кері байланыс	Бақылау нәтижелері бойынша кері байланыс процесі қалай ұйымдастырылады?	– Жеке консультациялар – 10 (43.4%); – Электрондық сауалнамалар мен бақылаулар – 8 (34.7%); – Топтық талқылаулар, ауызша сұраулар – 17 (73.9%); – кері байланыс платформаларын қолдану – 20 (86,8%); – Басқалар (көрсетіңіз):
	Пән оқытушысы цифрлық құралдарды пайдалана отырып, қаншалықты жиі кері байланыс жасайды?	– Әр сабақтан кейін - 12 (52,1%); – Аптасына бір рет 11(47.8%); – Айына бір рет - – Сирек -
	Оқытудың тиімді болуы үшін техникалық базаны жетілдіру қажет пе?	– Ия қажет- 16 (69.5%); – Қажет емес – Басқа мүмкіндіктерді пайдалану - 7 (30,4%);

Әлеуметтік сауалнамалар білім беру зерттеулерінде ақпарат алудың пайдалы құралы болып табылады. «Қазіргі заманғы оқу үдерісіндегі цифрлық құралдар мен ресурстар» сауалнамасы Қазақ мемлекеттік қыздар педагогикалық университетінің Физика, математика және цифрлық технологиялар институтының оқытушыларына ұсынылды. Сауалнамаға 26 оқытушы қатысты. Сауалнама 6 сұрақ блогынан тұрды. Алынған нәтижелерді талдап көрейік.

Сұрақтардың бірінші блогы жеке деректерге қатысты болды: жынысы, еңбек өтілі, білімі, мамандығы. Респонденттердің 90%-дан астамы әйелдер болса, 10%-ы ғана ерлер. Кадр сапасы, жұмыс тәжірибесіне қарай анықталады. Осыған байланысты оқытушылардың педагогикалық тәжірибесі анықталды. Сауалнаманың екінші және үшінші сұрақтары қазіргі білім беру үдерісіндегі цифрлық құралдар мен ресурстардың үнемі өсіп келе жатқан рөліне оқытушылардың жалпы көзқарасын білуге мүмкіндік берді. Респонденттердің басым көпшілігі цифрлық ресурстарды пайдалану қажеттілігі туралы оң пікірлерін (1 және 2-сурет) берді.



Сурет 1. Респонденттердің цифрлық ресурстарды пайдалану қажеттілігі туралы пікірлері

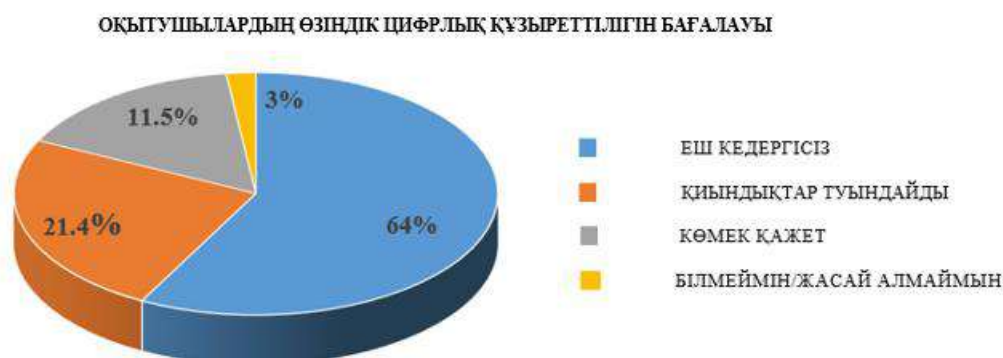
Сонымен, сұраққа: «Сіздің берілген сұраққа жауабыңыз қандай болады: «Оқытушы өз жұмысында цифрлық құралдар мен ресурстарды пайдалануы керек пе?» деген сұраққа 23

респондент (94%) оң реакцияны таңдады. Келесі «Оқытушы цифрлық оқыту құралдарын таңдау мүмкіндігі бар ма?» деген сұраққа 22 (85%) оқытушының оң жауабы тіркелді.

Сауалнамадағы сұрақтардың төртінші блогы оқытушылардың цифрлық құзыреттілігін анықтауға бағытталған. Он мәлімдемені (мұғалімнің әрекетін) төрт позиция бойынша бағалау керек болды:

- мәселе жоқ;
- қиындықтарды бастан кешіру;
- көмек қажет;

- мен білмеймін/жасай алмаймын. Барлық он мәлімдеме бойынша деректерді жинақтайтын болсақ, мұғалімдердің көпшілігі өздерінің цифрлық құзыреттілігін өте жоғары бағалайтынын көреміз. Орташа алғанда, 17 оқытушы ешқандай мәселе жоқ деп есептейді, 5-і кейде көмекке мұқтаж, 3-і қиындықтарды бастан кешіреді және тек 1-і бірдеңе жасауды білмейтінін мойындайды (2-сурет).



Сурет 2. Оқытушылардың цифрлық құзыреттілігін анықтауға бағытталған сауалнама нәтижесі

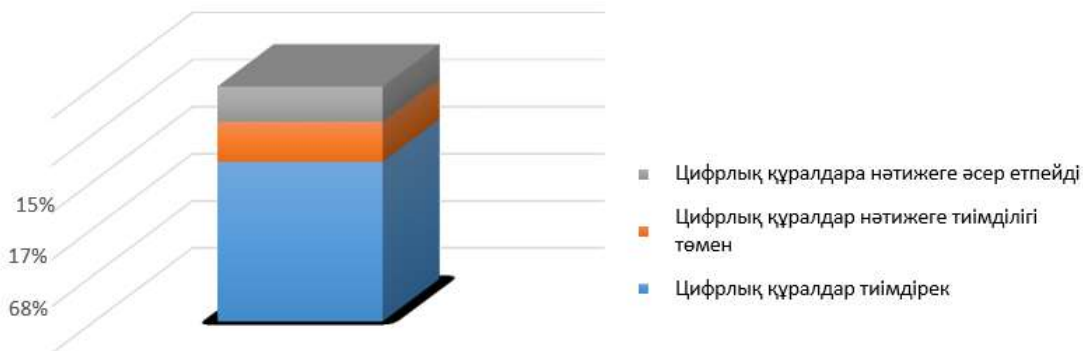
Тізімнің жеке мәлімдемелерін таңдау бойынша «еш кедергісіз» жауаптардың максималды саны-15 (жалпы санының 72%) «сабақта өз қызметіме цифрлық құралдар мен ресурстарды үнемі қолданамын» әрекетін бағалау кезінде тіркеледі; ал ең азы – 11 (46 %) – іс-әрекетті бағалау кезінде «білім алушылардың оқуға ынтасы мен ынтымақтастығын арттыруда цифрлық ортада педагогикалық жағдаяттарды үнемі жасаймын». Бұл әр мұғалімнің өз сабақтарында қандай да бір жолмен цифрлық ресурстарды (атап айтқанда, презентациялар және т.б.) пайдаланатындығымен түсіндіріледі, бірақ мұғалімнің стандартты емес мәселелерді шешуде цифрлық құралдарды қолдануы қиын, ол үшін цифрлық ресурстарды қолдануда практикалық дағдыларды қажет етеді.

Сауалнаманың бесінші блогы оқытушылардың студенттердің білімін бақылауда цифрлық құралдарды қолдану тәжірибесін зерттеді. Сауалнамаға қатысқан оқытушылардың 59%-ы мұндай тапсырмаларды өз бетінше құрастыра алады, 36% - ы дайын тапсырмаларды қолданады, 5%-ы мүлдем қолданылмайды. Сауалнаманың алтыншы блогының сұрақтарына жауап бере отырып, оқытушы жеке тәжірибесіне сүйене отырып, студенттердің жоғары нәтижелеріне қол жеткізуіне цифрлық ресурстардың немесе құралдардың әсер ету дәрежесін бағалау керек болды. Таңдау келесі мәлімдемелерде болды:

- цифрлық құралдар білім нәтижесіне әсер етпейді;
- цифрлық құралдар білім нәтижесіне әсер етеді, өйткені олар дәстүрлі әдістерге қарағанда тиімдірек;
- цифрлық құралдар білім нәтижесіне әсер етеді, бірақ олар дәстүрлі әдістерге қарағанда тиімділігі төмен.

- Цифрлық құралдар мен ресурстардың оқытушылардың білім беру нәтижелеріне әсер ету дәрежесін түсінетінін көрсетіп, «цифрлық құралдар нәтижеге әсер етеді, өйткені олар дәстүрлі әдістерге қарағанда тиімді» жауап нұсқасын таңдаған оқытушылардың орташа пайызы - 68% құрады (3-сурет).

ОҚЫТУШЫЛАРДЫҢ ЦИФРЛЫҚ ҚҰРАЛДАР МЕН РЕСУРСТАРДЫҢ БІЛІМ АЛУШЫЛАРДЫҢ БІЛІМ БЕРУ НӘТИЖЕЛЕРІНЕ ӘСЕР ЕТУ СИПАТЫН БАҒАЛАУЫ



Сурет 3. Цифрлық құралдар мен ресурстардың оқушылардың білім беру нәтижелеріне әсер ету сипатын бағалануы

Зерттеу нәтижелері

Сауалнама барысында алынған мәліметтерді талдау нәтижелерін қорытындылай келе, оқытушылардың цифрлық ресурстар мен құралдарды білетінін және пайдаланатынын, олардың студенттердің білім беру нәтижелерін қалыптастырудағы маңыздылығын түсінетінін атап өтеміз. Оқытушылардың студенттердің білім деңгейлерін бақылауда қолданылатын бақылау-өлшеу құралдарын цифрлық технологияның көмегімен тиімді, дұрыс бағалай алады ма? деген сұрақ туындайды. Бұл сұрақ ашық болып қалады және одан әрі зерттеуді қажет етеді.

Болашақ информатика мұғалімдері үшін елімізде цифрлық технологияларды енгізу оқу үдерісін жетілдірудегі сәтті қадам екенін көрсетті. Дегенмен, технологияға тең қолжетімділікті қамтамасыз ету және мұғалімдерді жаңа құралдарды қолдануға үйрету сияқты кейбір қиындықтарды ескеру қажет.

Білім берудегі цифрлық технологияларды интеграциялау болашақ информатика мұғалімдерін дайындау сапасын айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік береді. Кейінгі зерттеулер цифрлық технологияларды білімді бақылауда қолданудың ұзақ мерзімді әсерін зерттеуге, сондай-ақ басқа білім беру бағдарламалары мен мамандықтары үшін әдістерді бейімдеуге бағытталуы мүмкін. Зерттеу нәтижесінде оқыту тиімділігін арттыруға көмектесетінін растайды. Цифрлық медианы пайдаланатын интерактивті оқыту әдістері, модельдеу және практикалық әрекеттер студенттерге ақпаратты тиімді сақтауға және маңызды дағдыларды дамытуға мүмкіндік береді.

Дискуссия

Цифрлық технологияларды қолдану студенттердің практикалық дағдыларын дамытуға ықпал етеді. Бұл болашақ информатика мұғалімдері үшін маңызды, өйткені практикалық дағдылар оларға табысты оқытуға және оқытудың инновациялық әдістерін өз тәжірибесіне енгізуге мүмкіндік беріп, цифрлық технологияларды пайдаланып білім беруді қызықты етеді. Интерактивті элементтер, ойын тәсілі және оқуда заманауи технологияларды пайдалана білу студенттердің ынтасын және пәнге деген қызығушылығын арттыруға көмектеседі. Бағалау жүйесінде автоматтандырылған бағалау жүйелері және цифрлық технологиялар арқылы жылдам кері байланыс жасау бағалау процесін жақсартады. Бұл нақты уақыт режимінде оқушылардың түсіну деңгейін дәлірек өлшеуге және оқыту әдістерін бейімдеуге мүмкіндік береді. Цифрлық технологиялардың интеграциясы болашақ информатика мұғалімдеріне еңбек нарығында сұранысқа ие дағдыларды береді. Бұл қазіргі қоғам талаптарына жауап беріп, студенттерді болашақ кәсіби қызметінде заманауи технологияларды оқыту процесінде тиімді пайдалануға дайындайды. Зерттеу нәтижесінде сонымен қатар мұғалімдерді цифрлық технологияларды оқу процесінде тиімді қолдануға үйрету қажеттілігін көрсетеді. Болашақ

информатика пәні мұғалімдерін даярлауда цифрлық технологияларды пайдалану білім сапасының жоғарылауына әкеліп, заман талабына бейімделіп, студенттердің бойында қажет дағдылардың қалыптасуына ықпал етеді. Бұл нәтижелер информатика пәнін оқыту бойынша білім беруде жоғары деңгейді қамтамасыз ету үшін цифрлық білім беру шешімдеріне одан әрі зерттеулер мен инвестициялаудың маңыздылығын көрсетеді.

Заманауи білім беруде цифрлық технологиялар маңызды рөл атқарады. Олар білімге қолжетімділікті жақсартуға, оқытудың тиімділігін арттыруға және оқыту әдістерін әртараптандыруға мүмкіндік береді. Оқу процесінде цифрлық технологияларды қолдану студенттерге интерактивті және дараланған оқытуды алуға, сонымен қатар цифрлық дәуірде табысқа жету үшін қажетті дағдыларды дамытуды талап етеді.

Сауалнама барысында алынған мәліметтерді талдау нәтижелерін қорытындылай келе, оқытушылардың цифрлық ресурстар мен құралдарды білетінін және пайдаланатынын, олардың студенттердің білім беру нәтижелерін қалыптастырудағы маңыздылығын түсінетінін атап өтеміз. Мұғалімдер өздерінің цифрлық құзыреттілік деңгейін барабар бағалайды ма деген сұрақ ашық күйінде қалып отыр және одан әрі зерттеуді қажет етеді. Тек респонденттердің көпшілігі табысты кәсіби қызмет үшін жеткілікті деп санайтынын көрсетті. Цифрлық құралдарды меңгермеген немесе оларды пайдалану сәнді хобби, кейде сабаққа дайындалу кезінде ауыртпалық деп санайтын мұғалімдердің белгілі бір пайызы кез келген жағдайда кездесуі мүмкін. Дегенмен, оның қысқаруы, біздің ойымызша, мұғалімдердің цифрлық білім берудің мәніне деген көзқарасы өзгерген кезде болады. Цифрлық технологияларды мектеп жағдайында мүмкін болатын жалғыз мүмкіндік емес екенін есте ұстаған жөн, бірақ ол студент үшін де, оқытушы үшін де жетістіктер тудыратыны сөзсіз. Оқытуды дербестендірудің ресурстары пайда болуда, ынтымақтастықтың жаңа үлгілері пайда болып, студенттер үшін инновациялық және тартымды білім беру технологияларының ауқымы кеңейіп келеді. Цифрлық құралдар дидактикамен және пәндерді оқыту әдістерімен тәжірибе жасауға, студенттер мен олардың ата-аналарынан жылдам кері байланыс алуға мүмкіндік береді. Олар студенттермен белсендірек қатысушыларға айналдырып, мұғалімдерге оқыту мен тәрбиелеудің жаңа тәсілдерін, әдістерін, үлгілерін жасауға мүмкіндік бере отырып, оқу-тәрбие процесін жоғары деңгейге көтереді. Қолданыстағы цифрлық білім беру ресурстары мен платформаларын зерттеу бақылау-өлшеу материалдарын құруда қандай құралдар белсенді қолданылатынын анықтауға мүмкіндік береді. Бұл веб-сайттарды, онлайн платформаларды, қолданбаларды және басқа цифрлық құралдарды талдауды қамтуы мүмкін.

Қорытынды

Болашақ информатика мұғалімдеріне арналған бақылау-өлшеу материалдарын жасауда цифрлық технологияларды қолданудың тиімділігі оқу тәжірибесіндегі елеулі қадам болып табылады. Заманауи цифрлық құралдарды енгізу мамандарды даярлау сапасын арттырып қана қоймай, оқу материалын тереңірек түсінуге және меңгеруге ықпал етеді. Сонымен қатар, цифрлық технологияларды пайдалану бақылау-өлшеу материалдарын әзірлеу және жаңарту процесін жеңілдетеді, бұл білім беру ұйымдарына оқу жоспарларының өзгерістеріне және еңбек нарығының талаптарына тез жауап беруге мүмкіндік береді.

Қорытындылай келе, болашақ информатика мұғалімдерін жоғары сапалы даярлау үшін және білім беруді цифрлық трансформациялау жағдайында жұмыс істеуге дайындығын қамтамасыз ету үшін болашақта оқу үдерісінде цифрлық технологиялар көмегімен тиімді бақылау-өлшеу құралдарын әзірлеу керектігі және олардың тәжірибе жүзінде тиімділігін бағалайтын әдістеменің қажеттілігі туындады.

Пайдаланған дереккөздер тізімі

[1] Кязимов К.Г. Цифровая образовательная среда – важное условие подготовки квалифицированных кадров: моногр. М., 2021. 196 с.;

- [2] G. Petana, C. Rosa, *Digital Transformation and the Impact in Knowledge Management* // Scitepress- Science and Technology Publications, pp.180-187, 2020. <https://doi.org/10.5220/0010134001800187>
- [3] Camilleri M.A., Camilleri A.C. *Digital Learning Resources and Ubiquitous Technologies in Education* // *Technology, Knowledge and Learning* 22 (1), 65-82, 2017
- [4] Dunn, Karee E. and Mulvenon, Sean W. (2019), *A Critical Review of Research on Formative Assessments: The Limited Scientific Evidence of the Impact of Formative Assessments in Education* // *Practical Assessment, Research, and Evaluation*: Vol. 14, Article 7. <https://doi.org/10.7275/jg4h-rb87>
- [5] Chunsen Liu, Huawei Chen, Shuiyuan Wang, Qi Liu, Yu-Gang Jiang, David Wei Zhang, Ming Liu & Peng Zhou, *Two-dimensional materials for next-generation computing technologies* // *Nature Nanotechnology* volume 15.2020. pages 545–557
- [6] Кеңесбаев С.М., Пирниязова П.М., Өлмесбек А.А. *Модели и методы трансформации образовательного процесса в цифровой формат образования* // *Danish Scientific Journal*, 2023г. №71, 87-92
- [7] Кеңесбаев С.М., Мажибаяева Г.П., Kultan J., Жоғары оқу орындарындағы педагогикалық өлшемдердің ролі мен орны // «Үздіксіз кәсіби білім беру жағдайындағы педагогтердің құзыреттілігінің деңгейлік мазмұны және оны бағалау тетіктері» тақырыбында халықаралық ғылыми-практикалық конференция жинағы III-бөлім, 2023ж., 629-632.
- [8] Christina Wekerle, Martin Daumiller, Ingo Kollar. *Using digital technology to promote higher education learning.* // *The importance of different learning activities and their relations to learning outcomes.* 2020. Pages 1-17, Published online: 14 Aug
- [9] Гузь Н. А. *Цифровая трансформация высшего образования: глобальные тренды и антитренд* // *Мир науки, культуры, образования.* 2022. № 3 (94). С. 99–103
- [10] Shute V.J., Rahimi S., *Review of computer-based assessment for learning in elementary and secondary education* // *Virtual, Augmented and Mixed Realities in Education*, 2017. pp 71–87. <https://doi.org/10.1111/jcal.12172>
- [11] Ian Sadler & Nicola Reimann. *Variation in the development of teachers' understandings of assessment and their assessment practices in higher education.* *Higher Education Research & Development* Volume 37, 2018, 131-144, <https://doi.org/10.1080/07294360.2017.1344199>
- [12] N. Kerimbayev, J. Kultan, S. Abdykarimova & A. Akramova. *LMS Moodle: Distance international education in cooperation of higher education institutions of different countries.* // *Education and Information Technologies.* Volume 22, 2017. 2125–2139. <https://doi.org/10.1007/s10639-016-9534-5>
- [13] Guillén-Gámez, F.D., Mayorga-Fernández, M.J., Bravo-Agapito, J. et al. *Analysis of Teachers' Pedagogical Digital Competence: Identification of Factors Predicting Their Acquisition* // *Tech Know Learn* 26, 2021. 481–498. <https://doi.org/10.1007/s10758-019-09432-7>

References

- [1] Kyazimov K. G. (2021) *Tsifrovaya obrazovatel'naya sreda – vazhnoye usloviye podgotovki kvalifitsirovannykh kadrov* [The digital educational environment is an important condition for the training of qualified personnel]: monogr. M., 196. (In Russian)
- [2] G. Petana, C. Rosa. (2020) *Digital Transformation and the Impact in Knowledge Management* // *Scitepress- Science and Technology Publications*, 180-187, doi: <https://doi.org/10.5220/0010134001800187> (In English)
- [3] Camilleri M.A., Camilleri A.C. (2018) *Digital Learning Resources and Ubiquitous Technologies in Education* // *Technology, Knowledge and Learning* 22 (1), 65-82.
- [4] Dunn, Karee E. and Mulvenon, Sean W. (2019) *A Critical Review of Research on Formative Assessments: The Limited Scientific Evidence of the Impact of Formative Assessments in Education* // *Practical Assessment, Research, and Evaluation*: Vol. 14, Article 7. <https://doi.org/10.7275/jg4h-rb87> (In English)
- [5] Chunsen Liu, Huawei Chen, Shuiyuan Wang, Qi Liu, Yu-Gang Jiang, David Wei Zhang, Ming Liu & Peng Zhou. (2020) *Two-dimensional materials for next-generation computing technologies* // *Nature Nanotechnology* volume 15, pages 545–557 (In English).
- [6] Кеңесбаев С.М., Пирниязова П.М. (2023) *Өлмесбек А.А. Модели и методы трансформации образовательного процесса в цифровой формат образования* [Models and methods of transformation of the educational process into a digital education format]. *Danish Scientific Journal*, №71, 87-92 (In Kazakh).
- [7] Kenesbayev S.M., Mazhibayeva G.P., Kultan J. (2023) *Zhoғary oku oryndaryndaғы pedagogikalyk, olshemderdin roli men orny* [The role and place of pedagogical criteria in higher education. «Үздіксіз кәсіби

bilim беру zhagdajy`ndagy` pedagogterdin kury`rettiliginin dengejlik mazmuny` zhane ony` bagalau tetikteri» taky`ry`by`nda xaly`karaly`kgzy`ly`mi-praktikaly`k konferenciya zhinagy` III-belim. 629-632. (In Kazakh)

[8] Christina Wekerle, Martin Daumiller, Ingo Kollar. (2020) *Using digital technology to promote higher education learning. // The importance of different learning activities and their relations to learning outcomes. Pages 1-17, 14 Aug (In English)*

[9] Guz' N. A. (2022) *Tsifrovaya transformatsiya vysshego obrazovaniya: global'nyye trendy i antitrend. Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya [Digital transformation of higher education: global trends and the anti-trend]. № 3 (94), 99–103 (In Russian)*

[10] Shute V.J., Rahimi S. (2017) *Review of computer-based assessment for learning in elementary and secondary education. Virtual, Augmented and Mixed Realities in Education, 71–87, <https://doi.org/10.1111/jcal.12172>, (In English)*

[11] Ian Sadler & Nicola Reimann. (2018) *Variation in the development of teachers' understandings of assessment and their assessment practices in higher education. // Higher Education Research & Development Volume 37, 131-144, <https://doi.org/10.1080/07294360.2017.1344199>, (In English)*

[12] N. Kerimbayev, J. Kultan, S. Abdykarimova & A. Akramova (2017) *LMS Moodle: Distance international education in cooperation of higher education institutions of different countries. Education and Information Technologies. Volume 22, 2125–2139, <https://doi.org/10.1007/s10639-016-9534-5> (In English)*

[13] Guillén-Gámez, F.D., Mayorga-Fernández, M.J., Bravo-Agapito, J. et al. (2021) *Analysis of Teachers' Pedagogical Digital Competence: Identification of Factors Predicting Their Acquisition // Tech Know Learn 26, 481–498. <https://doi.org/10.1007/s10758-019-09432-7> (In English).*

Г.А. Мадьярова¹, Д.Б. Оразжанов^{1*}

¹әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан
*e-mail: orazghanovdb@gmail.com

«БІЛІМ БЕРУДЕГІ АДДИТИВТІ ТЕХНОЛОГИЯЛАР» ПӘНІНІҢ МАЗМҰНДЫҚ МОДЕЛІН ҚҰРУ

Аңдатпа

Аддитивті технологияларды практикалық қолдану, оқу бағдарламасына енгізу, заманауи технологияларды оқу процесіне интеграциялау мүмкіндіктерін арттырады. Студенттердің теориялық білімді іс жүзінде қолдану, өз жобаларын құру және нақты мәселелерді шешу мүмкіндіктері кеңейеді. Аддитивті технологиялар бойынша оқу курсы студенттерге 3D принтерлерді пайдалану мен модельдеуге байланысты практикалық дағдыларды игеруге мүмкіндік береді. Олар цифрлық модельдер жасау, принтерлерді конфигурациялауды, материалдарды таңдау, өңдеу және дайын өнімнің сапасын бақылауды үйренеді. Ғылыми мақаланың мақсаты шетелдік және отандық білім беру мекемелерінде аддитивті технологияларды қолдану тәжірибесін зерттеу, мазмұндарын анықтау. Білім берудегі аддитивті технологиялар пәнінің мазмұндық моделін құру. Мақалада аддитивті технологиялар қарастырылған бакалавр, магистратура бағдарламалары бар университеттердің оқу мазмұнындарына салыстырмалы талдау жасалды. Ғалымдардың білім беруде аддитивтік технологияларды қолдану бойынша зерттеу еңбектері талданды. Сараптамалық талдаулар негізінде 7М01502 - Информатика оқу бағдарламасы бойынша «Білім берудегі аддитивті технологиялар» элективті пәнінің мазмұндық моделі құрылды.

Түйін сөздер: аддитивті технологиялар, 3D басып шығару, 3D принтер, білім саласы, инновациялық ойлау.

Г.А. Мадьярова ¹, Д.Б. Оразжанов ¹

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

РАЗРАБОТКА СОДЕРЖАТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДИСЦИПЛИНЫ «АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ»

Аннотация

Практического применения аддитивных технологий повышает возможности, их внедрения в учебную программу, интеграции современных технологий в учебный процесс. Расширяются возможности студентов по практическому применению теоретических знаний, созданию собственных проектов и решению конкретных задач. Учебный курс по аддитивным технологиям позволяет студентам приобрести практические навыки, связанные моделированием и с использованием 3D-принтеров. Они учатся создавать цифровые модели, настраивать принтеры, выбирать материалы, обрабатывать и контролировать качество готовой продукции. Цель научной статьи изучение опыта применения аддитивных технологий в образовательных учреждениях зарубежом и республике и определение содержание обучения. Построение содержательной модели дисциплины аддитивные технологии в образовании. В статье проведен сравнительный анализ содержания обучения вузов с программами бакалавриата, магистратуры, в которых рассматриваются аддитивные технологии. Проанализированы исследовательские работы ученых, рассматривающих применение аддитивных технологий в образовании. На основе проведенного анализа разработана содержательная модель элективного курса «Аддитивные технологии в образовании» по образовательной программе 7М01502 - Информатика.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, 3D-принтер, область знаний, инновационное мышление.

Madyarova G.A.¹, Orazzhanov D.B.¹

¹ al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF A MEANINGFUL MODEL OF THE DISCIPLINE «ADDITIVE TECHNOLOGIES IN EDUCATION»

Abstract

It increases the possibilities of practical application of additive technologies, their introduction into the curriculum, and the integration of modern technologies into the educational process. Students' opportunities for practical application of theoretical knowledge, creation of their own projects and solving specific tasks are expanding. The Additive Technology training course allows students to acquire practical skills related to the use and modeling of 3D printers. They learn how to create digital models, set up printers, select materials, process and control the quality of finished products. The purpose of the scientific article is to study the experience of using additive technologies in foreign and domestic educational institutions, to determine the content. Building a meaningful model of the discipline additive technologies in education. The article provides a comparative analysis of the content of university education with bachelor's and master's degree programs, which consider additive technologies. The research works of scientists considering the use of additive technologies in education are analyzed. Based on expert analysis, a meaningful model of teaching the discipline "additive technologies in education" has been created according to the curriculum 7m01502 - Informatics.

Keywords: additive technologies, 3D printing, 3D printer, field of knowledge, innovative thinking.

Негізгі ережелер

Зерттеудің негізгі идеясы аддитивті технологияларды пайдаланып жоғарғы оқу орындарының білім алушыларының инновациялық ойлауын дамыту. Бұл идеяны іске асыру үшін білім берудегі аддитивті технологиялар пәнінің мазмұндық моделі құрылды. Бүгінгі таңда аддитивті технологиялар білім беру бағыттағы қызметтеріне сұранысты арттыра отырып, өндіріс пен қызмет көрсету саласына қарқынды енгізілуде.

Кіріспе

Қазіргі білім беру мазмұны жаңа технологиялардың дамуына байланысты, үнемі өзгеріп отырады. Оқытудың жаңа стандарттары мен тәсілдерінің дамуына қарай, оқу мекемелері үшін білім берудің инновациялық әдістерін іздеу қажеттілігі туындайды. Білім беруде осындай инновациялардың бірі - аддитивті технология немесе 3D басып шығару.

Аддитивті технологиялар - өнімді жасау үшін материалды қабаттауға негізделген түбегейлі жаңа өндірістік процестердің жиынтығы. Аддитивті технологияның бір түрі болып табылатын 3D басып шығару білім беруде шексіз мүмкіндіктер ашады, бұл модельдер жасауға және нақты объектілер мен механизмдердің кішірейтілген көшірмелерін көрсетуге мүмкіндік береді. Оқу орындарына 3D принтерлер мен аддитивті технологияларды енгізу оқу және өндірістік процестердің ажырамас бөлігіне айналады.

Инженерлік білім беруді дамытуға және сапасын арттыруға үнемі ұмтылумен байланысты университет ортасына аддитивті технологияларды енгізу өзекті мәселелердің бірі болып отыр. Бұл технологиялар студенттердің шығармашылық ойлауы мен практикалық дағдыларын дамытуға ықпал ете отырып, оқу процесін едәуір байытады. Сондай-ақ, олар инженерлік мамандықтарға көбірек студенттерді тарта алады және теориялық білімнің практикада қолданылуын жақсы түсінуге көмектеседі.

Осы тұрғыда зерттеу жұмысының мақсаты «Білім берудегі аддитивтік технологиялар» элективтік пәнінің мазмұндық құрылымдық моделін жасау. Оқу мекемелерінде аддитивтік технологияларды қолдану тәжірибелеріне қарастырдық. Мысалы, Томск мемлекеттік университетінің Физика-техникалық факультетінің білім беру процесіне 3D-прототиптеу енгізілген. Оқу процесінде 3D принтерлерді пайдалану және компьютерлік модельдеу, дизайндағы дағдыларды дамыту арқылы студенттердің зерттеу, әзірлеу және шығармашылық жобаларда қатысу мүмкіндіктерінің артуына әсер еткен. Бұл білім беру сапасын арттырумен қатар, ғылыми және техникалық салаларда бәсекеге қабілеттілігін нығайғанын дәлелдеген [1].

Қазақстандық жоғарғы оқу орындарында аддитивті технологиялар құрылыс, машина жасау, мұнай өңдеу, медицина салаларында соңғы жылдарда білім беру бағдарламасы және элективті пәндер ретінде енгізілуі, біз қарастырып отырған мәселенің өзектілігін көрсетеді. Қ.Сәтпаев атындағы политехникалық университетінде «Машина жасау» кафедрасында «Аддитивтік өндіріс» білім беру бағдарламасы докторантура деңгейі үшін қарастырылған. Виртуалды (VR) және толықтырылған (AR) шындық нарығы бойынша аналитикалық материалдарды ұсыну «Виртуалды өндіріс» пәнінің мазмұнында анықталған. Озық 3D – нанобаспа технологияларында осы білім беру бағдарламасында қарастырылған көреміз [2]. Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінде 6B07303 - Құрылыс материалдарын, бұйымдарын және құрастырылымдарын өндіру білім беру бағдарламасы бойынша, Құрылыстағы аддитивтік технологиялар пәні қарастырылған [3]. Ш.Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университетінде магистранттар үшін «Машина жасаудағы аддитивті технологиялар» пәні оқытылады [4].

Аддитивті технологияның ұзақ тарихы бар, бірақ мұнда маңызды оқиғалардың қысқаша хронологиясын қарастырайық:

1980 жылдары лазерлік дәнекерлеу технологиясы арқылы бөлшектерді өндіруге арналған алғашқы зерттеулер жүргізілген.

1990 жылдары қабатқа қабаттау арқылы (лазерлік бұрғылау арқылы) үш өлшемді объектілерді құрудың алғашқы жүйелерінің пайда болды.

2000 жылдары фрезерлік стереолитография технологиялары дамыдй және қабатты басып шығару технологиясы жетілдірілді.

2010 жылдары металл басып шығару және биопринтинг сияқты жаңа технологиялардың пайда болды. FDM және SLS сияқты қабатты басып шығару технологиялар дамыды.

2020 жылдары технологияларды жетілдіру және авиация, автомобиль, медицина, өндіріс сияқты әртүрлі салаларда аддитивті технологияларды қолдану артты.

Аддитивтік технологияларды Л. А. Липницкий, Т. В. Пильгун зерттеу жұмыстарында қарастырған. Олар аддитивті технолгиялар түсінігін талдап, оның негізгі белгісі ретінде қабатталған объектіні өндіру процесі ретінде анықтайды. Аддитивтік технологияларға бірқатар ғалымдар өздерінің анықтамаларын берген (кесте 1).

Кесте 1. Ғалымдардың аддитивті технологияларға берген анықтамалары

Авторлар	Анықтамалар
J. Go, A.J. Hart	Объектіні төменнен жоғары қарай, материалды қабаттап жасау әдісі
М.А. Зленко, А.А. Попович, И.Н. Мутьелина	Материалды қосу арқылы жасалатын цифрлық объектінің немесе CAD моделдің жалпы атауы
В.А. Зорин, Е.В. Полухин	3D модель негізінде объект жасау мақсатында, материалды біріктіру процесіне негізделген өндіріс тәсілі
В.А. Дресвянников, Е.П. Страхов	Материалды қабаттап қолдану арқылы сандық модельден үш өлшемді объектілерді алуға арналған технология [5].

«Аддитивті технологиялар» түсінігінің анықтамаларын талдау көрсеткендей, жалпы белгі ретінде объектінің қабатталған өндіріс процесін ерекшелеп көрсетуге болады. Сонымен біздің ойымызша аддитивті технология – сандық модель бойынша өнімді өндіруді көздейтін, үш өлшемді объектілерді алуға мүмкіндік беретін технологиялардың жалпылама атауы.

Қазіргі таңда кейбір орта және жоғары білім беру мекемелеріне әртүрлі деңгейде аддитивті технологиялар қосымша пән ретінде енгізіліп отыр. Бұл пәндерде оқушылар аддитивті технологияларды, аппараттық, программалық басқару, үш өлшемді модельдеу және т.б. иновациялық құрылғылармен танысады. Негізі айтылатын ой қазіргі уақытта аддитивті

технологиялар ғылымның және өндірістің түрлі салаларына қарқынды енгізілуіне байланысты, ең біріншіден жоғары оқу орындарына қойылтын бірінші талап жоғары білікті мамандар дайындау. Сонымен қатар келесідей мәселелер туындап отыр, әдістемелік материалдардың жетіспеуі, аддитивті технологияларды қолданып сабақ өту [6].

3D принтердің бағасының жылдан жылға қол жетімді болуына байланысты, ғылымның кез келген салаларында қолдана бастады. Соның нәтижесінде олар білім беру жүйесіне қарқынды енгізіліп отыр. Қазіргі таңда аддитивті технологиялар жоғарғы, кәсіптік, орта білім беру мекемелерінде оқытылады. 3D принтер жоқ кезде прототип жасау үшін бірнеше айлар кететін болса, қазіргі кезде студенттер жобаларын өндіріске тапсырыс бермей ақ, өздері қысқа мерзімде макеттерін дайындап шығару, оны ары қарай дамытуға мүмкіндік алды. Оқу процесінде түрлі протиптер жасау арқылы, студенттердің иновациялық ойлау қабілеті арта түсті. Л.А. Липницкий, Т.В. Пильгун атап көрсеткендей қазіргі таңда 3D кез келген оқу орындарында бар болғанымен, барлық мамандықтарда оқытылмайды. Егер, 3D басып шығаруды барлық мамандыққа енгізілсе, оқушылардың шығармашылық және инновациялық ойлауы арта түсер еді [7].

О.А. Павлова еңбегінде аддитивті технологиялардың (3D басып шығару технологиялары) кәсіптік білім беру саласындағы рөлін талдады. Автор осы технологияларды білім беруде қолданудың өткені, бүгінгі және болашағын, сондай-ақ олардың кәсіптер мен өндірістердің дамуына тигізетін ықпалын қарастырды. Ол аддитивті технологиялардың инженерлік және медицина сияқты кәсіби білім берудің кейбір салаларында сәтті қолданылып жатқанын және оларды дизайн мен сәулет сияқты басқа салаларда қалай қолдануға болатынын көрсетті. 3D басып шығару сияқты аддитивті технологиялар соңғы жылдары кәсіби білім беруде танымал бола бастады. Алдыңғы жылдары шығындардың көптігі мен қол жетімділіктің болмауына байланысты бұл технологияларды білім беруде қолдану шектеулі еді. Бүгінгі таңда жабдық бағасының төмендеуі және оған қол жетімділіктің артуы мұғалімдер мен ғалымдарға курстар мен зерттеулерге аддитивті технологияны қосуға мүмкіндік беріп отыр. О.А. Павлованың ойынша болашақта бұл технологиялар күрделі мәселелерді шешудің және өмір сапасын жақсартудың жаңа жолдарын ұсына алады [8].

С.В. Пылаева, Е.В. Чубаркованың "Кәсіптік білім берудегі аддитивті технологиялардың рөлі" еңбектерінде 3D басып шығару және басқа аддитивті технологиялардың кәсіптік білім беру саласына әсерін зерттеген. 3D басып шығару сияқты аддитивті технологиялар кәсіптік білім беруде өте маңызды. Олар студенттерге тұжырымдамаларды нақты жағдайда елестетуге және сезінуге мүмкіндік бере алады, бұл олардың түсінігі мен зерттелетін тақырыпқа қызығушылығын арттырады. Сонымен қатар, оқу процесінде бұл технологияларды қолдану студенттердің дизайн және техникалық графика дағдыларын жақсартады, оларды технологиялық жағынан озық салаларда жұмыс істеуге дайындайды. Мамандыққа байланысты аддитивті технологияны медицина, сәулет, инженерия және дизайн сияқты кәсіптік білім берудің әртүрлі салаларында қолдануға болады [9]. И.И. Лытневаның "Жоғары білім беруде аддитивті технологияларды қолдану" еңбегінде 3D басып шығару және басқа аддитивті технологияларды оқу үдерісінде қолдану мүмкіндіктері зерттелген. Аддитивті технологияларды білім беруде қолданудың артықшылықтары, тұжырымдамаларды визуализациялау мен көрсетуді жақсарту, студенттерді практикалық оқытуды жетілдіру мүмкіндіктері қарастырылған (сурет 1) [10]. С.В. Кибальников, А.А. Меркулов кәсіптік білім беруде аддитивті технологияларды қолдану мысалдарын, студенттерге физикалық модельдер мен демонстрациялық үлгілерді жасау үшін 3D басып шығару сияқты қосымша технологияларды қолдануды қарастырды. Бұл материалды қабылдау деңгейін жоғарылатып, оқу тәжірибесін жақсартуға мүмкіндік береді. Сонымен бірге, IP Web Consortium виртуалды және кеңейтілген шындықты интерактивті оқу модульдері мен модельдеулерін жасау үшін қолдануға болады, бұл студенттерге нақты өмірде өз дағдыларын жетілдіреді [11]. Н.В. Хрусталева, А.Н. Логинов, Д.Н. Логинова педагогикалық университет студенттерінің жобалық қызметінде аддитивті технологияларды қолдануды талдады.



Сурет 1. Аддитивті технологиялардың артықшылықтары

Аддитивті технологиялар білім беру ортасындағы әртүрлі мәселелерді шешудің маңызды құралы болып табылады, соның ішінде студенттердің ынтасын арттыру және білім сапасын жақсартуға әсер етеді. Студенттердің жобалық қызметінде аддитивті технологияларды қолдану, білім сапасын жақсартуға әсері қарастырылады. Сонымен бірге білім беру процесінде аддитивті технологияларды қолданудағы ықтимал кедергілер мен тәуекелдер талқыланады. Аддитивті технологиялар жобалық қызметті дамытуда маңызды рөл атқаруы мүмкін деген қорытынды жасалған [12]. Білім алушылар прототиптеу, модельдеуді арқылы көзбен көру, қолмен жасау мүмкіндігіне ие болады, осылай олардың пәнге деген қызығушылығы артады.

Зерттеу әдіснамасы

Зерттеу жұмысын жүргізу барысында әдеби шолу, салыстырмалы және сараптамалық талдау жасалды. Мәліметтер көрнекілігі үшін диаграмма арқылы рәсімделді. Ашық дереккөз материалдары арқылы оқу процесінде аддитивті технологияларды қолданатын жоғарғы оқу орындары зерттелді (кесте 2). Элективті курстардың аддитивті технологиялар бойынша оқыту мазмұндарына талдау жасалды (кесте 3). Жоғарыдағы кестеде бірқатар мемлекеттер арасындағы аддитивті технологияларды қолдана отырып оқыту рейтингі көрсетілген ақпарат интернет ресурстан алынды [13]. Осы мәліметке сүйеніп, мемлекеттердегі аддитивті технологияларды қолданып оқыту прогресі мен регресін анықтадық. Мысалы АҚШ та 2021 және 2023 жылдар көрсеткішін салыстырсақ аддитивті технологиялар бойынша оқыту бакалавриат негізінде 216 университеттен 226 университетке өскендігін байқаймыз. Осы мәліметтерді ескере отырып, АҚШ та аддитивті технология бойынша оқытудың магистратура деңгейіне қарағанда, бакалавриаттың сұранысқа ие болғандығын көреміз. Германия мен Швецияда мемлекеттерде магистратура деңгейінде аддитивті технологиялар бойынша оқыту аз мөлшерде артқан.

Берілген диаграммадағы көрсеткіштер (Сурет 2, 3) аддитивті оқытудың бакалавриат деңгейі өскен мемлекеттерде осы бағыт бойынша сұранысты тудыратын кәсіппен жұмыс орындарының бар екендігі айқын.

Кесте 2. Аддитивті технологиялар бойынша оқытатын университеттер

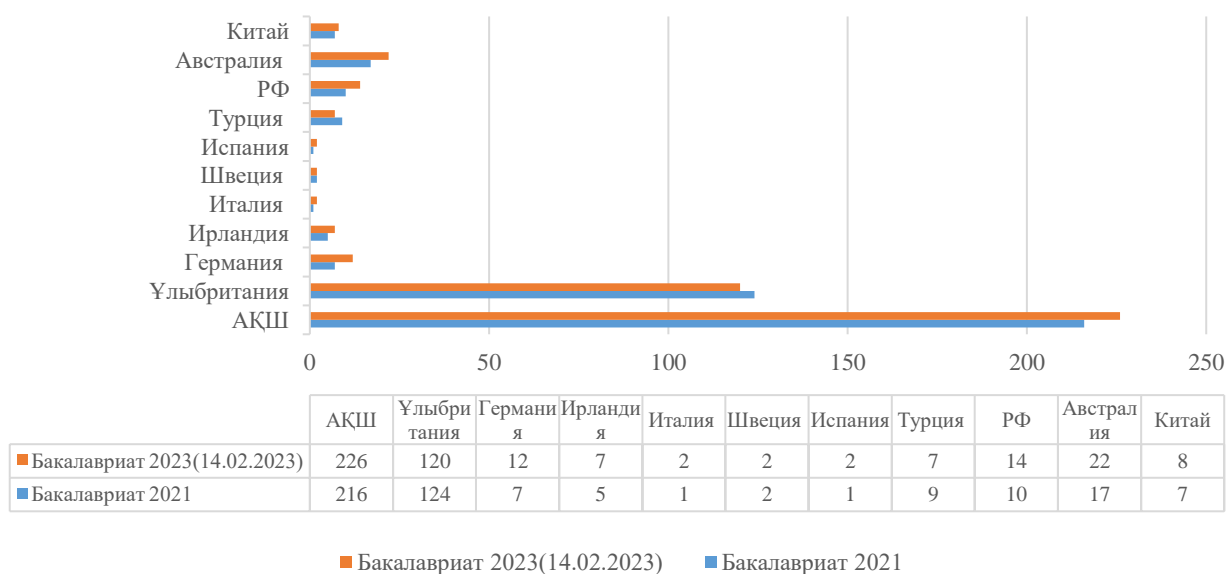
Мемлекет	Аддитивті технологиялар бойынша оқытатын университеттер				ресурс	
	Б		М		Б	М
	2021	2023 (14.02.2023)	2021	2023 (14.02.2023)		
АҚШ	216	226	6	0	****	*
Ұлыбритания	124	120	41	26	****	**
Германия	7	12	4	6	****	**
Ирландия	5	7	2	2	****	**
Италия	1	2	1	0	****	**
Швеция	2	2	4	5	****	**
Испания	1	2	1	0	****	**
Турция	9	7	1	1	****	**
РФ	10	14	11	10	***	***
Австралия	17	22	1	1	****	**
Қытай	7	8	2	0	****	**
<p>* https://www.gousa.study/ ** https://www.findamasters.com/masters-degrees *** https://eddm.es/en/master-3d-printing-advanced-manufacturing/ **** https://www.bachelorsportal.com Б – бакалавриат М - магистратура</p>						

Кесте 3. Аддитивті технологиялар бойынша оқытатын пәндер мен элективті курстар

Университет	Пән	Мамандық	Сағ	Программа	Жыл
«Комсомольск-на-Амуре мемлекеттік техникалық университеті»	Аддитивті технологиялар (Аддитивные технологии)	Стандарттау және метрология (Стандартизация и метрология)	108	-	2015
Бауман атындағы Мәскеу мемлекеттік техникалық университеті	Основы макетирования и аддитивные технологии	Біліктілікті арттыру	118	Біліктілікті арттыру	2022
Свердлов облысының мемлекеттік автономды типтік емес білім беру мекемесі	Балаларға қосымша білім берудегі аддитивті технологиялар	Біліктілікті арттыру	36	Біліктілікті арттыру	2022
Сатпаев Университеті	Технологии аддитивного производства		3 (кредит)	Магистратура	2019-2020
"Ресей Халықтар Достығы Университеті"	Құрылыстағы аддитивті технологиялар	Құрылыс	72	-	2022

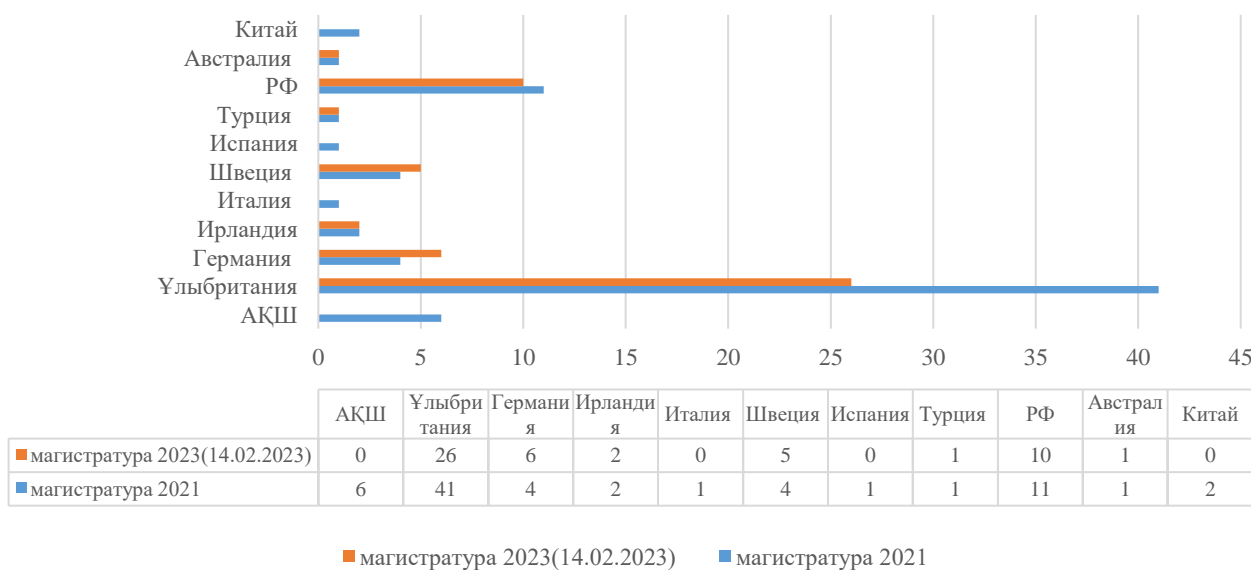
Жоғары білім берудің федералды мемлекеттік автономды білім беру мекемесі	(Аддитивные технологии в строительстве)				
Казан федералды университеті	Медико-биологические аппараты, системы и комплексы	Биотехникалық жүйелер мен технологиялар	36/36/70	Магистратура	2020

Бакалавриат оқу бағдарламасында аддитивті технологиялар қарастырылған университеттер



Сурет 2. Бакалавр бойынша 2021 – 2023 жж көрсеткіштері

Магистратура оқу бағдарламасында аддитивті технологиялар қарастырылған университеттер



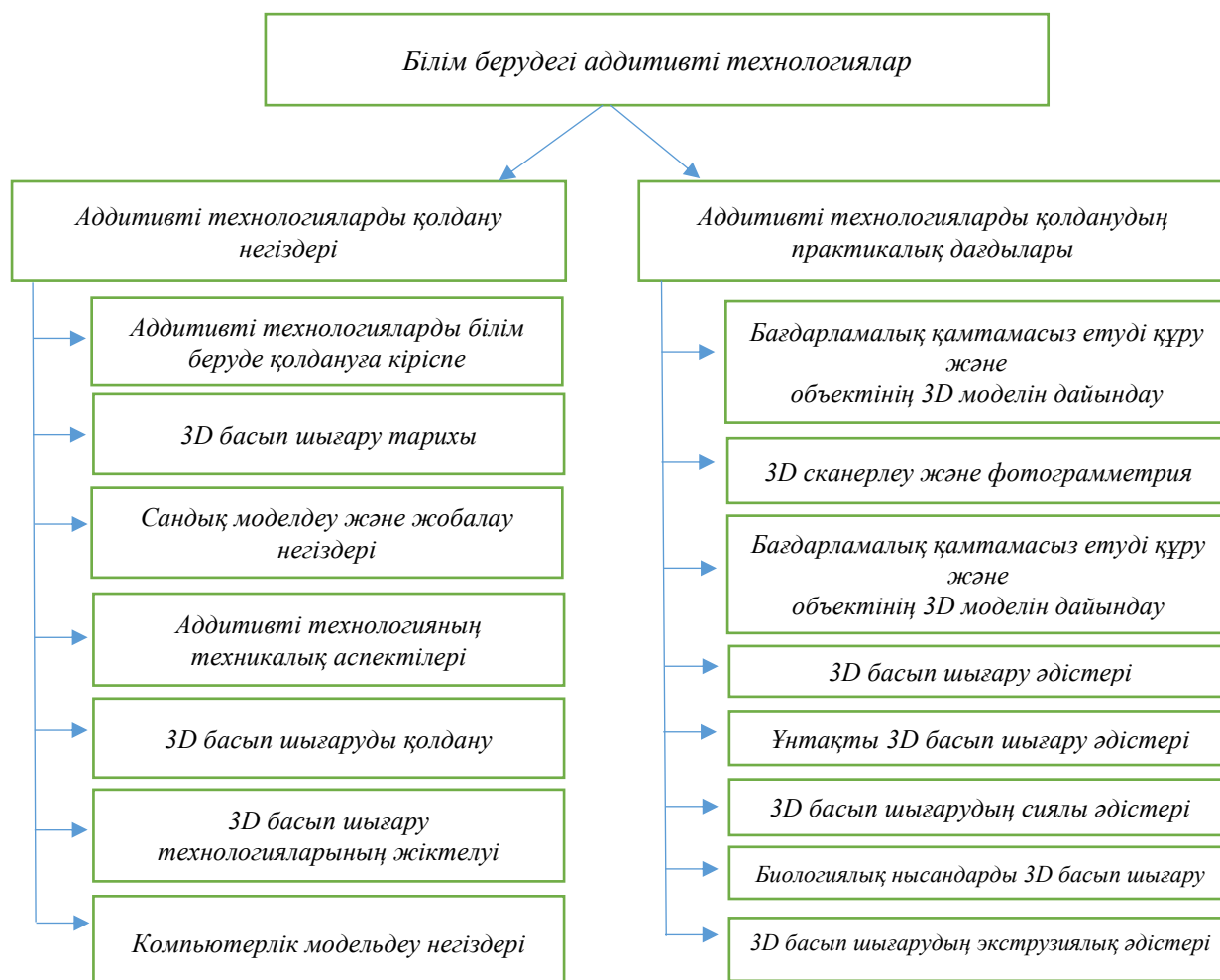
Сурет 3. Магистратура бойынша 2021 – 2023 жж көрсеткіштері

Қарастырылған 11 мемлекеттің 18% да көрсеткіш деңгейі 2021-2023 жылдар аралығында төмендеген. Берілген диаграммадағы көрсеткіштер, аддитивті оқытудың магистрант деңгейі өскен мемлекеттерде осы бағыт бойынша сұранысты тудыратын кәсіппен жұмыс орындарының бар екендігі көрсетеді. Жоғарыдағы кестеде аддитивті технологияларды оқу үдерісіне енгізген немесе қайта даярлаудан өту курсы бар алты университет қарастырдық. Бұл университеттер 2015 жылдан бастап аддитивті технологияға қатысты білім беру қызметтерін ұсынады. Оқу және қайта даярлау уақыты және форматы университетке байланысты 36-дан 118 сағатқа дейін екен. Бакалавриат, қайта даярлау, сонымен бірге, мамандық бойынша магистр дәрежесін алу да қамтылған.

Білім алумен қатар аддитивті технологиялар бойынша кадрларды қайта даярлау қызметтері ұсынылады және осы технологиялардың әртүрлі мамандықтар дайындауда оқылатынын атап өтуге болады. Бүгінгі таңда аддитивті технологиялар осы бағыттағы білім беру қызметтеріне сұранысты арттыра отырып, өндіріс пен қызмет көрсету саласына қарқынды енгізілуде. Көрсеткіштерді басшылыққа ала отырып, алдағы 5 жылда білім берудегі бұл бағыт жоғары сұранысқа ие болады деп ойлаймыз.

Зерттеу нәтижелері

Талдау нәтижелеріне сүйене отырып, Білім берудегі аддитивті технологиялар пәнінің оқытудың мазмұндық моделін құрастырдық (сурет 4).



Сурет 4. Білім берудегі аддитивті технологиялар пәнінің мазмұндық моделі

«Білім берудегі аддитивті технологиялар» пәнінің мазмұндық моделі құрылып, оқу материалдары жинақталды. «Компьютерлік ғылымдар» кафедрасының мәжілісінің шешімімен 7M015002-Информатика білім беру бағдарламасына элективті пән ретінде енгізілді. Бұл курс «Аддитивті технологияларды қолдану негіздері» және «Аддитивті технологияларды қолданудың практикалық дағдылары» екі модульді қамтиды. Бірінші модульдің тақырыптары жалпы аддитивтік технологияларды білім саласында қолданудың теориялық негіздеріне, ал екінші модуль осы технологияларды практикада қолдану дағдыларына байланысты анықталды.

Аддитивті технологияларды ғылымның әр саласында қолдану тәжірибесі жөнінде ғалымдардың еңбектері мен көзқарастарына жасалған шолу оның әр түрлі анықтамаларын бергенімен инновация екендігін және оқытуда қолдану білім алушының шығармашылық ойлауының артуына әсер ететіндігін көрсетті.

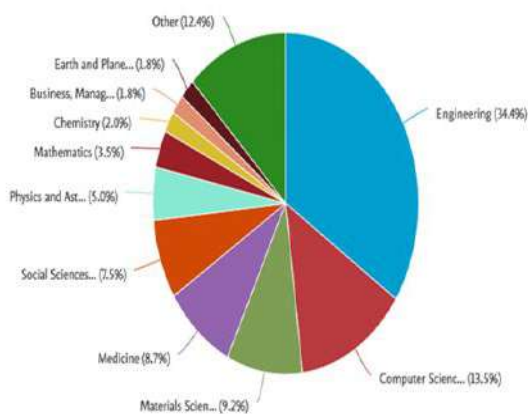
1. Әлемдегі білім беру жүйесінде түрлі деңгейінде аддитивті технологияларды оқыту тәжірибелерін зерттеу оқу процесіндегі мазмұнның көлемінің әр түрлілігін көрсетті. Көпшілік бағдарламалардың мазмұнында «Компьютерлік модельдеу», «Сандық модельдеу», «3D баспа» кеңінен қолданылған. Сонымен бірге аддитивті технологиялар өндірістің түрлі салаларында және практикаға негізделіп оқыту жағдайында жақсы нәтижелер берген.

2. Талдау және зерттеу нәтижелеріне сүйенге отырып 7M015002-Информатика мамандығы бойынша білім алушылар үшін «Білім берудегі аддитивті технологиялар» таңдау пәнінің мазмұндық моделі құрылып оқу бағдарламасына ендірілді. Оқу пәні 5 кредитті құрайды және 3 семестрге жоспарланған.

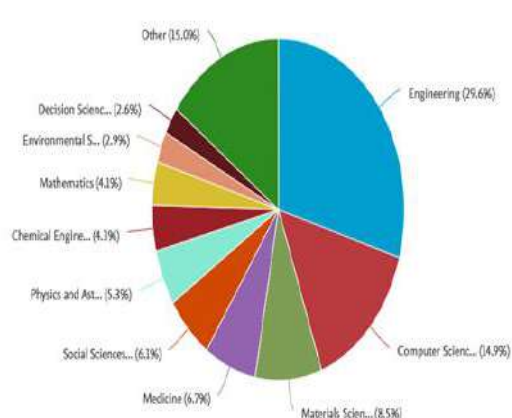
3. Осы зерттеу жұмысының перспективті бағыты реінде пәнді оқу әдістемелік қамтамасыз ету және білім беру контенттері әзірлеу жоспарланған.

Дискуссия

Біз қарастырған университеттерде магистратура деңгейі үшін аддитивті технологияларға сұраныстың әртүрлілігін көрсеткенімен, осы бағытта оқыту курстары, элективтік, авторлық бағдарламалардың, оларға тіркелушілер мен пікірлердің сараптамасы, білім беру саласында бұл технологияларды қолданудың болашағы бар екендігін көрсетті. 2016-2019 және 2020-2024 жылдар арасында scopus базасында жүргізілген зерттеулерге жасалған талдау бойынша, компьютерлік ғылымдар саласында едәуір өсуді байқаймыз (сурет 5). Бұл талдаудың толық сипаттамасы, алдағы зерттеу жұмыстарында нақтыланып берілетін болады.



а) 2016-2019 жылдар арасында



ә) 2020-2024 жылдар арасында

Сурет 5. Білім беру саласында аддитивтік технологияларды әр түрлі салаларда қолдану талдамасы

Заман ағымына сай білім беру жүйесі қарқынды дамыған сайын, оған қойылатын талаптар да күшейіп отыр. Ғылыми еңбектерді талдаулардан, аддитивті технологияның бір ғана бөлігі, үш өлшемді басып шығарудың өзі білім беруде шексіз мүмкіндіктер ашатынына көз жеткізіп отырмыз. Кез-келген сала оның ішінде білім беру жүйесі, жаңа технологиялар көмегімен сапаны арттырумен бірге, бәсекеге қабілетті мамандар дайындауға көмектеседі.

Қортынды

Қазіргі заманауи әлемде жаңа технологиялардың қарқынды дамуына қарай, адамзат күнделікті әртүрлі жағдайлар мен қатар жұмыс істеу және оқыту әдістерін жеңілдетуге тырысуда. Батыстың ғалымы А.Ж. Нарт аддитивті технологияның «Объектіні төменнен жоғары қарай, материалды қабаттап жасау әдісі» деп анықтамасын ұсынды. Аддитивті технологияларды өндірісте, машина жасау, құрылыс, мұнай өңдеу, медицина т.б. әртүрлі салаларда практикалық қолдану тәжірибелері бар. Білім беру саласында аддитивті технологияларды қолдану үшін, арнайы авторлық курстарды енгізудің маңызы зор. Робототехника, макеттер жасау бағдарламаларымен жарыса дамып келе жатқан аддитивті технологиялардың оқу процесіне қосар үлесіде жыл сайын артып келе жатыр. Болашақта бұл өте қарқынды дамытын сала екенін айқын. Осы саланың дамуына жоғарғы білім беру ұйымдарының қосар үлесі жоғары. Әлемнің дамыған елдерінде бұл технологияларды оқыту интенсивті түрде дамуда. Қазіргі кезде бұл технологияларды меңгеру мақсатында жоғары білім беру ұйымдарынан бөлек жеке курстарда дамып келе жатыр. Болашақта аддитивті технологияларды оқу процесінде қолдануға сұраныстың артатыныны анық.

Пайдаланылған дереккөздер тізімі

- [1] <https://tusur.ru/ru/o-tusure/struktura-i-organy-upravleniya/departament-nauki-i-innovatsiy/spetsialnoe-konstruktorskoe-byuro-smena/laboratoriya-additivnyh-tehnologiy-i-inzhenernoy-biologii> (өтініш берілген 10.11.2023жыл)
- [2] <https://official.satbayev.university/download/document/29515/%D0%90%D0%B4%D0%B4%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%B2%D1%82%D1%96%20%D3%A9%D0%BD%D0%B4%D1%96%D1%80%D1%96%D1%81%208D07113%202022-2023.pdf> (өтініш берілген 10.10.2023жыл)
- [3] <https://www.ektu.kz/educationalprograms/educationalprogramdetail/educationalprogramdiscipline.aspx?Code=6487&Disc=14057> (өтініш берілген 12.10.2023жыл)
- [4] <https://yu.edu.kz/en/course/M06-026%20-%20Additivnie%20tehnologii%20v%20mashinostroenii/> (өтініш берілген 15.10.2023жыл)
- [5] Мухаметзянова А.Г., Смирнова Л.А. Аддитивные технологии как важная составляющая инновационного инженерного образования. https://doi.org/10.46960/43791586_2021_59
- [6] Чудинский Р.М., Горбунов Н.А. Роль и место аддитивных технологий в образовательном процессе. <https://doi.org/10.17513/spno.32065>
- [7] Липницкий Л.А., Пильгун Т.В. Аддитивные технологии и их перспективы в образовательном процесс // Системный анализ и прикладная информатика – 2018 №3 с. 76
- [8] Павлова О.А. Аддитивные технологии в профессиональном образовании: вчера, сегодня, завтра. // Профессиональное образование. <https://doi.org/10.17513/spno.32065>
- [9] Пылаева С.В., Чубаркова Е.В. Роль аддитивных технологий в профессиональном образовании.
- [10] Лытнева И.И. Применение аддитивных технологий в высшем образовании. *Innovative scientific research* раздел. Информатика и робототехника. №3-2(5) 2021 <https://doi.org/10.5281/zenodo.4677456>
- [11] Кибальников С.В., Меркулов А.А. Консорциум ip lab как пример реализации аддитивных технологий в сфере профессионального образования и обучения. Том 18 № 1 (54), 2022, ст. 4. Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление.
- [12] Хрусталева Н.В., Логинов А.Н., Логинова Д.Н. Применение аддитивных технологий в проектной деятельности студентов педагогических вузов. *Вопросы теории и практики*. Том 7. Выпуск 8. С. 871-877
- [13] <https://additiv-tech.ru/publications/additivnye-tehnologii-v-sisteme-srednego-professionalnogo-i-vysshego-obrazovaniya.html> (өтініш берілген 30.03.2023жыл)

References

- [1] <https://tusun.ru/ru/o-tusure/struktura-i-organy-upravleniya/departament-nauki-i-innovatsiy/spetsialnoe-konstruktorskoe-byuro-smena/laboratoriya-additivnyh-tehnologiy-i-inzhenernoy-biologii> (otinish berilgen 10.11.2023jyl)
- [2] <https://official.satbayev.university/download/document/29515/%D0%90%D0%B4%D0%B4%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%B2%D1%82%D1%96%20%D3%A9%D0%BD%D0%B4%D1%96%D1%80%D1%96%D1%81%208D07113%202022-2023.pdf> (otinish berilgen 10.10.2023jyl)
- [3] <https://www.ektu.kz/educationalprograms/educationalprogramdetail/educationalprogramdiscipline.aspx?Code=6487&Disc=14057> (otinish berilgen 12.10.2023jyl)
- [4] <https://yu.edu.kz/en/course/M06-026%20-%20Additivnie%20tehnologii%20v%20mashinostroenii/> (otinish berilgen 15.10.2023jyl)
- [5] A.G. Muhametzyanova, L.A. Smirnova. Additivnye tehnologii kak vazhnaya sostavlyayushaya innovacionnogo inzhenerenogo obrazovaniya [Additive technologies as an important component of innovative engineering education] (In Russian). [https://doi: 10.46960/43791586_2021_59](https://doi.org/10.46960/43791586_2021_59)
- [6] R.M. Chudinskij, N.A. Gorbunov. Rol i mesto additivnyh tehnologij v obrazovatelnom processe [The role and place of additive technologies in the educational process] (In Russian). [https://doi: 10.17513/spno.32065](https://doi.org/10.17513/spno.32065)
- [7] L.A. Lipnickij, T.V. Pilgun. Additivnye tehnologii i ih perspektivy v obrazovatelnom process. Sistemnyj analiz i prikladnaya informatika [Additive technologies and their prospects in the educational process. System analysis and applied computer science] 2018 №3 s. 76. (In Russian)
- [8] O.A. Pavlova. Additivnye tehnologii v professionalnom obrazovanii: vchera, segodnya, zavtra. Professionalnoe obrazovanie [Additive technologies in vocational education: yesterday, today, tomorrow. Professional education. (In Russian) [https://doi: 10.17513/spno.32065](https://doi.org/10.17513/spno.32065)
- [9] C.V. Pylaeva, E.V. Chubarkova. Rol additivnyh tehnologij v professionalnom obrazovanii [The role of additive technologies in vocational education]. (In Russian)
- [10] I.I. Lytneva. Primenenie additivnyh tehnologij v vysshem obrazovanii. Innovative scientific research razdel. Informatika i robototekhnika [Application of additive technologies in higher education. Innovative scientific research section. Computer Science and Robotics]. №3-2(5) 2021. (In Russian) <https://doi.org/10.5281/zenodo.4677456>
- [11] S.V. Kibalnikov, A.A. Merkulov. Konsorcium ip lab kak primer realizacii additivnyh tehnologij v sfere professionalnogo obrazovaniya i obucheniya [The ip lab consortium as an example of the implementation of additive technologies in the field of vocational education and training]. 18 № 1 (54), 2022. 4. Ustojchivoe innovacionnoe razvitiye: proektirovanie i upravlenie. (In Russian)
- [12] N.V. Hrustaleva, A.N. Loginov, D.N. Loginova. Primenenie additivnyh tehnologij v proektnoj deyatel'nosti studentov pedagogicheskikh vuzov. Voprosy teorii i praktiki [Application of additive technologies in project activities of students of pedagogical universities. Questions of theory and practice]. Tom 7. Vypusk 8. S. 871-877 (In Russian)
- [13] <https://additiv-tech.ru/publications/additivnye-tehnologii-v-sisteme-srednego-professionalnogo-i-vysshego-obrazovaniya.html> (otinish berilgen 30.03.2023jyl)

Ж.К. Нурбекова^{1*}, Д.М. Досымбек², Д.М. Бешеев³, С.М. Досымбек⁴

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

²Акционерное общество «Евразийский банк», г. Астана, Казахстан

³Товарищество с ограниченной ответственностью «Freedom Telecom Operations»,
г. Астана, Казахстан

⁴Акционерное общество «Центр развития трудовых ресурсов», г. Астана, Казахстан

*e-mail: nurbekova_zhk@digitalexgroup.com

ОБРАБОТКА И УПРАВЛЕНИЕ ДАННЫМИ ПО НЕПРЕРЫВНОМУ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ РАЗВИТИЮ ПЕДАГОГОВ

Аннотация

В настоящей статье рассматривается важный аспект современной образовательной практики - вопросы по сбору, упорядочению, формализации и структурированию данных по непрерывному профессиональному развитию педагогов (НПП) в различных форматах. Предложенные подходы направлены на создание системы, способной эффективно обрабатывать и анализировать разнообразную информацию о профессиональном развитии педагогов, такую как курсы повышения квалификации, тренинги, семинары, конференции и другие образовательные мероприятия. Описываются основные этапы разработки методик, начиная с анализа основных процессов НПП и определения требований к данным, и заканчивая созданием структурированной информационной модели и архитектуры данных. Так же уделяется особое внимание методам сбора данных из различных источников, их упорядочению и формализации для последующего анализа и визуализации. Результаты исследования могут быть использованы для разработки и внедрения информационных систем, специализированных на НПП, а также для совершенствования существующих методов анализа и управления данными в образовательной сфере.

Ключевые слова: корпоративное хранилище данных, ETL, OLAP, НПП, база данных, архитектура данных.

Ж.К. Нурбекова¹, Д.М. Досымбек², Д.М. Бешеев³, С.М. Досымбек⁴

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

²«Еуразиялық Банк» Ационерлік қоғамы, Астана қ., Қазақстан

³«Freedom Telecom Operations» Жауапкерлігі шектеулі қауымдастығы, Астана қ., Қазақстан

⁴«Еңбек ресурстарын дамыту орталығы» Ационерлік қоғамы, Астана қ., Қазақстан

ПЕДАГОГТЕРДІҢ ҮЗДІКСІЗ КӘСІБИ ДАМУЫ БОЙЫНША ДЕРЕКТЕРДІ ӨНДЕУ ЖӘНЕ БАСҚАРУ

Аңдатпа

Осы мақалада заманауи білім беру практикасының маңызды аспектісі - педагогтардың үздіксіз кәсіби дамуы (ПҮҚД) бойынша деректерді жинау, ретке келтіру, ресімдеу және құрылымдау жөніндегі мәселелерді әртүрлі форматта қарастыру жұмыстары жүргізіледі. Ұсынылған тәсілдер біліктілікті арттыру курстары, тренингтер, семинарлар, конференциялар және басқа да білім беру іс-шаралары мұғалімдердің кәсіби дамуы туралы әртүрлі ақпаратты тиімді өңдеуге және талдауға қабілетті жүйені құруға бағытталған. ПҮҚД негізгі процестерін талдау мен деректерге қойылатын талаптарды анықтаудан бастап, құрылымдық ақпараттық модель мен деректер архитектурасын құруға дейінгі әдістемені әзірлеудің негізгі кезеңдері сипатталған. Сондай-ақ, әртүрлі дереккөздерден ақпаратты жинау әдістеріне, оларды кейіннен талдау және визуализациялау үшін оларды ұйымдастыруға және ресімдеуге ерекше назар аударылады. Зерттеу нәтижелері ПҮҚД -ға мамандандырылған ақпараттық жүйелерді әзірлеуге және өндіріске енгізуге, сондай-ақ білім беру саласындағы деректерді талдау мен басқарудың қолданыстағы әдістерін жетілдіру үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: деректер қоймасы, ETL, OLAP, ПҮҚД, мәліметтер базасы, деректер архитектурасы.

Zh.K. Nurbekova¹, D.M. Dossymbek², D.M. Besheyev³, S.M. Dossymbek⁴

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

²Joint Stock Company «Eurasian Bank», Astana, Kazakhstan

³Limited Liability Partnership «Freedom Telecom Operations», Astana, Kazakhstan

⁴Joint Stock Company «Workforce Development Center», Astana, Kazakhstan

PROCESSING AND MANAGEMENT OF DATA ON CONTINUOUS PROFESSIONAL DEVELOPMENT OF PEDAGOGUES

Abstract

This article addresses a crucial aspect of contemporary educational practice: the collection, organization, formalization, and structuring of data on continuous professional development for educators (CPD) in various formats. The proposed approaches aim to create a system capable of efficiently processing and analyzing diverse information regarding educators' professional development, such as advanced training courses, workshops, seminars, conferences, and other educational events. The primary stages of developing the methodology are described, starting with the analysis of fundamental CPD processes and the determination of data requirements, and concluding with the creation of a structured information model and data architecture. Special attention is given to methods for collecting data from various sources, its organization and formalization for subsequent analysis and visualization. The study's results can be used for developing and implementing information systems specialized in CPD, as well as for improving existing methods of data analysis and management in the educational sector.

Keywords: data warehouse, ETL, OLAP, CPD, database, data architecture

Основные положения

В работе рассматриваются методики сбора, упорядочения, формализации и структурирования данных по непрерывному профессиональному развитию педагогов обеспечивающий комплексный и системный подход к организации информации. Они включают интеграцию данных из различных источников, таких как LMS и опросы, формализацию данных через определение схем и моделей, а также структурирование с использованием реляционных и иных структур данных. Это способствует созданию единой информационной базы, упрощает анализ и обработку данных, что в свою очередь позволяет эффективно управлять процессами профессионального развития педагогов и принимать обоснованные управленческие решения в этой сфере.

Введение

В современном образовательном контексте, где НППП играет ключевую роль в повышении качества образования, эффективное управление и анализ данных становятся необходимыми для поддержки и оптимизации этого процесса. Непрерывное профессиональное развитие обеспечивает педагогам возможность постоянного обучения, адаптации к изменяющимся образовательным требованиям и повышения квалификации в соответствии с современными стандартами. Разработка информационных систем, специализированных на НППП, становится актуальной задачей в контексте постоянного улучшения процессов образования. Эти системы представляют собой мощный инструмент для сбора, управления, анализа и визуализации данных, связанных с профессиональным развитием педагогов. Они не только помогают управлять обучающими программами и ресурсами, но и предоставляют ценные аналитические инсайты для оптимизации стратегий обучения, оценки эффективности программ и принятия обоснованных решений на уровне учебных заведений и образовательных организаций. В данной статье мы сосредоточимся на разработке архитектуры информационной системы НППП с уклоном в архитектуру данных.

На схеме (рисунок 1) отображена концептуальная модель архитектуры данных, которая включает в себя 5 слоев. Данная модель архитектуры позволяет собирать, обрабатывать и консолидировать данные из различных источников, создавать витрины из структурированных данных для его последующего применения в анализе и презентации данных.

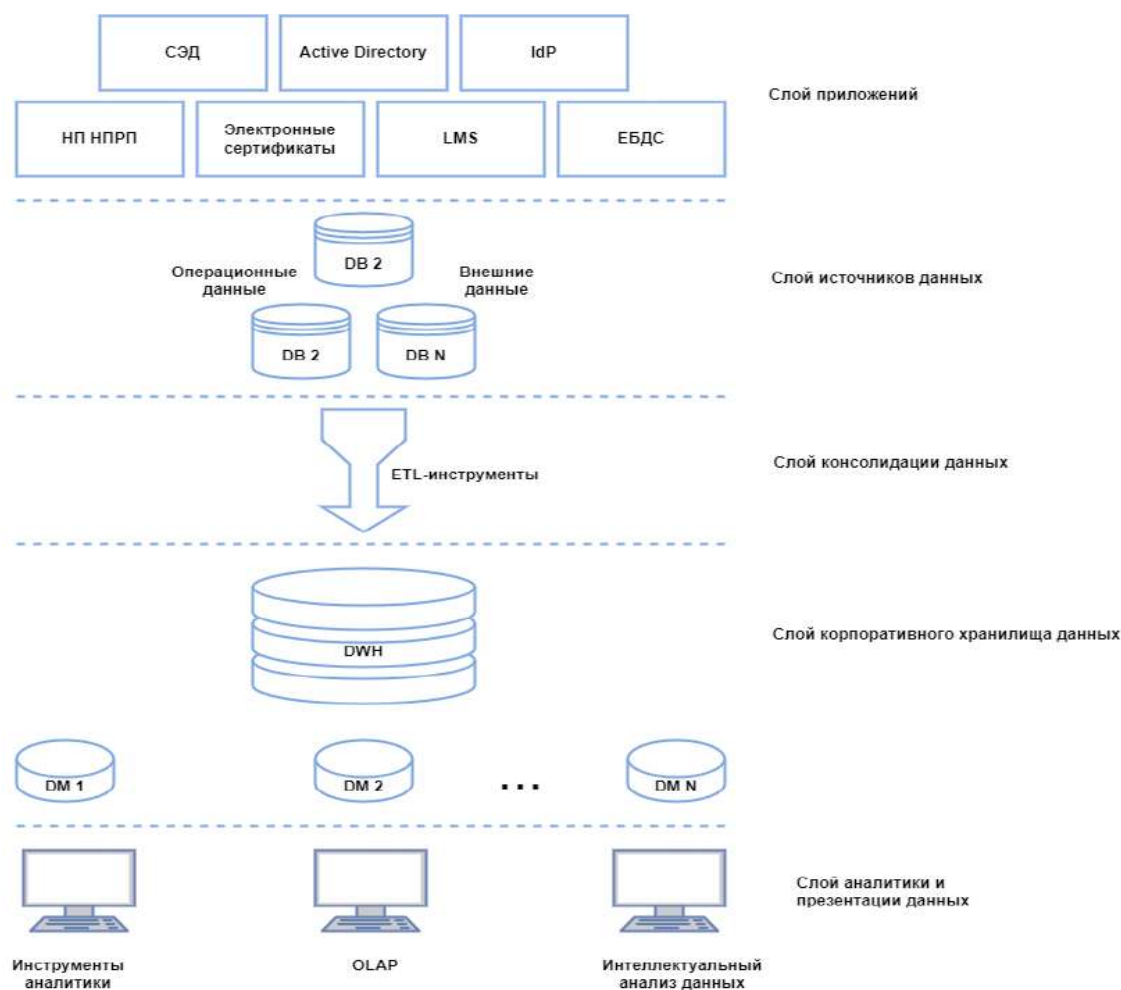


Рисунок 1. Концептуальная модель архитектуры данных

Методология исследования

Методология исследования включает ключевые аспекты проектирования системы, начиная с определения основных процессов НПП и заканчивая разработкой архитектуры данных, которая позволит эффективно управлять, анализировать и визуализировать информацию о профессиональном развитии педагогов [1-2]. Это позволит нам представить взгляд на эффективное использование информационных технологий в сфере образования с целью поддержки процессов непрерывного профессионального развития педагогов и повышения качества образования в целом.

Результаты исследования

В связи с тем, что наше исследование направлено на образовательную практику по управлению и качественной обработке данных в условиях цифровизации, вопросы по сбору, упорядочению, формализации и структурированию данных по непрерывному профессиональному развитию педагогов (НПП) в различных форматах возможно решить при определении соответствующих методик по работе с данными. В соответствии видами работы с данными рассмотрим соответствующие методики.

Методики сбора данных НПП

Каждая методика сбора данных обладает своими уникальными характеристиками, преимуществами и ограничениями, что делает их выбор важным аспектом исследования, зависящим от целей, исходных данных и обстоятельств исследования. Опросы и анкетирование являются широко распространенными методами сбора данных, позволяющими

получить обзорные данные о знаниях, потребностях и мнениях педагогов относительно профессионального развития. Интервью и фокус-группы предоставляют возможность более глубокого анализа и понимания контекста профессионального развития педагогов. Наблюдение и наблюдательные методы позволяют исследователям непосредственно наблюдать за деятельностью педагогов в рамках программ НППП, что способствует получению более объективной информации. Анализ документов и архивных данных, в свою очередь, позволяет извлечь информацию из существующих документов и материалов, связанных с профессиональным развитием педагогов.

Важным аспектом сбора данных является также использование информационных систем управления обучением (LMS) и других специализированных систем, которые автоматически собирают данные о деятельности и успехах педагогов в процессе обучения. Это обеспечивает непрерывный и структурированный поток данных, который можно анализировать для выявления тенденций и оценки эффективности программ НППП.

Каждая из этих методик имеет свои сильные и слабые стороны, и их выбор зависит от конкретных задач и целей исследования. Эффективный сбор и анализ данных по НППП требует комплексного подхода и гибкости в выборе методов в зависимости от контекста исследования [3].

Согласно концептуальной модели архитектуры данных (рисунок 1) сбор данных производится в слое приложений. В современных информационных системах, ориентированных на организацию НППП, слой приложений играет значительную роль в процессе сбора, хранения и обработки данных. Его основная функция заключается в объединении разнообразных источников информации с целью обеспечения доступности и целостности данных для их последующего анализа и использования. В данном разделе рассматриваются различные источники информации, которые могут быть интегрированы через слой приложений с целью эффективного управления НППП.

LMS содержат информацию о курсах обучения, участниках, их прогрессе и результаты оценок, что необходимо для отслеживания профессионального роста педагогов. Интеграция данных из LMS через слой приложений обеспечивает единый доступ к информации и ее последующую обработку. Также важными источниками данных являются системы управления персоналом (HRM), которые содержат информацию о квалификации сотрудников, их обучении и карьерном росте. Интеграция данных из HRM позволяет связать информацию о персонале с процессами НППП, обогащая представление о потребностях и достижениях педагогов. Опросы и анкетирование также предоставляют важные данные о мнениях и предпочтениях педагогов относительно программ профессионального развития. Интеграция результатов опросов через слой приложений позволяет анализировать и учитывать мнения работников при разработке и реализации НППП. Дополнительно, данные для НППП могут поступать из внешних источников, таких как научные исследования, отчеты образовательных учреждений, законодательные акты и обратная связь от студентов и родителей. Интеграция этих данных через слой приложений обогащает информационную базу НППП и обеспечивает более полное представление о контексте профессионального развития педагогов.

В заключение слой приложений играет ключевую роль в интеграции разнообразных источников данных для управления НППП. Эффективное использование этого слоя обеспечивает целостность, доступность и актуальность данных, что является основой для принятия обоснованных управленческих решений и оптимизации процессов профессионального развития педагогов.

Методики упорядочения данных НППП

Упорядочение данных в контексте непрерывного профессионального развития педагогов играет ключевую роль в обеспечении структурированного и систематизированного подхода к анализу и использованию информации.

Методика классификации и категоризации данных представляет собой разделение данных на категории или классы в соответствии с определенными параметрами или атрибутами. Этот

подход позволяет организовать данные и делает их более доступными для последующего анализа. Использование иерархических или сетевых структур данных представляет собой организацию данных в виде дерева с уровнями и подуровнями, что способствует установлению логических связей между ними.

Метаданные, описывающие структуру данных, играют важную роль в их упорядочении и организации. Нормализация данных является процессом структурирования и устранения избыточности с целью повышения целостности и единообразия данных. Базы данных и информационные системы предоставляют инструменты для упорядочивания и организации данных с использованием различных таблиц, связей и запросов. Стандартизация форматов и схем данных способствует единообразию и согласованности данных.

Визуализация данных, такие как диаграммы и графики, помогает упорядочить и представить данные в понятной и наглядной форме. Каждая из представленных методик имеет свои преимущества и ограничения, и выбор конкретной методики зависит от характера данных, целей исследования и требований к их обработке. Эффективное упорядочение данных в области НППП требует гибкого подхода и комплексного использования различных методик. В концептуальной модели архитектуры данных (рисунок 1) данные из различных источников присутствующих на слое приложений, поступают и хранятся в системах управления базами данных (СУБД) в “слое источников данных”.

В связи с тем, что упорядочивание данных является одним из важнейших этапов, а также в связи с тем, что в слое приложений могут быть различные данные с различными типами и требованиями к ним, либо с неподходящей совместимостью с существующими системами и многими иными факторами, данные могут храниться в нескольких СУБД. Однако, существуют классические проблемы, связанные с использованием нескольких СУБД в рамках одной информационной системы, такие как: сложность интеграции данных, сложность сопровождения, проблема согласованности и целостности данных, низкая производительность, сложность масштабирования и иные проблемы.

Перечисленные проблемы как правила требуют разработки стратегии интеграции данных, использования средств адаптеров или посредников данных, а также стандартизации форматов и методов доступа к данным.

Методики формализации и структурирования данных

Структурирование данных в контексте НППП является ключевым этапом для обеспечения их систематизированности, ясности и готовности к последующей обработке и анализу. В данной статье рассматриваются и описываются основные методики формализации данных, используемые в данной области исследований. Началом формализации данных является создание схем или моделей данных, определяющих их структуру, типы, связи и ограничения. Например, для данных о профессиональном развитии педагогов разрабатывается схема, включающая атрибуты, такие как уровень образования, пройденные курсы, результаты оценок и прочее. Одним из важных аспектов формализации является использование стандартных форматов данных, таких как JSON (JavaScript Object Notation), XML (Extensible Markup Language), CSV (comma-separated values), и согласованных кодировок, обеспечивающих единообразие и согласованность данных в их представлении. Также необходимо определить онтологии и стандартную терминологию для описания данных, что включает в себя термины, используемые в рамках НППП, такие как «профессиональное развитие», «компетенции», «оценка эффективности» и другие. Нормализация данных также важна в процессе формализации, где данные приводятся к определенному стандарту или формату для обеспечения их легкой интерпретации и обработки. Использование метаданных, описывающих данные и их характеристики, также играет ключевую роль в формализации данных, помогая установить контекст и смысл. Разработка правил и стандартов для сбора, хранения, обработки и представления данных является неотъемлемой частью процесса формализации. Это обеспечивает согласованность и надежность данных в рамках НППП. Для автоматизации процесса формализации данных могут применяться специализированные

инструменты, такие как CASE-системы, которые помогают создавать структурированные модели данных и генерировать код на их основе. Выбор конкретных методик формализации зависит от требований проекта НПП, характера данных и используемых технологий. Эффективная формализация данных упрощает их обработку, анализ и использование для принятия управленческих решений и оптимизации процессов профессионального развития педагогов.

Консолидация и структурирование данных включает этапы извлечения, преобразования и загрузки данных ETL (*Extract, Transform, Load*) либо ELT (*Extract, Load, Transform*), что позволяет подготовить данные для дальнейшего анализа. Это включает в себя очистку данных, устранение дубликатов, преобразование форматов и создание связей между данными. ETL и ELT это два подхода к обработке данных для проведения дальнейшей аналитики. Многие организации, которые работают с большими данными сталкиваются с тем, что прежде чем, получить определенную ценность из массива данных его необходимо структурировать, фильтровать, сортировать и очищать, чтобы он стал полезным с точки зрения аналитики и решения бизнес-задач.

Основными различиями в подходах являются изначальные бизнес-требования к аналитике, архитектуре данных и иным аспектам. ETL использует набор бизнес-правил для обработки данных из нескольких источников перед централизованной интеграцией. А подход ELT загружает данные в том виде, в каком они собраны, и преобразует их на более позднем этапе в зависимости от сценария использования и требований к аналитике. Другими словами процесс ETL требует большего определения на начальном этапе, то есть аналитикам необходимо участвовать с самого начала, чтобы определить целевые типы данных, структуры и взаимосвязи. Тогда как в ELT этот процесс производится на более позднем этапе. Отличие этих процессов проиллюстрированы на Рисунке 2.

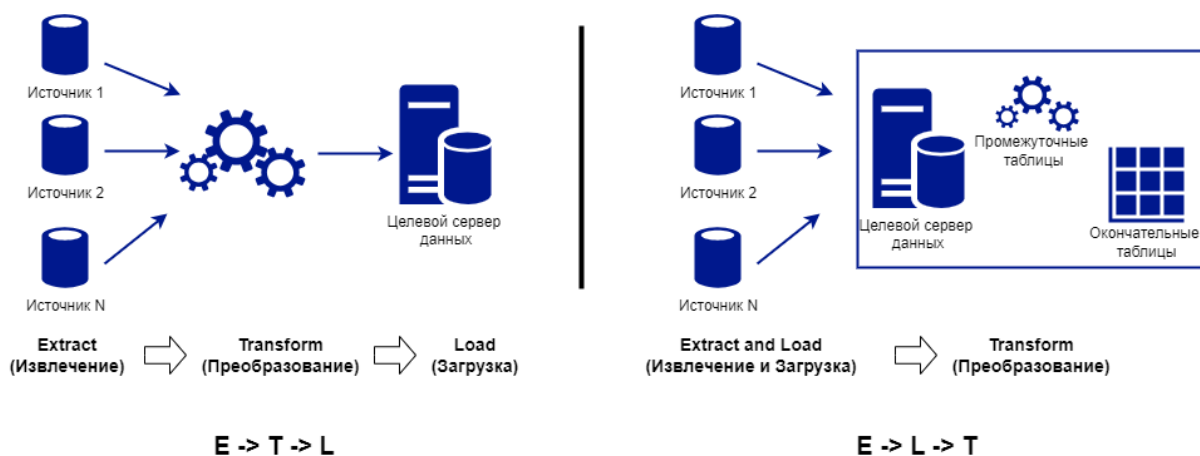


Рисунок 2. Концепция работы ETL и ELT

По концепции работы ETL процесса, мы понимаем что оно включает в себя извлечения данных из источников, их трансформации в нужный формат и загрузки в целевую систему (например, целевой сервер данных). Оно позволяет объединить данные из различных источников в единое хранилище данных чем и обеспечивает целостность и полноту информации.

В ELT процессе данные извлекаются из источников, загружаются в хранилище данных и затем трансформируются в необходимый формат внутри самого хранилища данных согласно концепции. Он позволяет эффективно обрабатывать большие объемы данных в сыром виде, что особенно полезно при работе с большими массивами данных. В виду отсутствия этапа трансформации данных перед этапом загрузки, ускоряется процесс загрузки. Отсутствие

подготовленных заранее наборов данных позволяет анализировать включать в себя и генерировать любой набор данных возможный в рамках хранилища данных, не ограничиваясь заранее подготовленными структурами данных. Этот подход позволяет легко добавлять дополнительные источники данных и является более гибким в парадигме масштабируемой архитектуры данных. ELT стал особенно популярным с развитием технологий хранилищ данных, таких как Hadoop и NoSQL базы данных, которые позволяют обрабатывать данные в их сыром виде. В целом, ELT подход предоставляет ряд преимуществ в условиях работы с изменчивыми требованиями анализа и позволяет создавать гибкие и масштабируемые решения для хранения и обработки данных.

Слой корпоративного хранилища данных (DWH)

Как мы понимаем из вышесказанного процесс перетекание данных начиная от идентификации источников и определения необходимых данных, заканчивая их загрузкой в целевые хранилища и созданием витрин данных для аналитических целей является комплексным. Для выполнения этого процесса используются различные технологии и инструменты в соответствии с требованиями и спецификой организации. После обработки данных на слое консолидации и подготовки их для долгосрочного хранения, они загружаются в основное корпоративное хранилище (DWH). Это хранилище часто используется для хранения всех данных организации в централизованной и структурированной форме [4-7].

DWH – это сочетание концепций и технологий, которые помогают организациям управлять историческими данными, полученными из операционных и транзакционных приложений, и поддерживать их [3]. Оно помогает работникам умственного труда принимать более быстрые и обоснованные решения. Другими словами это новая парадигма в области принятия стратегических решений. По сути DWH не продукт, а среда, в которой пользователи могут находить стратегическую информацию.

DWH содержит набор логических данных, отделенных от оперативной базы данных, и представляет собой сводную информацию. Она позволяет интегрировать различные типы данных из различных приложений или систем. Это обеспечивает единый механизм доступа для руководства, позволяющий получать информацию и анализировать ее для принятия решений. В DWH используется метод моделирования данных, называемый методом многомерного моделирования. Многомерного моделирование – это модель на основе вызовов, поддерживающая высокоуровневый доступ к запросам. Например, Схема "Звезда" - это форма схемы многомерного моделирования, которая содержит таблицу фактов в центре и таблицы измерений. Таблица фактов содержит описательный атрибут, который используется для запроса и обработки внешнего ключа для подключения к таблице измерений. Атрибуты анализа решений включают показатели эффективности, операционные показатели, совокупные размеры и все другие показатели, необходимые для анализа эффективности организации. DWH поддерживает систему поддержки принятия решений. Системы поддержки принятия решений (СППР) - это компьютерная система, которая помогает лицам, принимающим решения, использовать доступные данные и модели для решения проблем [8]. Функции СППР объединяют ресурсы каждого человека и возможности компьютера для повышения качества принимаемых решений. При создании СППР необходимо спланировать зрелую систему, а также тщательно подготовить и внедрить его компоненты.

Слой аналитики и презентации данных

Одним из важнейших этапов создания функциональной архитектуры данных в контексте исследования и анализа больших объемов данных из различных источников является применение витрин данных (Data Marts). Использование витрин данных позволяет обеспечить эффективный инструмент для анализа и интерпретации данных, а также для получения более глубоких и точных результатов и выводов, на основе которых строится механизм принятия решений. Витрина данных позволяет объединить данные из DWH и интегрировать их в единое хранилище данных, представленное в удобной форме для анализа. Зачастую витрины данных позволяют решить проблему “единой версии правды” фактором, который как правило на

практике является основополагающим при анализе данных т.е. единый источник достоверных данных. Централизованный характер витрины данных гарантирует, что в рамках поставленной бизнес-задачи каждый этап начиная с технической реализации, проведения анализа бизнес-задачи и до принятия решения будет производиться, опираясь на одни и те же данные. Данный тезис позволяет утверждать, что данным и основанным на них прогнозам можно доверять, что является очень важным аспектом для НППП. Таким образом данные хранящиеся в витринах как правило являются “очищенными” под конкретные бизнес-требования. В случаях, когда различные команды аналитиков работают над разными аналитическими задачами но используют в своем анализе частично либо полностью одни и те же источники данных, витрины данных позволяют стандартизировать и повысить качество и корреляцию между результатами аналитических задач.

Вместе с тем, немаловажным при проектировании архитектуры данных является выбор методологии структуры данных. Различные методологии имеют свои сильные и слабые стороны. Выбор методологии данных является важным с точки зрения отдельного кейса, отдельных целей и задач, а также технической реализации, затрат на ресурсы и мощности оборудования, но не в меньшей мере влияет на уровень технической подкованности аналитических подразделений организации. Для НППП будет приемлемым использование методологии USS (Unified Star Schema). Модель данных представляет собой единую структуру для хранения данных для целей аналитики. Благодаря тому что модель, объединяет данные из различных источников в единое хранилище данных, используя одну унифицированную схему, делает анализ данных более простым и эффективным. К преимуществам USS модели можно отнести автоматизацию создания модели данных, в виду того, что, все связи между источниками данных и таблицами заранее пересчитаны и хранятся в единой таблице связей что также повышает коэффициент согласованности данных. Это позволяет брать абсолютно любой набор данных уже обработанный USS моделью и без глубокого понимания отраслевых нюансов о данных и знаний в моделировании данных строить корректную модель данных, что соответственно минимизирует риск получения неправильного анализа вследствие некорректного моделирования данных. Однако данный подход достаточно затратен в части ресурсов и технических характеристик оборудования в виду того, что в таблице связей просчитываются все вариации, всех связей, всех источников данных и таблиц, друг между другом.

Также, витрина данных может быть настроена для поддержки различных видов анализа, таких как отчетность, OLAP, data mining и машинное обучение. Это позволит исследователям и аналитикам НППП проводить разнообразные аналитические операции на основе одного источника данных. Витрины данных значительно повышают производительность анализа данных за счет оптимизации структуры хранения и доступа к данным. В виду того, что в витрине данных хранятся заранее структурированное и консолидированные данные повышается эффективность запросов и вычислений.

Ключевой задачей аналитических инструментов является “превращение” данных в умозаключения и выводы. Анализ больших данных требует специализированных инструментов и платформ, способных эффективно обрабатывать и анализировать огромные объемы данных. Для анализа больших данных могут применяться различные технологии, например, такой как вышеупомянутый OLAP. Он обеспечивает интерактивный и многомерный анализ данных, позволяя пользователям исследовать данные с различных точек зрения и исследовать связи между различными аспектами информации или процессов таких как Data Mining (интеллектуальный анализ данных).

Дискуссия

Часто возникающим запросом для точного и своевременного реагирования на проводимый анализ является поддержка обновления данных в реальном времени. Для этой цели как правило наряду с инструментами анализа данных могут быть использованы брокеры очередей

и различные иные инструменты для отладки процесса сбора и обработки данных в реальном времени. Инструменты для анализа больших данных достаточно гибки в вопросе масштабируемости, что позволяет углублять анализ, пере использовать наборы данных в смежных задачах и эффективно использовать ресурсы распределенных кластеров серверов. Также указанные инструменты автоматически управляют репликацией данных, устранением отказов и масштабированием обработки данных по мере необходимости [9]. В виду того, что инструменты для анализа больших данных разрабатывались для конкретной цели, они как правило оптимизированы для работы с многопоточностью и распределенными вычислениями, что обеспечивает высокую производительность при обработке и анализе данных. Это позволяет сократить время выполнения запросов и операций с данными.

Большинство инструментов предоставляют возможности для визуализации данных, создания интерактивных дашбордов, автоматизации принятых в организации отчетностей. Функционал визуализации несет в себе большую ценность в части аналитических возможностей. Визуализация данных позволяет представлять результаты анализа в удобной для пользователя форме для принятия решений, исследовать данные, и решать задачи связанные с аналитикой данных. Неотъемлемой частью аналитики данных является извлечение из данных инсайтов, аномалий, трендов и скрытых закономерностей в бизнес среде. При четко сформулированных требованиях к аналитике визуальный слой позволяет в быстрые сроки и в удобной для пользователя форме превращать данные в умозаключения и уже на основе которых принимать взвешенные решения [10].

Заключение

В ходе работы были рассмотрены методики сбора, упорядочения, формализации и структурирования данных по непрерывному профессиональному развитию педагогов различных форматов. Эти методики представляет собой комплексный подход к организации информации, необходимой для эффективного управления процессами профессионального развития педагогов.

Первоначально были выделены ключевые источники данных, включая системы управления обучением (LMS), опросы и анкетирование, а также иные источники данных. Интеграция информации из этих источников через слой приложений позволяет создать единую информационную базу для управления НПП.

Методика также предусматривает шаги по формализации данных, включая определение схем и моделей данных, использование стандартных форматов и кодировок, а также определение онтологий и терминологии. Эти шаги способствуют обеспечению единообразия и согласованности данных, что важно для их последующей обработки и анализа.

Структурирование данных осуществляется с использованием различных методов, таких как использование реляционных баз данных, иерархических и сетевых структур данных, а также разработка правил и стандартов для сбора и обработки данных. Это позволяет создать логическую структуру данных, которая упрощает их использование и анализ.

Таким образом, рассмотренные методики представляет собой комплексный и системный подход к сбору, упорядочению, формализации и структурированию данных по НПП различных форматов. Эти подходы способствует эффективному управлению процессами профессионального развития педагогов и обеспечивает основу для принятия обоснованных управленческих решений в данной области.

Благодарность

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR21882260).

Список использованных источников

- [1]Garcia M., Rodriguez L. "The Role of Metadata in Structuring Educational Data." *International Conference on Data Science in Education Proceedings*, 2018, 75-84
- [2]Brown A., Williams C. "Effective Data Organization for Professional Development Programs." *Journal of Educational Management*, 25(4), 2019, 112-128
- [3]Jones K., Lee S. "Hierarchical Data Structures for Educational Research." *Journal of Data Analysis in Education*, 2017, 8(3), 88-105.
- [4]Soukaina Ait Errami et al., "Spatial Big Data Architecture: From Data Warehouses and Data Lakes to the LakeHouse," *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 176, pp. 70-79, 2023
- [5]Asma Dhaouadi et al., "Data Warehousing Process Modeling from Classical Approaches to New Trends: Main Features and Comparisons," *Data*, vol. 7, no. 8, 2022
- [6]Athira Nambiar, and Divyansh Mundra, "An Overview of Data Warehouse and Data Lake in Modern Enterprise Data Management," *Big Data and Cognitive Computing*, vol. 6, no. 4, 2022
- [7]Sivakumar Ponnusamy, "Evolution of Enterprise Data Warehouse: Past Trends and Future Prospects", September 2023, *International Journal of Computer Trends and Technology* 71(9):1-6
- [8]Marcus Preis., Juergen Seitz, "Faster and better decisions in changing environments using a hybrid approach of data warehouse integration", *Article in Economics and Management* · August 2012
- [9]J. Hasoon, R. Hassan, "Big Data Techniques: A Survey", *Iraqi Journal of Information Technology* Vol.9 No.4 Sep. 2019
- [10]Smith J., Johnson R. "Data Structuring Techniques in Educational Research." *Educational Data Analysis Journal*, 2020, 10(2), 45-63

References

- [1]Garcia, M., & Rodriguez, L. (2018). "The Role of Metadata in Structuring Educational Data." *International Conference on Data Science in Education Proceedings*, 75-84
- [2]Brown, A., & Williams, C. (2019). "Effective Data Organization for Professional Development Programs." *Journal of Educational Management*, 25(4), 112-128
- [3]Jones, K., & Lee, S. (2017). "Hierarchical Data Structures for Educational Research." *Journal of Data Analysis in Education*, 8(3), 88-105.
- [4]Soukaina Ait Errami et al., "Spatial Big Data Architecture: From Data Warehouses and Data Lakes to the LakeHouse," *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 176, pp. 70-79, 2023
- [5]Asma Dhaouadi et al., "Data Warehousing Process Modeling from Classical Approaches to New Trends: Main Features and Comparisons," *Data*, vol. 7, no. 8, 2022
- [6]Athira Nambiar, and Divyansh Mundra, "An Overview of Data Warehouse and Data Lake in Modern Enterprise Data Management," *Big Data and Cognitive Computing*, vol. 6, no. 4, 2022
- [7]Sivakumar Ponnusamy, "Evolution of Enterprise Data Warehouse: Past Trends and Future Prospects", September 2023, *International Journal of Computer Trends and Technology* 71(9):1-6
- [8]Marcus Preis., Juergen Seitz, "Faster and better decisions in changing environments using a hybrid approach of data warehouse integration", *Article in Economics and Management* · August 2012
- [9] J. Hasoon, R. Hassan, "Big Data Techniques: A Survey", *Iraqi Journal of Information Technology* Vol.9 No.4 Sep. 2019
- [10] Smith, J., & Johnson, R. (2020). "Data Structuring Techniques in Educational Research." *Educational Data Analysis Journal*, 10(2), 45-63.

Zh.K. Sydykova¹, Zh.A. Naushabekov^{1*}

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: zhomart.naushabekov@gmail.com

APPLICATION OF STEM EDUCATION TO ANALYZE AND SOLVE PHYSICS PROBLEMS IN SCHOOLS

Abstract

This study's objective was to describe students' problem-solving skills. The purposive selection method was used to pick the sample from among 65 participants from 11 classes. Data are gathered via a test of problem-solving aptitude. Its four indicators are problem identification, problem formulation, problem resolution, and problem assessment. Project-Based Learning (PjBL) in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) is increasing efficacy, creating meaningful learning, and influencing student attitudes toward future career pursuits. Project-based learning with a STEM focus causes learning (PjBL). Students' abilities to plan, communicate, solve problems, and come to the best judgments from the difficulties presented are all improved by the learning. Students' abilities to plan, organize, negotiate, and make agreements about the tasks to be completed, who is responsible for each activity, and how the information will be gathered and presented can be developed through this learning.

Keywords: project-based learning (PjBL), science, technology, engineering and mathematics (STEM), physics education, problem-solving.

Сыдықова Ж.К.¹, Наушабеков Ж.А.¹

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

МЕКТЕПТЕ ФИЗИКА ЕСЕПТЕРІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ШЕШУ ҮШІН STEM ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНУ

Аңдатпа

Бұл зерттеудің мақсаты орта мектеп оқушыларының физикалық есептерді шешу дағдыларын сипаттау. Зерттеу жұмысына 11 сыныптан 65 оқушы таңдалып алынды. Мәліметтер проблеманы шешу қабілетін тексеру арқылы жиналады. Оның төрт көрсеткіші – мәселені анықтау, мәселені тұжырымдау, мәселені шешу және мәселені бағалау. Ғылым, технология, инженерия және математика (STEM) саласындағы жобаға негізделген оқыту (PjBL) тиімділікті арттырады, мазмұнды оқуды жасайды және оқушылардың болашақ мансаптық ұмтылыстарына деген көзқарасына әсер етеді. STEM фокусы бар оқыту жобалық оқытуды тудырады (PjBL). Оқушылардың жоспарлау, қарым-қатынас жасау, проблемаларды шешу және ұсынылған қиындықтардан ең жақсы пайымдаулар жасау қабілеттері оқу арқылы жақсарады. Оқушылардың жоспарлау, ұйымдастыру, келіссөздер жүргізу және орындалатын тапсырмалар туралы, әрбір әрекетке кім жауап беретіні және ақпараттың қалай жиналып, ұсынылатыны туралы келісімдер жасау қабілеттерін осы оқыту арқылы дамытуға болады.

Түйін сөздер: Жобаға негізделген оқыту (PjBL), ғылым, технология, инженерия және математика (STEM), физикалық білім, есептер шығару.

Сыдықова Ж.К.¹, Наушабеков Ж.А.¹

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

ПРИМЕНЕНИЕ STEM ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА И РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В ШКОЛАХ

Аннотация

Цель этого исследования состояла в том, чтобы описать навыки решения проблем учащихся старших классов. Методом целенаправленного отбора была отобрана выборка из 65 участников из 11 классов. Данные собираются с помощью теста способности решать проблемы. Его четыре индикатора – идентификация проблемы, формулировка проблемы, решение проблемы и оценка проблемы.

Проектное обучение (PjBL) в области естественных наук, технологий, инженерии и математики (STEM) повышает эффективность, создает значимое обучение и влияет на отношение учащихся к будущей карьере. Обучение, ориентированное на STEM, создает обучение на основе проектов (PjBL). Способности учащихся планировать, общаться, решать проблемы и приходиться к оптимальным выводам из представленных трудностей улучшаются в результате обучения. С помощью этого обучения можно развить способности учащихся планировать, организовывать, вести переговоры и договариваться о задачах, которые необходимо выполнить, о том, кто несет ответственность за каждое действие, и о том, как будет собираться и представляться информация.

Ключевые слова: проектное обучение (PjBL), наука, технология, инженерия и математика (STEM), обучение физике, решение задач.

Main provisions

Based on the study's findings, physics education students demonstrate advanced problem-solving skills, particularly in problem recognition and strategy planning, with strong implementation skills noted as well. However, their ability to evaluate solutions shows moderate development at this stage. The integration of Project-Based Learning (PjBL) in STEM-focused physics education is recommended for fostering collaborative teamwork and individual accountability. PjBL enables students to apply theoretical knowledge to real-world STEM challenges, promoting interdisciplinary learning across STEM fields. This approach prepares students for careers requiring integrated problem-solving skills. Effective implementation of PjBL necessitates teacher training, resources for project design, and diverse assessment methods to evaluate both collaboration and individual contributions.

Introduction

In recent years, physics problem-solving skills have attracted the attention of researchers. There is because prospective 21st-century teacher students are required to develop and master a variety of skills, including the capacity to solve problems. The goal of contemporary education is to produce student teachers who are capable of resolving issues that arise in both their personal and professional lives. They would have been expected to discover an easy solution to the issue as aspiring instructors. One of the 21st-century abilities on which physics learning is concentrated is the capacity for problem-solving. Students who are pursuing careers as professional physics teachers should be provided that material [1].

As aspiring teachers, students must possess the core skill of problem-solving. If students can use their fundamental knowledge to solve issues, they are said to be successful learners. Mathematical equations and techniques are not the only quantitative aspects of problem-solving that are stressed. However, it also places a strong emphasis on qualitative analysis components, such as selecting the appropriate concepts and guiding principles [2].

By tackling challenges that have practical applications, kids may study science, math, and engineering through STEM education. Application STEM education can be a substitute for scientific instruction in 21st-century classrooms [3]. Students who are exposed to STEM subjects may be encouraged to build, develop, and use technology while also developing their cognitive skills. STEM may teach students how to use technology and their knowledge to develop innovations that solve environmental problems [3].

Students are more likely to participate in activities that they believe are beneficial. In other words, before making a concerted effort, students must and prefer to believe in their own ability to comprehend the material. Students with strong self-efficacy feel they can effectively finish things. Students with high levels of self-efficacy, according to Pintrich and de Groot (1990), are more likely to persist with their goals. Furthermore, self-efficacy was identified as a major predictor of academic achievement. According to certain studies [4], students that are immersed in a learning environment that deals with real-life challenges tend to have good self-efficacy attitudes about the subject matter. Furthermore, students should be involved in the learning process in terms of cognitive and behavioral components, according to Linnenbrink and Pintrich's findings in 2003, for meaningful learning and

increased self-efficacy. Other study discovered that STEM PjBL improves efficacy and promotes meaningful learning through student-directed inquiry.

Finding the physics principles that apply to the problem is one of the important steps in addressing a physics challenge. Students can be divided into two groups based on their problem-solving skills: those with high talents and those with low abilities. High-achieving students frequently employ arguments based on physics principles. They frequently assess potential solutions and make use of visual aids. On the other hand, less capable students are more likely to rely on quantitative evidence, such as the use of formulas to solve physics problems [5].

The steps involved in addressing physics issues include problem recognition, strategy implementation, strategy planning, and solution evaluation. These stages have been adjusted based on the problem-solving techniques proposed by Young, Freedman, Heller, and others. Table 1 lists the indications for each of these actions. These indicators are altered versions of [4] and [5]. The physics problem-solving skills utilized in this study are shown by this indication.

Table 1. Stages and Indicators of Physics Problem Solving Ability

<i>Stage</i>	<i>Indicator</i>
<i>Recognizing the problem Planning strategy</i>	<i>Identify problems based on basic concepts Determining the right concept for problem-solving Create a troubleshooting trial procedure</i>
<i>Implementing strategy</i>	<i>Solve problems according to plan Perform data analysis based on experimental results</i>
<i>Evaluating solution</i>	<i>Draw conclusions from the answers obtained and re-check the results obtained</i>

Science, Technology, Engineering, and Math (STEM) is one educational method that emphasizes problem-solving. STEM education-based learning in mathematics. STEM stands for Science, Technology, Engineering, and Mathematics, and it refers to an educational strategy. The science that future teachers' pupils study in this instance is physics. The use of technology is a supportive tool for teaching concepts and assisting pupils in understanding what they are learning. The goal of applying engineering is to teach students how to create, put things together, sketch, and do other things so that they may learn how to solve issues. The notion of science itself was also intended to be simplified by mathematics in a more organized and numerical manner.

In order to learn STEM, students must focus on a number of different aspects of the learning process, including: (1) posing questions and defining problems; (2) developing and using models; (3) planning and conducting investigations; (4) analyzing and interpreting the data; (5) using mathematics, information and computer technology, and computational thinking; (6) developing explanations (in science) and designing solutions (in engineering); (7) engaging in evidence-based arguments; and (8) obtaining, evaluating, and communicating data. Various techniques and learning models may be used to promote the implementation of STEM in education. That is as a result of STEM's integration. Numerous study findings describe PjBL, one of the learning models that may be used in STEM education. PjBL can force pupils to use their critical thinking and academic skills to solve difficulties [6].

PjBL is a problem-based learning approach that involves students in designing, solving problems, making decisions, or doing research [7]. PjBL can assist students in finding solutions to the difficulties presented, with a focus on the final products. Students' creations might take the shape of concepts or physical objects. Individuals or organizations may solve problems and design products. Working in groups can motivate students to collaborate while maintaining individual accountability for their work. Students can also manage their learning autonomously in groups, depending on the

needs of their individual groups. Students can apply science and technology in product finishing. So that kids may comprehend indirectly how science and technology are used and help society.

The fact that students may select the tasks and activities they do during the learning process is another feature of PjBL. As they participate in inquiry, active discovery, investigation, and decision-making, students may be communicative and creative in the development of practical thinking. Experience and experimenting in the actual world are the foundation of knowledge. Additionally, PjBL makes learning relevant by tying new knowledge to previous experience. PjBL is a method that encourages all students to engage to the fullest extent possible [8].

According to early study in the form of learnt observations, previously taught knowledge did not develop problem-solving abilities. Explaining the physical facts that occurred and the theories that underpin and help solve them facilitates learning. Order for pupils to be less prepared to identify and address the challenges presented. Therefore, academics are interested in using the STEM-based PjBL model to help physics education students exercise their problem-solving abilities [9]. The purpose of this study was to characterize the problem-solving skills of students studying physics at the School Physics Laboratory.

The adoption of PjBL was anticipated to be a substitute for traditional scientific education in the twenty-first century. It is anticipated that STEM and PjBL will work together to help future physics instructors develop their problem-solving skills. Pre-service teachers must receive training in this area since they need to be able to solve problems in order to create engaging and fulfilling learning experiences for their students.

The description you've provided outlines a research study in the field of physics education, focusing on problem-solving abilities among physics course participants. Here's a breakdown of the key components and methodology of the study:

The primary goal of the study is to investigate and define problem-solving skills demonstrated by students enrolled in physics courses. The aim is to gain a comprehensive understanding of the intricacies involved in these skills and identify factors that contribute to their growth and development. The study employs a quantitative descriptive technique. This suggests that the research will primarily focus on collecting and analyzing numerical data to describe and understand the problem-solving abilities of physics students.

The study employs tests and surveys as data collection instruments. These tools are specifically designed to evaluate how proficient physics students are in solving problems. It's crucial to note that these instruments are quantitative in nature, implying that the data collected will consist of numerical scores or responses to structured questions.

The researchers use a purposeful sampling technique to select participants for the study. This means that they intentionally select students from the physics curriculum at various levels. The purposeful sampling approach allows the researchers to focus on specific groups of students that are most relevant to the research objectives.

The instruments chosen for data collection are tailored to assess problem-solving abilities in a range of physics-related contexts. This suggests that the study aims to explore how well students can apply their problem-solving skills in various scenarios within the field of physics.

Given the quantitative nature of the data, the analysis will likely involve statistical methods to describe and summarize the problem-solving skills of the participants. This may include calculating means, standard deviations, and other relevant statistical measures.

Overall, this research study seeks to provide a quantitative description of problem-solving skills among physics students. It uses purposeful sampling, specifically designed instruments, and quantitative analysis techniques to achieve its research objectives. The findings of this study could be valuable for educators and curriculum designers in improving physics education and enhancing students' problem-solving abilities in the field of physics.

Research methodology

This study uses quantitative descriptive methods. A variable or circumstance is intended to be described, interpreted, or explained in descriptive research. The purpose of this study is to describe the problem-solving skills of students studying physics at the School Physics Laboratory. The 65 participants in this study were all 2022 physics education students. Two classes made up the research subjects, and the purposive selection method was used to choose the sample. The research time was spent throughout the first and second terms of 2022.

The method of gathering data was done using a test of problem-solving skills. The tool has four indicators: identifying problems, formulating solutions, resolving issues, and assessing issues. The percentage score obtained from the computation of the Likert scale was employed in data analysis on a questionnaire. By assigning a score with a specified weight, the Likert scale has been used to gauge people's attitudes, views, and perceptions of an event. Equation 1 was employed to determine the average percentage.

$$P = \frac{f}{N} \cdot 100\% \quad (1)$$

P stands for the percentage average, f for the total score based on student opinions, and N for the highest possible score based on student perceptions. Table 2 [10] provides confirmation of the perception category of the pupils and the category of students' satisfaction.

Table 2. The Category of Students' Satisfaction

Percentage average	Criteria
85 – 100	Very high
70 – 84	High
55 – 69	Moderate
40 – 54	Low
0 – 39	Very low

According to Table 2, analytical results are considered good if they have a value of 70.

Results of the study

The study was conducted as part of School Physics Laboratory instruction. Simple, yet relevant to the issue that arises in daily life, problems were given to the students. These issues take the shape of commonplace, straightforward physical facts. Students were also instructed to use the PjBL model to address similar challenges. Figure 1 depicts a sample of a problem that students were given.

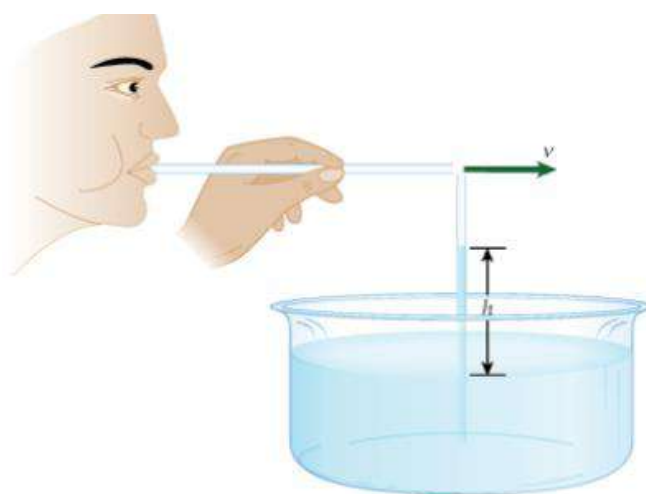


Figure 1. A straw is placed so that it stands vertically in a bowl of water

Task example: A straw is placed so that it stands vertically in a bowl of water. A second straw is placed perpendicular to the first. As you blow air into the second straw the level of water in the vertical straw rises, as shown in the figure. The straws are identical and have a diameter of $d = 0.64$ cm and length $L = 20$ cm. You are able to exhale 1.2 litres of air through the horizontal straw in 2 seconds, and the density of air is 1.29 kg/m^3 .

- a) Determine the speed of air v exiting the horizontal straw.
- b) Solve for the pressure at the end of the straw where the blown air exists. Explain your reasoning for the values you use for each term in Bernoulli's equation (and any other equation(s) that you may use).
- c) Solve for the height that the water rises in the vertical straw (labeled h in the figure above).
- d) If you can maintain blowing the same volume of air in the same amount of time, how does the height of water change when you switch to a set of straws having half the diameter as before? That is, how does the water height depend on diameter of the straw? Explain your logic.
- e) Given that the viscosity of air is $2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, what is the pressure difference required to blow 1.2 litres in 2 seconds through the straw?

In essence, the project-based learning approach aims to find solutions to challenging issues. In order to perform investigations and comprehend difficulties, this model is necessary [11]. PjBL is used in the classroom by splitting the students into various groups. Eight persons make up each group. Working in groups can motivate students to collaborate while maintaining accountability for their work. Additionally, students are able to independently regulate their learning according to the needs of each group member [11].

Process evaluation and evaluation of learning outcomes are carried out while applying the PjBL paradigm. Student progress reports on successful projects are used to evaluate processes in the classroom. A problem-solving ability instrument with four indications is used to evaluate the outcomes. That is problem-spotting, problem-solving, problem-solving, and evaluation. Table 3 displays the findings of the examination of physics education students' capacity for problem-solving.

Table 3. Results of Problem-solving Ability Analysis

Stage	Indicator	Percentage	Criteria
Recognizing the problem	Identify problems based on basic concepts	84	High
Planning strategy	Determining the right concept for problemsolving Create a troubleshooting trial procedure	86	Very high
Implementing strategy	Solve problems according to plan Perform data analysis based on experimental results	77	High
Evaluating solution	Draw conclusions from the answers obtained and re-check the results obtained	69	Moderate
Average		79	High

Discussion

Students were given a problem to solve after being given the problem. The number of problem agendas that are pertinent to the given problem that can be identified by the students is unlimited. Students were free to gather pertinent data by reading books, looking at things, speaking with experts, or doing their own experiments. Students are also given freedom and flexibility to create project plans that will work. Students plan how their project will go in groups.

Students create a schedule for the project's completion in order for it to be finished on time. At this point, students' problem-solving abilities have been honed to critical thinking, and they are proficient at estimating what needs to be done in terms of preparation and manufacturing so that the project may

be finished on schedule. After creating the timetable, the following stage is to keep an eye on the project's development. This checks to determine if the project has been proceeding as expected. Students can use science and technology to their advantage in order to complete the project, which will help them grasp the uses and advantages of science and technology in daily life [11]. Students can learn how to apply their knowledge to use technology to tackle problems related to the environment by using science and technology in the classroom.

According to Table 3, pupils have a high level of recognition for the given issue. This is due to the fact that students were given straightforward issues that had real-world applications. In order for kids to recognize issues based on physics fundamentals. The capacity for strategy planning is very strong. Students can now choose the principles that will be applied to the situation at hand and design experimental methods to address it. Students can decide who will carry out the work stages and solutions, as well as the order in which they will be carried out. Furthermore, a high level of application of the technique is attained. At this point, students are capable of resolving issues using the experimental techniques they have gathered. Students collaborate to solve problems at this stage, but they are still each accountable for their own effort. The students carried out the experiment, collected the data, and then analyzed it. The kids' capacity for data analysis is very strong at this point.

The ability to assess the answer is currently at a reasonable level. At this point, students have a moderate level of proficiency in drawing conclusions from the results they have found. This is due to the fact that students merely draw conclusions from their experiment results and fail to relate them to the experiments' intended goals or to the physics principles that were employed to arrive at those conclusions.

According to data analysis findings, students studying physics education who participate in STEM-based PjBL learning have highly developed problem-solving skills. It is in line with earlier studies [12] and [13] that suggested the PjBL paradigm might enhance students' problem-solving skills. Another study by [13] revealed that using a STEM approach to teaching could enhance students' capacity for problem-solving.

Students get the chance to use science, math, and engineering to solve real-world problems through the use of PjBL that is STEM-based. Additionally, through group cooperation, students actively participate in ill-defined tasks that result in well-defined outcomes [14]. Students can use prototyping and science-based design to solve challenges through PjBL learning that is STEM-based. Students are urged to use more scientific creativity when solving problems once they have practiced using the four STEM disciplines [15]. Students who have developed problem-solving skills will be better able to use their ability to its fullest.

The culmination of this STEM-based PjBL learning is a presentation of the findings from the students' project assignments. The researcher determined the students' proficiency with technology based on the outcomes of the project presentation. When describing the problem-solving process, it appears that video editing was used in the presentation of project findings.

By implementing PjBL in multiple disciplines, students can also benefit from interdisciplinary learning experiences. They can see how concepts from different subjects can be integrated to solve complex problems, mirroring the real-world challenges they may encounter in their future careers. It's important for educators to receive appropriate training and access to resources when implementing PjBL effectively.

This includes designing meaningful projects, assessing student progress, and managing group dynamics. Professional development opportunities and collaborative planning can support teachers in adopting this approach. Consideration should be given to how student learning is assessed in PjBL. Assessment methods should align with the learning objectives and may include project presentations, written reports, peer evaluations, and individual assessments to measure both collaboration and individual performance.

Conclusion

Based on the study's findings, it can be said that physics education students have highly developed problem-solving skills. Four markers of problem-solving competency are present: a) problem recognition; b) strategy planning; c) strategy implementation; and d) solution evaluation. The students' skills are at a high level at this point in the process of identifying the issue. The pupil has very good ability in terms of planning and strategy.

Students abilities are at a high level when implementing the method, and they are at a moderate level when evaluating the solutions. STEM-based PjBL instruction can prepare students to use technology to apply their knowledge to solve environmental concerns. The additional information you've provided highlights the use of Project-Based Learning (PjBL) as a teaching approach in the context of physics education. Here are some key points to consider: PjBL encourages collaboration among students, where they work together on projects or problems. However, it's important to emphasize individual accountability within group projects. This ensures that each student contributes meaningfully to the project and learns from the experience. Individual assessment criteria can be established to measure each student's contribution.

Using PjBL with a STEM focus in the context of physics education aligns with the interdisciplinary nature of STEM fields. It allows students to apply their knowledge and problem-solving skills to real-world, STEM-related challenges, enhancing their understanding and engagement. The suggestion to employ STEM-based PjBL in other disciplines or courses that share similarities with the School Physics Laboratory is a valuable idea. PjBL can be adapted and applied to various subjects, not just physics. It's effective for promoting critical thinking, problem-solving, and collaboration in diverse educational contexts.

In summary, STEM-based Project-Based Learning is a valuable approach that encourages collaboration, critical thinking, and problem-solving skills in the context of physics education. Its applicability to other disciplines can enhance interdisciplinary learning and prepare students for the challenges of the modern workforce. However, successful implementation requires careful planning, teacher support, and a focus on both collaboration and individual accountability.

References

- [1] Suyatna A. et al. *Future physics learning materials based on STEM education: Analysis of teachers and students perceptions //Journal of Physics: Conference Series.* – IOP Publishing, 2019. – T. 1155. – №. 1. – C. 012021.
- [2] Selçuk G. S., Çalıskan S. *The effects of problem solving instruction on physics achievement, problem solving performance and strategy use //Latin-American Journal of Physics Education.* – 2008. – T. 2. – №. 3. – C. 1.
- [3] Yuliati L. et al. *Building scientific literacy and physics problem solving skills through inquiry-based learning for STEM education //Journal of Physics: Conference Series.* – IOP Publishing, 2018. – T. 1108. – №. 1. – C. 012026.
- [4] Setianingrum L. Perno and Sutopo 2016 //*Analisis Kemampuan Pemecahan Masalah Fisika Siswa SMK.* – C. 37-42.
- [5] Schweingruber H. A. et al. *A framework for K-12 science education: Looking toward the future of science education //Bridge.* – 2013. – T. 43. – №. 1. – C. 43-50.
- [6] Tenti N. P. et al. *Meta-Analysis of the Effect of Integration Stem Education in a Various Learning Models on Student Physics Learning Outcomes //Pillar of Physics Education.* – 2021. – T. 13. – №. 4. – C. 520-528.
- [7] Kapila V., Iskander M. *Lessons learned from conducting a K-12 project to revitalize achievement by using instrumentation in Science Education //Journal of STEM Education.* – 2014. – T. 15. – №. 1.

[8] Taylor G. et al. A self-determination theory approach to predicting school achievement over time: The unique role of intrinsic motivation //Contemporary educational psychology. – 2014. – T. 39. – №. 4. – C. 342-358.

[9] Johnson S. A., Cuevas J. The effects of inquiry project-based learning on student reading motivation and student perceptions of inquiry learning processes //Georgia Educational Researcher. – 2016. – T. 13. – №. 1. – C. 51.

[10] Yusuf T. M., Wartono W., Koeshandayanto S. ICT Literacy and Problem Solving Skill of Senior High School through Discovery Learning Assisted by Moodle //Jurnal Pendidikan Sains. – 2018. – T. 6. – №. 3. – C. 88-93.

[11] Solihin A., Wibowo F. C., Astra I. M. Review of trends project based learning (PjBL) integrated STEM in physics learning //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – T. 2019. – №. 1. – C. 012031.

[12] Yulkifli Y. et al. Development of physics e-module based on integrated project-based learning model with Ethno-STEM approach on smartphones for senior high school students //Momentum: Physics Education Journal. – 2022. – T. 6. – №. 1. – C. 93-103.

[13] Rugh M. S. et al. Using DIME maps and STEM project-based learning to teach physics //Interactive Technology and Smart Education. – 2021. – T. 18. – №. 4. – C. 553-573.

[14] Mason A., Singh C. Assessing expertise in introductory physics using categorization task //Physical Review Special Topics-Physics Education Research. – 2011. – T. 7. – №. 2. – C. 020110.

[15] Siew N. M., Ambo N. Development and Evaluation of an Integrated Project-Based and STEM Teaching and Learning Module on Enhancing Scientific Creativity among Fifth Graders //Journal of Baltic Science Education. – 2018. – T. 17. – №. 6. – C. 1017-1033.