

ISSN(online) 2959-5894

ISSN (print) 2959-5886

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

# **ХАБАРШЫ**

**«Физика-математика ғылымдары» сериясы**  
**Серия «Физико-математические науки»**  
**Series of Physics & Mathematical Sciences**  
**№4(88)**

**Алматы, 2024**

ХАБАРШЫ

«Физика-математика ғылымдары»  
сериясы №4 (88), 2024 ж.

Бас редактор:

ф.-м.ғ.д., профессор М.А. Бектемесов

Редакция алқасы:

Бас ред.орынбасары:

п.ғ.д., профессор Е.Ы. Бидайбеков,  
ф.-м.ғ.д., профессор В.Н. Косов

Жауапты хатшылар:

п.ғ.к., қауым. профессор

Ш.Т. Шекербекова,

п.ғ.к., қауым. профессор

Г.А. Абдулкаримова

Техникалық хатшы:

Нурғали Ж.А.

Редакциялық алқа мүшелері:

Dr.Sci. К.Алимхан (Japan),

Phd.d. А.Сабата (Spain),

Phd.d. Е. Ковачева (Bulgaria),

Phd.d. М. Ruzhansky (England),

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

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

ф.-м.ғ.д., профессор Ф.Ф. Комаров,

(Республика Беларусь),

ф.-м.ғ.д., профессор В.М. Лисицин (Ресей),

п.ғ.д., профессор Н.И. Пак (Ресей),

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

п.ғ.д., профессор А.Е. Абылқасымова,

т.ғ.д., профессор Е. Амиргалиев,

т.ғ.д., профессор Б.С. Ахметов,

ф.-м.ғ.д., профессор А.С. Бердышев,

т.ғ.д., профессор К. Бисембаев,

т.ғ.д., профессор Н.С. Заурбеков,

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

т.ғ.д., профессор М.К. Кулбек,

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

Phd.d., қауым., профессор м.а.

Ж.М. Нурмухамедова,

п.ғ.д., профессор Б.Д. Сыдықов,

т.ғ.д., профессор А.К. Тулешов

© Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, 2024

Қазақстан Республикасының Ақпарат

министрлігінде тіркелген

№ 4824 – Ж - 15.03.2004

(Журнал бір жылда 4 рет шығады)

2000 жылдан бастап шығады

Басуға 27.12.2024 қол қойылды

Пішімі 60x84 1/8. Көлемі 38,25 е.б.т.

Таралымы 300 дана. Тапсырыс 621.

050010, Алматы қаласы,

Достық даңғылы, 13

Абай атындағы ҚазҰПУ-ің “Ұлағат” баспасы

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

МАТЕМАТИКА ЖӘНЕ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

MATHEMATICS AND MATHEMATICAL MODELING

**Babich-Gaury A.V., Babich V.V.**

Econometric model of factors influencing the change in company capitalization ..... 7

**Жаксыгулова Д.Д., Рахметуллина С.Ж., Гнатюк С.А.**

Критерии оценки устойчивости информационных систем критически важных объектов инфраструктуры ..... 19

**Крыкпаева А.А., Байтуленов Ж.Б.**

Ньютондық емес сұйықтық пішімі үшін жалған аймақтар әдісінің модификациясы ..... 29

**Mussirepova E., Urmatova A., Altynbekov Sh.**

A class of inverse problems for the heat equation with involutive perturbation ..... 40

**Тукенова Л., Ауелбеков О., Саметова А.,**

**Абдураимова Б., Сапакова С.**

Сұйықтық ағынын есептеуде сандық әдістер мен жасанды интеллектті қолдану ..... 51

**Чигамбаева Д.К.**

Интерполяционная теорема типа Марцинкевича для локальных пространств Морри ..... 63

**Shapen K.M., Akhmedov A., Rakhymova A.T.**

Application of bayesian analysis for comprehensive assessment of the state of fish resources in freshwater ecosystems ..... 71

ФИЗИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР МЕН МЕХАНИКАЛЫҚ  
ЖҮЙЕЛЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И  
МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

MODELING OF PHYSICAL PROCESSES AND  
MECHANICAL SYSTEMS

**Жұмабаева А.Қ., Иманбек Б.Т., Абдиахметова З.М.,**

**Тюлепбердинова Г.А.**

Анаэробты ректорлардағы биогаз өндіру жылдамдығының кванттық регрессиясына арналған машиналық оқыту ..... 81

**Ismailov B.R., Babakhodzhaev R.P., Aimenov Zh.T.,**

**Ismailov Kh.B., Shambilova A.S.**

Modeling hydrodynamics and heat transfer in heat exchangers with turbulators ..... 90

МАТЕМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ

METHODS OF TEACHING MATHEMATICS

Казахский национальный  
педагогический университет  
имени Абая

ВЕСТНИК

Серия «Физико-математические науки»  
№4 (88), 2024 г.

Главный редактор:

д.ф.-м.н., профессор М.А. Бектемесов

Редакционная коллегия:

Зам.главного редактора:

д.п.н., профессор Е.Ы. Бидайбеков,

д.ф.-м.н., профессор В.Н. Косов

Ответ. секретари:

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

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

Технический секретарь:

Нургали Ж.А.

Члены редколлегии:

Dr.Sci. К.Алимхан (Japan),

Phd.d. А.Сабата (Spain),

Phd.d. Е. Ковачева (Bulgaria),

Phd.d. М. Ружанский (England),

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

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

д.ф.-м.н., профессор Ф.Ф. Комаров,

(Республика Беларусь),

д.ф.-м.н., профессор В.М. Лисицин

(Ресей),

д.п.н., профессор Н.И. Пак (Ресей),

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

д.п.н., профессор А.Е. Абылкасымова,

д.т.н., профессор Е. Амиргалиев,

д.т.н., профессор Б.С. Ахметов,

д.ф.-м.н., профессор А.С. Бердышев,

д.т.н., профессор К. Бисембаев,

д.т.н., профессор Н.С. Заурбеков,

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

д.т.н., профессор М.К. Кулбек,

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

Phd.d., асс., профессор и.о.

Ж.М. Нурмухамедова,

д.т.н., профессор Б.Д. Сыдықов,

д.т.н., профессор А.К. Тулешов

© Казахский национальный педагогический  
университет им. Абая, 2024

Зарегистрирован в Министерстве  
информации

Республики Казахстан,

№ 4824 - Ж - 15.03.2004

(периодичность – 4 номера в год)

Выходит с 2000 года

Подписано в печать 27.12.2024.

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

Тираж 300 экз. Заказ 621.

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

Iskakova M.T., Toleugaliyeva S.,

Karzhaubay A., Diyarova L.D.

Use of Excel in teaching elements of statistics in school  
mathematics course ..... 100

Нұрахметова М.М., Нұрахметов Д.Б.

«Дифференциалдық теңдеулер теориясы» пәнінен  
студенттердің өздік жұмыстарын ұйымдастыру туралы ..... 106

Нурбаева Д.М., Нурмухамедова Ж.М.,

Косанов Б.М., Жадрова Л.У.

О развитии логического мышления будущих учителей  
математики в процессе решения геометрических задач ..... 117

Слямова М.С., Кокажаева А.Б.

Қазақстан мектептерінде ықтималдықтар теориясы мен  
математикалық статистика элементтерінің оқытылуы ..... 128

## ИНФОРМАТИКА

## COMPUTER SCIENCE

Alkhanova G., Zhuzbayev S.,

Baikonys A., Pernebayev Ye.

Mathematical modeling and data processing in Python ..... 137

Aitim A.K., Assan A.K., Abdimalipkyzy A., Anuarov E.E.

Development of mobile application for optimizing traffic flow  
through gamification ..... 145

Ивашук О.А., Ягалиева Б.Е., Гончаров Д.В.,

Ивашук О., Макулов К.К.

Парниктік газдардың әсерінен ауыл шаруашылығы  
дақылдарының жай-күйінің динамикасын цифрлық  
мониторингтеу және болжау ..... 158

Оразбеков Ж.Н., Мүсілім Ө.М.

ANY LOGIC ортасында университеттің корпоративтік  
деректер қорын басқару жүйесін құрудың қажеттілігі ..... 171

Tursynova A.T., Omarov B.S.

Evaluating an ensemble model for stroke image  
classification: comparative analysis with individual neural  
network architectures ..... 179

Shaimerdenova G.S., Azhibekova Zh. Zh. ,

Mussirepova E.B. , Esenkulova Z.Z., Zhailaubayev N.M.

A review of cyber defense mechanisms in autonomous electrical  
systems ..... 188

## ИНФОРМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ.

## БІЛІМ БЕРУДІ АҚПАРАТТАНДЫРУ

## МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОРМАТИКИ.

## ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

## METHODS OF TEACHING COMPUTER SCIENCE.

## INFORMATIZATION OF EDUCATION

Абдулаева Ә.Б., Сакибаева Б.Р.,

Жақпаев Қ.Р., Жанатбекова Н.Ж.

Оптика бойынша зертханалық жұмыстарды орындауда  
компьютерді қолдану мүмкіндіктері ..... 198

Abai Kazakh National  
Pedagogical University

BULLETIN  
Ser. Physics & Mathematical Sciences

№4 (88), 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

Technical Secretary:

Nurgali J.A.

Editorial board:

Dr.Sci. K. Alimhan (Japan),

Phd.d. A. Cabada (Spain),

Phd.d. E. Kovatcheva (Bulgaria),

Phd.d. M. Ruzhansky (England),

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

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

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

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

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

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

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

Dr.Sci.(Engineering) Ye. Amirgaliyev,

Dr.Sci. B.S. Akhmetov,

Dr. Sci. A.S. Berdyshev,

Dr. Sci. K. Bisembaev,

Dr. Sci. N.S. Zaurbekov,

Dr. Sci. M.N. Kalimoldayev,

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

Dr. Sci. S.T. Mukhambetzhanov,

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 27/12/2024  
Format 60x84 1/8. Vol. 38,25 p.  
Printing 300 copies. Order 621.

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

Amantay B., Uskenbayeva R.K.

The effects of semantic web-based learning: an educational  
paradigm shift ..... 209

Бақытбеков Ж.Б., Пак Н.И.

Диагностическая модель готовности учителя информатики к  
использованию технологий визуализации ..... 218

Беркимбаев К.М., Қапбар Г. С. , Карымсакова А.Е.

Білім беру платформасында тәжірибеге бағытталған тәсілде  
руthon – ды оқыту ..... 233

Конева С.Н., Мансурова М.Е.

Аналитический обзор применения блокчейн-технологий в  
образовательных целях ..... 244

Kurbanbekov B.A., Bitibaeva J.M.,

Asanbek B., Sh.Zh. Ramankulov,

Organization and conduct of physical experiments: features of VR  
technology application..... 252

Маратова, Т.Ф., Бостанов Б.Г.

Пути решения барьеров интеграции stem-образования в  
подготовку учителей информатики..... 262

Skiba M.A., Turganbaeva A.R. , Skaburskiene N., Pavalkis D.

To The question of digitalization of universities in the context of  
striving for academic excellence ..... 270

Smagul B.K., Sydykhov B.D., Anuarbekova G.Zh.

Methodology for development of intellectual abilities of  
schoolchildren based on digital technologies ..... 278

Turashova Sh., Amangeldin A., Seiduali K.,

Tekesbayeva N., Yersin M.

Cre ation of a smart lighting system in the study room ..... 287

Шындалиев Н.Т., Раманқұлов, А.А.,

Зулпыхар Ж.Е., Кулмагамбетова Ж.К.

Робототхника пәнін оқытуда электронды стендтерді  
колданудың әсері ..... 297



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

IRSTI 28.17.31

10.51889/2959-5894.2024.88.4.001

**A.V. Babich-Gaury<sup>1</sup>, V.V. Babich<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>DHL Finance Services B.V., Maastricht, The Netherlands

<sup>2</sup>Almaty Branch of the St. Petersburg Humanitarian University of Trade Unions, Almaty,  
Kazakhstan

\*e-mail: mme\_kazgay@mail.ru

**ECONOMETRIC MODEL OF FACTORS INFLUENCING THE CHANGE IN COMPANY  
CAPITALIZATION**

*Abstract*

The article considers the applied aspect of using econometric analysis methods of time series to assess factors that directly affect the value of a company. The basic mathematical apparatus is used to test hypotheses and build econometric models in time series analysis. By determining the factors that affect the level of capitalization, hypotheses about the significance of these estimates are assessed, and the level of the impact and consequence on key performance indicators as the company's net revenue is determined. The global economy demonstrates high inflation rates in the south and western parts of the world. Therefore, the author identifies the dependence that links the inflation rate and the level of turnover. A regression model of the relationship between changes in revenue and the level of return on invested capital is considered. Any investor seeks to increase the company's value, so it is important to assess the main factors that affect this value.

**Keywords:** econometric analysis, time series, capitalization, return on invested capital, company value.

А.В. Бабич - Гаури<sup>1</sup>, В.В. Бабич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>DHL қаржылық қызметінің бақылау және несиелік тәуекелдер, Маастрихт қ., Нидерланды

<sup>2</sup>Санкт-Петербург кәсіподақтар гуманитарлық университетінің Алматы филиалы,  
Алматы қ., Қазақстан

**КОМПАНИЯНЫҢ КАПИТАЛДАНУЫНЫҢ ӨЗГЕРІСІНЕ ӘСЕР ЕТЕТІН ФАКТОРЛАРДЫҢ  
ЭКОНОМЕТРИЯЛЫҚ МОДЕЛІ**

*Аңдатпа*

Мақалада компания құнына тікелей әсер ететін факторларды бағалау үшін уақыттық қатарлардың эконометрикалық талдау әдістерін қолданудың қолданбалы аспектілері қарастырылады. Негізгі математикалық аппарат гипотезаларды тексеру және уақыттық қатарларды талдауда қолданылатын эконометриялық модельдерді құру үшін қолданылады. Капиталдандыру деңгейіне әсер ететін факторларды анықтау арқылы осы бағалаулардың маңыздылығы туралы гипотезалар бағаланады және олардың компанияның таза кірісі сияқты негізгі көрсеткішке әсер ету деңгейі анықталады. Жаһандық экономиканың қазіргі сәті оңтүстікте де, батыста да инфляцияның жоғары қарқынын көрсетеді. Сондықтан автор инфляция деңгейі мен тауар айналымы деңгейі арасындағы байланысты анықтайды. Табыстың өзгеруі мен инвестицияланған капиталдың табыстылығы деңгейі арасындағы байланыстың регрессиялық моделі қарастырылады. Кез келген инвестор компанияның құнын арттыруға ұмтылады, сондықтан оған осы құндылыққа әсер ететін негізгі факторларды бағалау маңызды.

**Түйін сөздер:** эконометрикалық талдау, уақыт қатары, капиталдандыру, инвестицияланған капиталдың қайтарымы, компания құны.

А.В. Бабич - Гаури<sup>1</sup>, В.В. Бабич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Финансовый сервис DHL, г. Маастрихт, Нидерланды

<sup>2</sup>Алматинский Филиал Санкт-Петербургского Гуманитарного Университета Профсоюзов,  
г. Алматы, Казахстан

## **ЭКОНОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИЗМЕНЕНИЕ КАПИТАЛИЗАЦИИ КОМПАНИИ**

### *Аннотация*

В статье рассматривается прикладной аспект использования методов эконометрического анализа временных рядов для оценки факторов, напрямую влияющих на стоимость компании. Используется основной математический аппарат для проверки гипотез и построения эконометрических моделей, применяемых в анализе временных рядов. Определяя факторы, влияющие на уровень капитализации, оцениваются гипотезы о значимости этих оценок и определяется уровень их воздействия на такой ключевой показатель, как чистая выручка компании. Текущий момент глобальной экономики демонстрирует высокие темпы инфляции, присутствующие как на юге, так и западе. Поэтому автор выявляет зависимость, связывающую уровень инфляции и уровень товарооборота. Рассматривается регрессионная модель зависимости между изменением выручки и уровнем возвратности на инвестированный капитал. Любой инвестор стремится нарастить стоимость компании, поэтому для него важно оценивать основные факторы, влияющие на эту стоимость.

**Ключевые слова:** эконометрический анализ, временные ряды, капитализация, возвратность на вложенный капитал, стоимость компании.

### **Main provisions**

Investors invest in a business, expecting that at a certain point, when this business is sold, its value will increase, and the invested capital will enlarge, compensating for the expected risks. This approach works for all types of investments through investments in bonds, derivatives, and the purchase of company shares. Such investments can be directed to an M&A transaction. An M&A transaction is usually described as combining or acquiring companies to obtain strategic advantages, increase market share, develop new products, and increase the business's market capitalization.

### **Introduction**

An M&A transaction can occur in various ways, including reorganization, purchase of assets, purchase of shares or shares of companies. In the Russian Federation, in current conditions of the mass existence of international investors in the market, the most common way of investing is to invest in shares or shares of companies [1]. From the point of view of business owners (shareholders), the benefit of a merger or acquisition is the increase in the capitalization of the newly created company compared to the capitalization of its components. Such an increase is often called the synergy effect [2]. To organize an M&A transaction, the net cash flow must be forecasted, and the capitalization growth must be estimated. Capitalization refers to the valuation of a business, which can be measured using various methods.

In the current period, when the world is experiencing a financial crisis and the securities market shows substantial uncertainty, investors prefer to invest in real business, which is not subject to such intense changes as stock exchange indices. It should be noted that during the 2007-2008 crisis, the American International Group Index fell by 30%, which caused an increase in equity costs by one percent [4, p. 19]. A company is assessed to change the level of capitalization.

One of the ways to assess the value of a company is through the assessment of the cost of shares on the stock market and the number of shares issued in circulation. Capitalization involves increasing equity capital in the process of business operation. Suppose the company is closed, and its shares are not listed on the stock market. In that case, capitalization can be measured through the growth of profit invested in additional capital - newly created means of production. Also, the level of capitalization can be measured through the amount of fixed assets and working capital on a specific date or through the increase in retained earnings for a certain period, often equated to free cash flow.

This article will define the main factors influencing capitalization and provide a synergy effect. Factors that influence changes in the level of capitalization include:

- Expected revenue growth.
- Growth in net operating profit less adjusted taxes (NOPLAT).
- Expected market share.
- Level of return on invested capital and others.

Expected return on invested capital and revenue growth affect the dynamics of cash inflows from operating activities. The cost of invested capital and the cash flow from operating activities determine the company's value. One of the main factors determining the company's value is the volume of revenue, which should be analyzed in more detail.

Significant factors that influence revenue growth include:

- Increase in profitability provided by changes in prices;
- The structure of products and services in the portfolio and their change per changes in consumer needs.
- Organic growth due to expansion of the market segment. - Organic growth through market share growth.
- Inorganic growth through acquisition of this growth (M&A).

Since the company's revenue is one of the key factors influencing the change in capitalization, we propose to test the hypothesis about the relationship between the inflation rate and the company's revenue growth. Since the inflation rate is usually a targeted parameter of the macroeconomic policy of many countries and is monitored, it is not apparent that the growth of inflation can have a favorable effect on revenue growth since this contradicts the law of demand for everyday goods. However, as noted, the rise in oil prices in 1997-2007 led to an average annual growth in revenue in the oil industry by 13% [4, p. 432].

Such a dependence may occur in certain industries. We want to analyze how the inflation rate affects the volume of turnover for essential goods. At the current moment of economic development, all countries are experiencing a significant increase in inflation, which affects revenue change. The inflation rate is given in Table 1 [7].

Table 1. Inflation rate as of 24.07.2024

<i>Countries</i>	<i>Inflation (%)</i>
<i>Eurozone</i>	<i>2,6</i>
<i>Germany</i>	<i>2,3</i>
<i>Netherlands</i>	<i>3,7</i>
<i>France</i>	<i>2,3</i>
<i>USA</i>	<i>2,9</i>
<i>Russia</i>	<i>9,1</i>
<i>Turkey</i>	<i>61,8</i>
<i>Kazakhstan</i>	<i>8,6</i>
<i>China</i>	<i>0,5</i>
<i>Uzbekistan</i>	<i>10,5</i>

### **Research methodology**

#### *Hypothesis and model 1*

*Null hypothesis:* Inflation rate and revenue are independent factors.

$$H_0 : a_i = 0$$

#### *Alternative Hypothesis*

The alternative hypothesis is that revenue directly relates to the inflation rate. According to the law of demand, when prices for a product or service rise, revenue growth in the industry increases, regardless of the decrease in sales in physical units.

$$H_1 : a_i \neq 0$$

To test the hypothesis, the following model is considered:

$$Y_t = a_0 + a_1 Y_{t-1} + a_2 X_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

Where

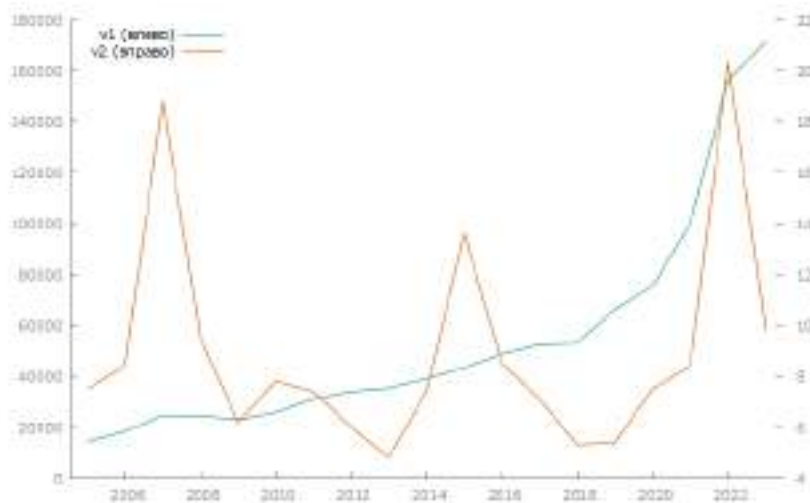
$Y_t$  – is the change in revenue in period t in %;

$Y_{t-1}$  – is the change in revenue in period (t-1) in %;

$X_t$  – is the inflation rate in period t.

To test the hypothesis, we use the inflation index in Kazakhstan and the change in revenue from the FMCG industry as an example. Standard notations are used in international literature; we will adhere to these notations. The model's results are given below.

The hypothesis test is based on the mechanism of time series analysis. In particular, this method predicts the value of the next period based on the past and current value. It involves averaging the data so that the non-systematic components of each case or observation cancel each other out [9]. It should be noted that for real-time series, autoregressive moving average (ARMA) models are of primary importance in practice not only because of their modeling capabilities but also because they form the core of countless further time series models [10]. Since the selected data represent a dynamic series, it is necessary to conduct the Dickey-Fuller test to determine the series' stationarity. Figure 1 shows a graph of the dependence of revenue and the inflation rate in the Republic of Kazakhstan using the example of FMCG industry data.



V1 - Revenue (green); V2 - Inflation (orange)

Figure 1. Dynamics of inflation and revenue in the FMCG industry

We will use time series and econometric models to assess the relationship between the selected factors. Econometric analysis provides essential information for economic forecasting, policy assessment, and financial analysis [8]. Analyzing the figure, we can conclude that the series under consideration are non-stationary since the average values of revenue and inflation change at each point in time, and the amplitude of fluctuations in revenue and inflation values by periods are different. We see that the data are not linear. Nonlinear dynamic models of means, variances, and covariances are regularly estimated in financial economics, macroeconomics, and other disciplines [11].

Since the series is a time series, to build forecast models on them, we will conduct the Dickey-Fuller test to determine the stationarity of the series. The test results for the revenue variable.

Augmented Dickey-Fuller test for the variable v1- revenue

*Test without a constant*

Model:  $(1-L)y = (a-1)*y(-1) + e$

first-order autocorrelation coefficient for e: -0,080

Dickey-Fuller OLS regression test, observations from 2006-2023 (T = 18) were used

Dependent variable: d\_v1

coefficient v1\_1 0.198936

st. error 0.0432907

t-statistic 4.595

p-value 1.0000

*Test with constant including one lag for (1-L)v1*

Model:  $(1-L)y = b_0 + (a-1)*y(-1) + \dots + e$

The results of the augmented Dickey-Fuller OLS regression test are presented in Table 2.

Table 2. Augmented Dickey-Fuller OLS regression, using observations from 2007-2023 (T = 17).  
Dependent variable: d\_v1

	<i>coefficient</i>	<i>standard error</i>	<i>t- statistics</i>	<i>p-value</i>	
<i>const</i>	-9767,87	7358,34	-1,327	0,2056	**
<i>v1_1</i>	0,486754	0,217737	2,236	1,0000	***
<i>d_v1_1</i>	-0,670657	0,550497	-1,218	0,2433	***

*Test with constant and trend including 2 lag(s) for (1-L)v1*

Model:  $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$

1st order autocorrelation coefficient for e: 0.039

Regression parameters are presented in Table 3.

Table 3. Augmented Dickey-Fuller OLS regression observations from 2008-2023 (T = 16) were used.  
Dependent variable: d\_v1

	<i>coefficient</i>	<i>standard error</i>	<i>t- statistics</i>	<i>p-value</i>
<i>const</i>	-11582,2	8902,63	-1,301	0,2199
<i>v1_1</i>	1,90181	1,06774	1,781	1,0000
<i>d_v1_1</i>	-2,42164	1,51970	-1,593	0,1394
<i>d_v1_2</i>	-1,92875	1,26562	-1,524	0,1557
<i>time</i>	-3761,87	3212,91	-1,171	0,2664

In all three cases, the null hypothesis of non-stationarity of the series at a significance level of 5% is accepted since the probability is more significant than 0.05, the series is non-stationary without a constant, with a constant, with a constant and a trend in the levels of the series. To reduce the series to a stationary form, we will move on to checking the test on the first differences for the revenue variable- instead of revenue, its absolute change will be used. The differentiation operation is often used to move to a stationary series. The differentiation operation or the first finite difference of the series is denoted as

$$\Delta X_t = X_t - X_{t-1} = (1-L)X_t, \quad (2)$$

where L – is the lag operator.

The idea is to consider its increment over one period instead of the original series.

*Test without constant including 2 lag(s) for (1-L)d\_v1*

Model:  $(1-L)y = (a-1)*y(-1) + \dots + e$

The results of the model are presented in Table 4.

Table 4. Augmented Dickey-Fuller OLS regression, using observations 2009-2023 (T = 15). Dependent variable:  $d\_d\_v1$

	<i>coefficient</i>	<i>standard error</i>	<i>t- statistics</i>	<i>p-value</i>	
$v1\_1$	1,26073	0,710648	1,774	0,9822	**
$d\_v1\_1$	-2,11659	1,01185	-2,092	0,0584	***
$d\_v1\_2$	-2,02581	0,823263	-2,461	0,0300	***

Testing the hypothesis for stationarity revealed that the revenue data series can be stationary without a constant at the level of first differences with a lag of 2. Thus, considering the hypothesis about the relationship between revenue and inflation, we will analyze the dependence of the rate of change in revenue on the inflation rate. The results of the regression model of revenue dependence on inflation are given in Tables 5; 6.

Table 5. Model 1: OLS observations from 2005-2023 (T = 19) were used. Dependent variable: *Netrevenue*

	<i>coefficient</i>	<i>standard error</i>	<i>t- statistics</i>	<i>p-value</i>	
<i>const</i>	-14137,5	5069,83	-2,789	0,0131	**
<i>Inflation</i>	1569,47	494,683	3,173	0,0059	***
<i>Netrevenue_1</i>	1,18601	0,0600333	19,76	<0,0001	***

Table 6. Statistical characteristics of model 1

<i>Mean dependent variables</i>	54587,60	<i>Std. Error of Dependent Variable</i>	44089,23
<i>Sum of square residuals</i>	1,20e+09	<i>Std. Error of Model</i>	8661,255
<i>R-square</i>	0,965696	<i>Corrected R-Square</i>	0,961408
<i>F(2, 16)</i>	225,2093	<i>P-Value (F)</i>	1,92e-12
<i>Log likelihood</i>	-197,5929	<i>Akaike Criterion</i>	401,1859
<i>Schwartz criterion</i>	404,0192	<i>Hennan-Quinn Criterion</i>	401,6654
<i>parameter rho</i>	-0,019837	<i>Durbin's h-statistic</i>	-0,089589

## Results of the study

### Model 1 Results

The results of constructing the autoregressive model gave the following result:

$$\hat{Y}_t = -14137,5 + 1,18601 Y_{t-1} + 1569,47 X_t$$

(5069,83)
(0,060)
(494,693)

Analyzing the model specification, we see that the null hypothesis about the absence of a relationship between revenue and the inflation rate is rejected at the 95% confidence interval. Therefore, the alternative hypothesis about the relationship between revenue changes and inflation rates is accepted. All estimated parameters are significant. At the same time, we see that an increase in inflation by 1 percent leads to an increase in revenue by 1,569.47 million tenge per year. Thus, inflation has a favorable effect on revenue growth for FMCG companies. Also, the current period's revenue change is affected by changes in revenue of the previous period, although this effect is insignificant. Estimating the constant, we can conclude that in the FMCG industry, on average, there is a decrease in revenue over the period under study, which does not contradict the economic meaning of the law of demand. As noted above, the investor focuses on an increase in the company's value, which is directly related to the return on invested capital. In turn, revenue growth is functionally related to a change in capitalization.

Changes in revenue and return on investment on invested capital affect investment profitability:

$$Inv\ rate = \frac{Kgrowth}{ROIC} \quad (3)$$

Note that the return on invested capital is the company's return on each monetary unit invested in the business. The return depends on the amount of invested capital and the rate of return on investment. The rate of return on investment is determined as follows:

$$ROIC = \frac{NOPLAT}{Inv\ capital} \quad (4)$$

NOPLAT – net operating profit less adjusted taxes (is EBIT after adjusting for deferred taxes. The tax is adjusted to reflect the un-leveraged earnings of the firm without considering the effects of tax debt). Having determined the economic dependence, we will test the hypothesis about the relationship between changes in revenue and the level of return on invested capital.

*Hypothesis and model 2*

*Null hypothesis*

Change in company revenue and return on invested capital are independent factors.

$$H_0 : b_i = 0$$

*Alternative Hypothesis*

$$H_1 : b_i \neq 0$$

The hypothesis is that there is a pattern between revenue growth and the level of return on invested capital. If ROIC grows, the revenue growth rate will be higher than the ROIC value.

The following model is considered:

$$Y_t = b_0 + b_1 Y_{t-1} + b_2 X_t + \varepsilon_t \quad (5)$$

Where  $Y_t$  – return on invested capital  $t$  (%).  $X_t$  – change in revenue in period  $t$  (%);

Before testing the hypothesis, since we use time series, it is necessary to check that the series of both variables are stationary. To assess ROIC, we use company data, including net operating profit before taxes (NOPLAT) and the size of investment capital, calculated based on the company's balance sheet and representing the sum of equity and long-term debt capital. The ROIC time series graph (Fig. 2) shows that the series "does not fluctuate" around a specific value. While there is a clear growth trend, the series "looks" like a non-stationary one.



Figure 2. Return on investment for the FMCG industry

We will use a dynamic data series with a time cross-cross structure to assess the dependence and test the hypothesis. In this regard, a time series model is used to test the hypothesis. Since it is necessary to forecast future periods to assess the level of capitalization, we use a moving average model, the so-called ARIMA model, based on the Box-Jenkins methodology [5, p. 234].

To confirm the stationarity of the series, we will conduct tests using the extended Dickey-Fuller test with a constant without a trend. We will determine the maximum possible lag, according to the Schwartz rule for determining the maximum number of lags in the ADF test depending on the length of the series T.

$$P_{\max} = A\left(\frac{T}{100}\right)^{1/4} \tag{6}$$

Where expression 5 defines the integer part of Pmax, c = 12 or 4 depending on the length of the series. Based on the Schwartz criterion, the optimal number of lags from one to one determined by Pmax is selected [6, p. 6].

$$P^* = \operatorname{argmin}(I_k) \tag{7}$$

$$I_k = \ln(\hat{\sigma}_k^2) + \frac{k^* C_T}{T} \tag{8}$$

Where,

$$\hat{\sigma}_k^2 = \frac{\sum_{t=k+1}^T e_t^2}{T-k} \tag{9}$$

$$C_t = \ln(T) \tag{10}$$

For the Schwartz criterion, the value according to the formula 10 is used, and Ct=2 for the Akaike criterion.

Dickey-Fuller test for ROIC, sample size 20

null hypothesis of a unit root: a = 1

Test with constant

model: (1-L)y = b0 + (a-1)\*y(-1) + e

estimate for (a - 1): -0.199386

test statistics: tau\_c(1) = -1.21331

p-value 0.6473

first-order autocorrelation coefficient for e: 0.060

The regression of Dickey-Fuller test is given in Table 7.

Table 7. Dickey-Fuller test regression. OLS, observations 2005-2024 (T = 20) used Dependent variable: d\_ROIC

	<i>coefficient</i>	<i>standard error</i>	<i>t- statistics</i>	<i>p-value</i>	
<i>const</i>	0,0591478	0,0393262	1,504	0,1499	**
<i>ROIC_1</i>	-0,199386	0,164332	-1,213	0,6473	***

The test results for a series of ROIC (Y1) values of 20 observations, where the p-value is below the test statistic, allow us to reject the null hypothesis of the presence of a unit root and conclude that the series is stationary. Since the Y1 series is stationary, an autocorrelation function is defined. Fig. 3 shows a correlogram of the model residuals for the ROIC (Y1) data series. As can be seen from Fig. 1, the coefficients of the autoregressive function gradually converge to zero. For the partial autoregressive function, only the first coefficient is significant, i.e., the correlogram is characteristic of the AR(1) process.



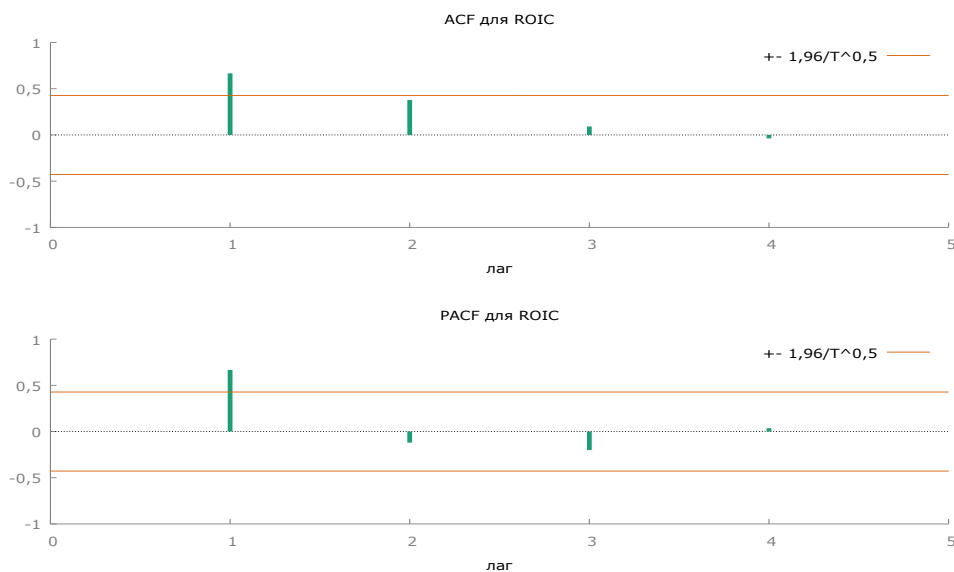


Figure 3. Correlogram of the model residuals for the ROIC (Y1) series

Let's estimate the AR(1) model

$$Y_t = \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (11)$$

The results of the model evaluation are presented in tables 8;9.

Table 8 Model 2: ARMA, observations used 2004-2024 (T = 21.) Dependent variable: ROIC

	coefficient	standard error	z	p-value	
const	0,230990	0,0651654	3,545	0,0004	***
phi_1	0,742299	0,205074	3,620	0,0003	***
theta_1	0,0985725	0,280955	0,3508	0,7257	

Table 9. Statistical characteristics of model 2

Average of changes	0,222590	Std. Error of Dependent Variable	0,121406
Average of innovations	0,006784	Std. deviation of innovations	0,078520
R-square	0,564566	Corrected R-squared	0,541648
Log likelihood	23,15887	Akaike Criterion	-38,31775
Schwartz criterion	-34,13966	Hennan-Quinn Criterion	-37,41099

As can be seen from the model estimation results for the time series Y1, the constant and the coefficient at the first autoregressive lag are significant at the 1% level. Thus, the series Y1 is an AR(1) process described by the model:

$$\hat{Y}_t = \underset{(0,065)}{0,2309} + \underset{(0,205)}{0,7423} Y_{t-1}$$

We will conduct a similar test for the revenue growth rate indicator. Figure 4 shows the revenue change rate time series for the period 2004-2024.



Figure 4. Dynamics of revenue change rate in the FMCG industry

The revenue change rate series, like the ROIC series, also "does not fluctuate" around a specific value, and there is no apparent trend, so we can conclude that the series is "similar" to stationary. To confirm stationarity, we will conduct the Dickey-Fuller test. The test results are given below.

Test with a constant

model:  $(1-L)y = b_0 + (a-1)*y(-1) + e$

estimate for  $(a - 1)$ : -0.700618

test statistics:  $\tau_c(1) = -2.96837$

p-value 0.05531

1st order autocorrelation coefficient for e: 0.101

The Dickey-Fuller test regression is given in Table 10.

Table 10. Dickey-Fuller test regression. OLS, observations 2005-2024 ( $T = 20$ ) used Dependent variable:  $d\_dNetrevenue$

	<i>coefficient</i>	<i>standard error</i>	<i>t- statistics</i>	<i>p-value</i>	
<i>const</i>	0,106343	0,0518670	2,050	0,0552	*
<i>ROIC_1</i>	-0,700618	0,236028	-2,968	0,0553	*

By analyzing the p-value, which is lower than the test statistics, we can reject the null hypothesis about the presence of a unit root and conclude that the series is stationary. Since the Y1 series is stationary, an autocorrelation function is defined for it. Fig. 5 shows a correlogram of the model residuals for a series of data on revenue changes (Y1). Based on Fig. 5, we can conclude that all the coefficients of the autoregressive function are close to zero, and there are no significant coefficients, i.e., the correlogram is characteristic of the AR(0) process.

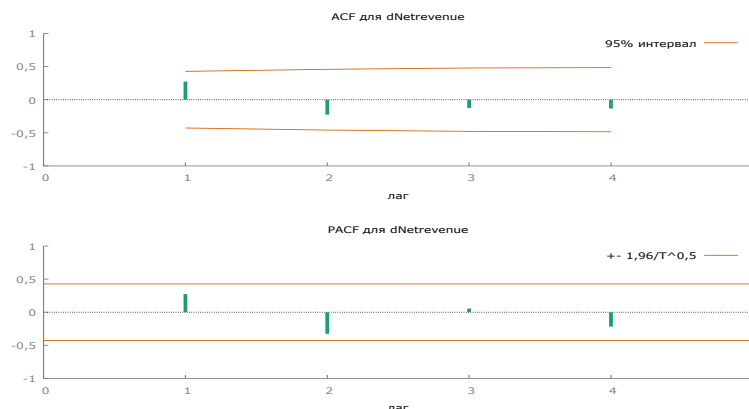


Figure 5. Correlogram of model residuals for a series of data on revenue changes

The results of the AR(0) model estimation are presented in Tables 11;12.

Table 11. Model 3: ARMA, using observations from 2004-2024 (T = 21). Estimated using AS 197 (exact MP method)

	<i>coefficient</i>	<i>standard error</i>	<i>t- statistics</i>	<i>p-value</i>	
<i>const</i>	0,151678	0,0454976	3,334	0,9164	***
<i>ROIC</i>	0,588915	0,275395	2,138	0,0178	**
<i>ROIC_1</i>	0,854509	0,144137	5,928	<0,0001	***

Table 12. Statistical characteristics of model 3

<i>Average of changes</i>	0,156150	<i>Std. Error of Dependent Variable</i>	0,150832
<i>Average of innovations</i>	0,001614	<i>Std. deviation of innovations</i>	0,133380
<i>R-square</i>	0,688094	<i>Corrected R-squared</i>	0,6880094
<i>Log likelihood</i>	12,29501	<i>Akaike Criterion</i>	-18,59003

Thus, the  $Y_t$  series is an AR(0) process described by the model:

$$\hat{Y}_t = 0,1517 + 0,5889 Y_t + 0,0855 Y_{t-1}$$

(0,045)
(0,275)
(0,144)

Both model estimates are significant.

#### Model 2 Results

Having tested hypotheses about the stationarity of time series, we will check the hypothesis about the relationship between the return on invested capital and changes in revenue dynamics. The model's results are presented in Tables 13 and 14.

Table 13. Model 4: OLS, observations from 2005-2024 (T = 20) were used. Dependent variable: ROIC

	<i>coefficient</i>	<i>standard error</i>	<i>t- statistics</i>	<i>p-value</i>	
<i>const</i>	0,00426748	0,0400402	0,1066	0,9164	
<i>dNetrevenue</i>	0,278655	0,106216	2,623	0,0178	**
<i>ROIC_1</i>	0,854509	0,144137	5,928	<0,0001	***

Table 14. Statistical characteristics of model 4

<i>Mean dependent variables</i>	0,228823	<i>Std. Error of Dependent Variable</i>	0,121064
<i>Sum of square residuals</i>	0,085490	<i>Std. Error of Model</i>	0,070914
<i>R-square</i>	0,693004	<i>Corrected R-Square</i>	0,656886
<i>F(2, 16)</i>	19,18763	<i>P-Value (F)</i>	0,000044
<i>Log likelihood</i>	26,17208	<i>Akaike Criterion</i>	-46,34415
<i>Schwartz criterion</i>	-43,35695	<i>Hennan-Quinn Criterion</i>	-45,76102
<i>parameter rho</i>	0,133080	<i>Durbin's h-statistic</i>	0,778464

Using the model of the dependence of the return on capital on the rate of change in revenue and the return itself of the previous period, we obtained the following results:

$$\hat{Y}_t = 0,004 + 0,8557 Y_{t-1} + 0,279 X_t$$

(0,040)
(0,144)
(0,106)

Thus, the return on invested capital of the current period is affected by the return on invested capital of the previous period and the rate of change in revenue. The ROIC of the previous period has the strongest impact. An increase in return by one percent leads to an increase in return on the current period by 0.8557%. The impact of revenue changes is less significant. Thus, an increase in revenue by one percent leads to an increase in return by 0.279%.

## Conclusion

In conclusion, we will present the main findings on the matter under study. They are as follows.

Firstly, capitalization is the level of business value. It can be real or market-driven. Market capitalization, usually estimated through the price of shares on the stock market, is not equal to real capitalization, estimated on the basis of the company's book value. Nevertheless, the level of market capitalization is used to assess the company's position in the market and the willingness of investors to purchase its securities. Secondly, the key factors influencing capitalization are: 1) Growth in profitability ensured by price changes. 2) The structure of products and services in the portfolio and their change per changes in consumer needs. 3) Organic growth due to expansion of the market segment. 4) Organic growth due to market share growth. 5) Inorganic growth due to the purchase of this growth (M&A). Thirdly, during economic crises, the most challenging economic factor to be managed is the inflation rate factor. According to the microeconomic approach, a price rise leads to decreased turnover volume. Turnover is one of the key factors influencing the level of capitalization. We proposed a hypothesis about the relationship between inflation and the rate of change in net revenue. This hypothesis confirmed this dependence and determined that the relationship between inflation and the company's net revenue in the long term is direct. A certain level of inflation positively affects the growth rate of net revenue.

Fourthly, the level of return on invested capital is directly related to the rate of change in revenue and this level of the previous period. Therefore, in our research, using an econometric model, we confirmed a direct relationship between the level of return and the rate of change in revenue.

## References

- [1] M&A transactions: practical structuring models. [Electronic resource] URL: <https://pravo.ru/opinion/251996/> Date of the application (24.05.2024)
- [2] Zhulego V. Modeling of mergers and acquisitions of companies. Journal "Economic Strategies", No. 8 for 2008. [Electronic resource] URL: [https://www.cfin.ru/investor/m\\_and\\_a/model.shtml](https://www.cfin.ru/investor/m_and_a/model.shtml) Date of the application (14.08.2024)
- [3] Mergers and acquisitions: the number of mega-deals worldwide has fallen by a third. [Electronic resource] URL: <https://kapital.kz/world/108722> Date of the application (04.09.2024)
- [4] Tim Koller, Marc Goedhart, David Wessels. Valuation. Measuring and managing the value of companies. McKinsey & Company, 2020 – 791p.
- [5] Magnus Ya. R., Katyshev P. K., Peresetsky A. A. Econometrics.: Textbook. — 6th ed., revised. and additional - M.: Delo, 2004, chapter 11.
- [6] Kartaev F. S., Klachkova O. A., Romashova V. M., Suchkova O. V. K27 Collection of problems in econometrics of time series and panel data. - M.: Faculty of Economics, Moscow State University named after M. V. Lomonosov, 2016. 64 c
- [7] Inflation rate. List of countries. [Electronic resource] URL: <https://ru.tradingeconomics.com/country-list/inflation-rate> Date of the application (18.08.2024)
- [8] Time series Analysis vs Econometrics: Focusing on Temporal Data. [Electronic resource] – URL: <https://dataheadhunters.com/academy/time-series-analysis-vs-econometrics-focusing-on-temporal-data/> Date of the application (24.08.2024)
- [9] Yanovitzky, I., & VanLear, A. (2008). Time series analysis: Traditional and contemporary approaches. In A. F. Hayes, M. D. Slater, & L. B. Snyder (Eds.), *The SAGE Sourcebook of Advanced Data Analysis Methods for Communications Research* (pp. 89-124). Thousand Oaks, CA: Sage.
- [10] Christian H. Weiß, Osama Swidan. Weighted discrete ARMA models for categorical time series. *The Journal of Time Series Analysis*. 06 September 2024. [Electronic resource] – URL: <https://doi.org/10.1111/jtsa.12773> Date of the application (15.09.2024)
- [11] Weining Wang, Jeffrey M. Wooldridge, Mengshan Xu. Improved estimation of dynamic models of conditional means and variances. *The Journal of Time Series Analysis*. 29 August 2024. [Electronic resource] – URL: <https://doi.org/10.1111/jtsa.12770> Date of the application (16.09.2024)

Д.Д. Жаксыгулова<sup>1\*</sup>, С.Ж. Рахметуллина<sup>1</sup>, С.А. Гнатюк<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

<sup>2</sup>Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина  
\*e-mail: daurija\_zd@mail.ru

## КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ

### Аннотация

В статье рассматриваются проблемы и подходы к оценке устойчивости информационных систем (ИС), особенно в контексте критически важных объектов инфраструктуры (КВОИ). В первом разделе обсуждаются теоретические основы устойчивости ИС, включая определения и ключевые концепции, такие как отказоустойчивость, адаптивность и системный подход. Во втором разделе представлен обзор существующих методов оценки устойчивости, таких как анализ рисков, стресс-тестирование, моделирование и симуляция, а также их применимость к КВОИ. Третий раздел анализирует выявленные проблемы, включая недостаточную интеграцию методов, ограниченные возможности прогнозирования, недостаточную адаптивность систем и сложности в управлении взаимозависимостями. На основе системного подхода предложены критерии оценки устойчивости, которые включают интеграцию методов, адаптивность систем, анализ взаимозависимостей, использование динамических моделей прогнозирования и реализацию планов реагирования на инциденты. Статья подчеркивает важность комплексного подхода к оценке устойчивости и предлагает направления для дальнейших исследований и практического применения разработанных методов и критериев.

**Ключевые слова:** Устойчивость информационных систем, критически важные объекты инфраструктуры (КВОИ), оценка устойчивости, системный подход, анализ рисков, стресс-тестирование, адаптивность систем.

Д.Д. Жаксыгулова<sup>1</sup>, С.Ж. Рахметуллина<sup>1</sup>, С.А. Гнатюк<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қаласы, Қазақстан,  
<sup>2</sup>Ұлттық авиация университеті, Киев қ., Украина

## МАҢЫЗДЫ ИНФРАҚҰРЫЛЫМ НЫСАНДАРЫНЫҢ АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУ КРИТЕРИЙЛЕРІ

### Аңдатпа

Мақалада ақпараттық жүйелердің (АЖ), әсіресе маңызды инфрақұрылымдық нысандар (МИН) контекстінде тұрақтылығын бағалаудың проблемалары мен тәсілдері қарастырылады. Бірінші бөлімде АЖ тұрақтылығының теориялық негіздері, оның ішінде тұрақтылық, бейімделушілік және жүйелік тәсіл сияқты анықтамалар мен негізгі ұғымдар талқыланады. Екінші бөлімде тәуекелдерді талдау, стресс-тестілеу, модельдеу және модельдеу сияқты тұрақтылықты бағалаудың қолданыстағы әдістеріне шолу және олардың СИ үшін қолданылуы қарастырылған. Үшінші бөлімде анықталған қиындықтар, соның ішінде әдістердің интеграцияланбауы, болжау мүмкіндіктерінің шектеулілігі, жүйенің бейімделуінің жоқтығы және өзара тәуелділікті басқарудағы қиындықтар талданады. Жүйелік тәсіл негізінде тұрақтылықты бағалау критерийлері ұсынылады, олар әдістерді біріктіруді, жүйелердің бейімделуін, өзара тәуелділіктерді талдауды, динамикалық болжау үлгілерін пайдалануды және оқиғаларға әрекет ету жоспарларын жүзеге асыруды қамтиды. Мақалада тұрақтылықты бағалаудың кешенді тәсілінің маңыздылығы атап өтіледі және әзірленген әдістер мен критерийлерді одан әрі зерттеу және практикалық қолдану бағыттары ұсынылады.

**Түйін сөздер:** Ақпараттық жүйелердің тұрақтылығы, маңызды инфрақұрылымдық нысандар (МИН), тұрақтылықты бағалау, жүйелік тәсіл, тәуекелдерді талдау, стресс-тестілеу, жүйенің бейімделу қабілеті.

D.D. Zhaksygulova<sup>1\*</sup>, S.Zh. Rakhmetullina<sup>1</sup>, S.A. Gnatyuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust'-Kamenogorsk, Kazakhstan,

<sup>2</sup>National Aviation University, Kyiv, Ukraine

## CRITERIA FOR ASSESSING THE STABILITY OF INFORMATION SYSTEMS OF CRITICAL INFRASTRUCTURE FACILITIES

### *Absrtact*

The article considers the problems and approaches to assessing the resilience of information systems (IS), especially in the context of critical infrastructure facilities (CI). The first section discusses the theoretical foundations of IS resilience, including definitions and key concepts such as fault tolerance, adaptability, and a systems approach. The second section provides an overview of existing resilience assessment methods such as risk analysis, stress testing, modeling, and simulation, and their applicability to CI. The third section analyzes the identified problems, including insufficient integration of methods, limited forecasting capabilities, insufficient adaptability of systems, and difficulties in managing interdependencies. Based on the systems approach, resilience assessment criteria are proposed that include integration of methods, system adaptability, dependency analysis, use of dynamic forecasting models, and implementation of incident response plans. The article emphasizes the importance of an integrated approach to resilience assessment and suggests directions for further research and practical application of the developed methods and criteria.

**Keywords:** Information system resilience, critical infrastructure facilities (CI), resilience assessment, systems approach, risk analysis, stress testing, system adaptability.

### **Основные положения**

В данной статье исследуются методы оценки устойчивости информационных систем критически важных объектов инфраструктуры (КВОИ) с акцентом на математические модели и показатели. Рассмотрены такие подходы, как анализ рисков, стресс-тестирование, резервирование и моделирование взаимозависимостей. Выявлены ключевые проблемы, включая недостаточную интеграцию методов и ограниченные возможности прогнозирования. Предложены критерии устойчивости, основанные на системном подходе и математических показателях, таких как коэффициенты надежности и функции отклика на сбои. В результате исследования предложены рекомендации по повышению устойчивости ИС КВОИ с использованием комплексного математического анализа.

### **Введение**

В современном мире информационные системы (ИС) играют ключевую роль в обеспечении функционирования критически важных объектов инфраструктуры (КВОИ), таких как энергетические сети, транспортные системы, водоснабжение, и т.д. Нарушения в работе этих систем могут привести к серьезным последствиям, включая сбои в предоставлении жизненно важных услуг, угрозу национальной безопасности и экономическим потерям.

С ростом количества и сложности угроз, таких как кибератаки, техногенные катастрофы и природные бедствия, необходимость разработки надежных критериев оценки устойчивости информационных систем КВОИ становится более насущной. Это позволяет своевременно выявлять и устранять уязвимости, минимизировать риски и гарантировать непрерывность работы этих систем.

Согласно исследованиям, одним из ключевых аспектов обеспечения устойчивости ИС является их способность противостоять внешним и внутренним угрозам, сохраняя свою работоспособность или быстро восстанавливаясь после инцидентов. Применение системного подхода к оценке устойчивости позволяет учитывать комплексность взаимодействий между элементами ИС и их окружением, что особенно важно для КВОИ, где нарушение работы одной части может привести к каскадным сбоям в других.

В научной литературе представлено множество подходов и моделей оценки устойчивости информационных систем. Например, в работе [1] рассматриваются методы количественной оценки устойчивости на основе анализа вероятностных моделей риска, что позволяет

оценивать вероятность отказов систем и их последствия для КВОИ. В исследовании [2] предложена интеграция методов искусственного интеллекта и машинного обучения для прогнозирования угроз и адаптации систем к изменяющимся условиям.

Кроме того, в [3] акцентируется внимание на важности разработки стандартов и нормативных требований для оценки устойчивости ИС КВОИ, что обеспечивает их соответствие международным требованиям безопасности и стабильности.

Тем не менее, несмотря на значительный объем исследований, остается недостаточно изученным вопрос комплексной оценки устойчивости ИС, включающей как технические, так и организационные аспекты. Это подчеркивает необходимость дальнейших исследований в данной области.

Цель данной статьи направлена на разработку критериев оценки устойчивости информационных систем критически важных объектов инфраструктуры. В рамках исследования будут рассмотрены различные подходы к оценке устойчивости, проведен анализ существующих методов и предложены рекомендации по их применению в условиях реальной эксплуатации ИС.

### **Методология исследования**

Методология исследования данной статьи основывается на анализе и систематизации существующих методов оценки устойчивости информационных систем (ИС) критически важных объектов инфраструктуры (КВОИ). Основные материалы, использованные в исследовании, включали научные публикации по теме устойчивости ИС, техническую документацию на информационные системы различных секторов критической инфраструктуры (энергетика, транспорт, связь), а также стандарты и нормативные документы, регулирующие вопросы информационной безопасности и надежности систем. Также были изучены отчеты по анализу рисков, данные об инцидентах и сбоях в работе систем, результаты стресс-тестирования и моделирования различных сценариев отказов. Для разработки критериев устойчивости использовались математические модели и статистические данные, собранные из открытых источников, а также исследования взаимодействий и взаимозависимостей внутри КВОИ, что позволило провести комплексный анализ проблем и предложить системный подход к оценке устойчивости.

### **Результаты исследования**

Устойчивость информационных систем (ИС) представляет собой ключевую характеристику, определяющую способность системы поддерживать функционирование в условиях различных стрессовых факторов, инцидентов и неопределенности. Эта концепция охватывает несколько взаимосвязанных аспектов, каждый из которых играет важную роль в обеспечении общей надежности и эффективности системы.

Основное определение устойчивости ИС подразумевает, что система должна быть способна не только эффективно функционировать в нормальных условиях, но и поддерживать свою операционную деятельность при возникновении сбоев, атак или других критических ситуаций. Устойчивость включает в себя несколько ключевых компонентов: надежность, отказоустойчивость, адаптивность и способность к восстановлению после аварий.

Надежность системы определяется как ее способность корректно выполнять свои функции в течение заданного времени без сбоев. Это является основой устойчивости, так как система должна выдерживать нагрузки и работать должным образом при обычных эксплуатационных условиях. Надежность измеряется такими показателями, как среднее время между отказами (MTBF) и среднее время на восстановление (MTTR). Эти параметры помогают оценить, насколько эффективно система справляется с обычными и экстренными ситуациями [4].

Отказоустойчивость описывает способность ИС продолжать функционировать при частичных сбоях или неисправностях. Система должна быть спроектирована таким образом, чтобы сбой в отдельных компонентах не приводил к полному выходу из строя. Это

достигается через использование резервирования и дублирования критических компонентов, что позволяет системе поддерживать свои основные функции даже в случае отказов [5]. Такой подход включает создание резервных копий данных и применение кластеризации серверов для распределения нагрузки, и обеспечения бесперебойной работы.

Адаптивность системы связана с ее способностью гибко реагировать на изменяющиеся условия и угрозы. Это означает, что система должна быть способна изменять свою конфигурацию, внедрять новые технологии и методы управления в ответ на возникающие риски. Адаптивность позволяет системе не только справляться с текущими угрозами, но и предсказывать и готовиться к будущим изменениям. В этом контексте важную роль играют современные методы, такие как машинное обучение и аналитика больших данных, которые помогают выявлять потенциальные угрозы и аномалии [6].

Планы обеспечения непрерывности бизнеса (BCP) и планы восстановления после аварий (DRP) представляют собой важные аспекты, связанные с устойчивостью ИС. Планы обеспечения непрерывности бизнеса охватывают стратегии и процедуры для поддержания жизнеспособности бизнеса в условиях чрезвычайных ситуаций, включая управление бизнес-процессами, ресурсами и коммуникацией. Они помогают организациям оперативно адаптироваться к кризисным ситуациям и минимизировать потери [7]. Планы восстановления после аварий, в свою очередь, фокусируются на восстановлении ИС и бизнес-процессов после инцидентов. Эти планы включают резервирование данных, восстановление систем и возвращение к нормальному функционированию, что позволяет минимизировать время простоя и обеспечить оперативное восстановление после сбоев [8].

Важным аспектом устойчивости является системное мышление, которое предполагает рассмотрение ИС как целостного организма, а не как совокупности отдельных компонентов. Это подход позволяет учитывать взаимозависимости между различными частями системы и понимать, как сбой в одной части могут повлиять на другие компоненты. Системное мышление помогает выявить потенциальные слабые места и разработать стратегии для их устранения [9].

Наконец, интеграция и взаимодействие различных компонентов системы играют важную роль в обеспечении ее устойчивости. Эффективные системы мониторинга и оповещения, а также учет взаимозависимостей между компонентами системы способствуют более точному и своевременному выявлению проблем и их устранению. Инструменты для анализа взаимозависимостей и моделирования каскадных эффектов помогают предсказывать и предотвращать потенциальные сбои, улучшая общую устойчивость ИС [10].

Оценка устойчивости информационных систем (ИС), особенно в контексте критически важных объектов инфраструктуры (КВОИ), требует применения комплексного набора методов. Эти методы предназначены для оценки способности системы сохранять свою функциональность и безопасность в условиях различных угроз и стрессовых факторов. Рассмотрим наиболее распространенные методы оценки устойчивости и их применимость к КВОИ, опираясь на актуальные исследования и практические примеры.

Анализ рисков и угроз является одним из базовых методов, используемых для оценки устойчивости. Этот метод включает в себя идентификацию потенциальных угроз и уязвимостей, а также оценку их вероятности и потенциального воздействия на систему. Для КВОИ, таких как электросети или водоснабжающие системы, анализ рисков позволяет выявить критические уязвимости и разработать стратегии для их устранения. Например, исследование Smith et al. (2021) показало, что комплексный анализ рисков может значительно улучшить понимание уязвимостей в энергетических системах и способствовать разработке эффективных мер по повышению устойчивости [11]. Анализ рисков также используется для оценки воздействия климатических изменений на инфраструктуру, что особенно важно для систем, таких как водоснабжение и транспорт.

Стресс-тестирование – это метод, который проверяет, как система справляется с экстремальными условиями или нагрузками, превышающими обычные эксплуатационные



параметры. Это позволяет определить, насколько система устойчива к критическим ситуациям и выявить слабые места. В банковской сфере, например, стресс-тестирование используется для оценки устойчивости финансовых систем к экономическим шокам и кризисам. Работы Brown et al. (2022) показывают, что этот метод помогает выявить потенциальные уязвимости и позволяет разработать стратегии для их устранения, что особенно важно для обеспечения стабильности финансовых систем [12]. В контексте КВОИ стресс-тестирование может применяться для оценки реакции систем на нагрузки, такие как увеличение потребления электроэнергии или экстремальные погодные условия.

Моделирование и симуляция позволяют создать виртуальные модели систем и проводить эксперименты для оценки их поведения в различных сценариях. Эти методы помогают предсказать, как система будет реагировать на изменения или сбои, не подвергая реальную систему риску. Например, Garcia et al. (2023) продемонстрировали, как моделирование может использоваться для анализа устойчивости водоснабжающих систем, что позволяет предсказать последствия различных сценариев и разработать меры по улучшению устойчивости [13]. Моделирование также применимо к КВОИ, таким как транспортные системы, для оценки воздействия различных факторов, включая перегрузки и сбои в логистике. Анализ отказоустойчивости фокусируется на способности системы продолжать функционировать при частичных сбоях. Этот метод включает исследование архитектуры системы, выявление уязвимых мест и оценку эффективности механизмов резервирования и дублирования. В телекоммуникационных системах, например, анализ отказоустойчивости помогает обеспечить бесперебойную работу сетей, даже если отдельные узлы выходят из строя. Исследование Wilson et al. (2021) показало, что внедрение эффективных механизмов резервирования и дублирования может значительно повысить отказоустойчивость систем, что критично для обеспечения надежности связи и данных [14]. Для КВОИ этот метод помогает разработать стратегии, которые позволят минимизировать влияние частичных сбоев на функционирование всей системы.

Методы управления инцидентами и аварийного реагирования включают разработку планов и процедур для оперативного реагирования на инциденты и восстановления функционирования системы. Эти методы охватывают как обеспечение непрерывности бизнеса, так и восстановление после аварий. В промышленности, например, успешное применение этих методов помогло организациям оперативно реагировать на кибератаки и минимизировать их последствия [15]. Для КВОИ такие методы критичны для обеспечения быстрой реакции на кризисные ситуации, что помогает предотвратить длительные перебои в работе и минимизировать ущерб.

Оценка устойчивости с использованием методов машинного обучения представляет собой современный подход, который позволяет анализировать большие объемы данных и выявлять скрытые паттерны, указывающие на потенциальные угрозы. Исследование Liu et al. (2023) демонстрирует, как алгоритмы машинного обучения могут использоваться для прогнозирования и предотвращения сбоев в системах управления критической инфраструктурой [16]. Эти методы помогают повысить точность прогнозирования и оперативность реагирования, что особенно важно для обеспечения устойчивости КВОИ.

Анализ взаимозависимостей между компонентами системы помогает выявить, как сбои в одной части могут повлиять на другие части системы. Этот метод позволяет оценить потенциальные каскадные эффекты и разработать стратегии для их минимизации. Например, в транспортных системах анализ взаимозависимостей помогает понять, как сбои в одном узле могут затронуть весь транспортный поток [17]. Для КВОИ этот метод критичен для оценки системных рисков и разработки комплексных решений для обеспечения надежности, и непрерывности работы. Эти методы и подходы являются основой для оценки устойчивости ИС критически важных объектов инфраструктуры. Они помогают выявить потенциальные уязвимости, оценить последствия различных угроз и разработать стратегии для обеспечения надежности и безопасности систем.

### Дискуссия

Устойчивость информационной системы можно оценить с использованием различных математических показателей, таких как коэффициенты надежности, показатели резервирования, функции отклика на сбои и другие метрики, которые формализуются в виде математических выражений. Коэффициент надежности, например, оценивает вероятность того, что система будет работать без сбоев в течение заданного времени  $P(t)$ , что можно выразить через функцию плотности вероятности отказов  $f(t)$ :

$$P(t) = \int_{t_0}^t f(t)dt \quad (1)$$

Среднее время безотказной работы (MTBF) также является важным показателем, который вычисляется как математическое ожидание времени до отказа:

$$MTBF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t)dt \quad (2)$$

Показатели резервирования, такие как коэффициент резервирования, показывают, сколько компонентов может выйти из строя, прежде чем система потеряет свою функциональность, и выражаются, например, как отношение числа резервных компонентов к числу основных:

$$R = \frac{n+1}{n} \quad (3)$$

Функции отклика на сбои, такие как функция восстановления  $R(t)$ , описывают вероятность того, что система будет восстановлена в течение времени  $t$  после отказа:

$$R(t) = 1 - P(t) \quad (4)$$

Другие метрики, такие как коэффициент доступности  $A$ , показывают, насколько долго система остаётся в рабочем состоянии, и рассчитываются по формуле:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (5)$$

Этот показатель показывает, насколько долго система остаётся в рабочем состоянии. Таким образом, использование этих математических показателей позволяет объективно оценить устойчивость системы и предсказать её поведение в условиях различных угроз и сбоев.

В процессе анализа существующих методов оценки устойчивости информационных систем (ИС) критически важных объектов инфраструктуры (КВОИ) выявлены несколько ключевых проблем, требующих решения. Эти проблемы включают недостаточную интеграцию методов, ограниченные возможности прогнозирования, недостаточную адаптивность систем и сложности в управлении взаимозависимостями.

Одна из значительных проблем заключается в недостаточной интеграции различных методов оценки устойчивости. Интеграция данных из различных источников и компонентов системы может быть сложной задачей. Примером служит атака на систему управления электроэнергией в Украине в 2015 году, когда проблемы с интеграцией данных и мониторингом привели к значительным сбоям [18]. Для решения этой проблемы Smith & Lee (2021) рекомендуют разработку унифицированных протоколов обмена данными и интеграционных платформ, которые могут улучшить взаимодействие между компонентами системы и повысить её устойчивость.

Часто применяется только один метод, что ограничивает возможности комплексного анализа. Например, анализ рисков и угроз может не учитывать результаты стресс-тестирования или моделирования, что приводит к неполному пониманию уязвимостей

системы. Исследование Liu et al. (2023) подчеркивает необходимость комплексного подхода, где методы машинного обучения интегрируются с традиционными методами анализа для получения более точных прогнозов и улучшения устойчивости [16]. Чтобы преодолеть эту проблему, необходимо разработать и внедрить интегрированные модели, которые будут учитывать результаты различных методов оценки, обеспечивая более полное и комплексное понимание системы.

Многие методы, такие как стресс-тестирование и моделирование, имеют ограничения в области прогнозирования будущих угроз и рисков. Эти методы часто основываются на исторических данных, которые могут не учитывать новые и не предсказуемые риски. Например, в области водоснабжения, исследование Garcia et al. (2023) показывает, что традиционное моделирование не всегда может учитывать изменения в климате и демографических тенденциях, которые могут существенно повлиять на устойчивость систем. В ответ на это, исследование Zhang et al. (2022) предлагает использование методов машинного обучения для повышения точности прогнозов рисков в энергетических системах. Эти методы могут анализировать большие объемы данных и выявлять аномалии, которые могут указывать на потенциальные угрозы [19]. Поэтому необходимо разрабатывать более динамичные и адаптивные модели, которые будут учитывать не только исторические данные, но и возможные будущие изменения и сценарии.

Другой проблемой является недостаточная адаптивность существующих систем к новым угрозам и изменениям в окружающей среде. Системы часто проектируются с фиксированными параметрами и не могут быстро адаптироваться к новым условиям или угрозам. Работы Brown et al. (2022) показывают, что системы, не обладающие гибкостью и возможностью адаптации, могут стать уязвимыми в условиях быстро меняющихся рисков. Решением этой проблемы может стать внедрение адаптивных систем, которые могут изменять свои параметры и стратегии реагирования в зависимости от текущих условий и угроз.

КВОИ часто состоят из сложных сетей взаимозависимых компонентов, и сбой в одном компоненте могут иметь каскадные последствия для всей системы. Проблема управления взаимозависимостями особенно актуальна для транспортных и энергетических систем, где сбой в одном узле могут затронуть множество других узлов и привести к значительным сбоям. Исследование Martinez (2021) подчеркивает, что понимание и управление этими взаимозависимостями являются критическими для обеспечения устойчивости. Для решения этой проблемы необходимо разрабатывать методы анализа взаимозависимостей и использовать их для создания стратегий управления, которые будут учитывать возможные каскадные эффекты.

Нередко существующие методы не учитывают сложные взаимозависимости между компонентами системы, что может приводить к каскадным сбоям. Примером является атака на систему водоснабжения в Сиднее в 2016 году, где недостаток учета взаимосвязей привел к масштабным сбоям [20]. Для решения этой проблемы Miller et al. (2023) предлагают использовать методы системного анализа для моделирования взаимозависимостей, что позволяет выявить потенциальные каскадные сбои и улучшить устойчивость системы.

КВОИ часто имеют сложные взаимозависимости, которые усложняют оценку их общей устойчивости. Примером служит сбой в коммуникационной системе в аэропорту Хельсинки в 2019 году, который показал, как высокие взаимозависимости могут привести к глобальным сбоям [21]. В ответ на это Johnson & Roberts (2022) рекомендуют проводить комплексные оценки взаимозависимостей и интеграционных тестов, что позволяет выявить уязвимости и улучшить устойчивость системы.

В случае инцидентов КВОИ могут сталкиваться с проблемами ограниченности ресурсов для восстановления. Пожар в дата-центре Amazon Web Services (AWS) в 2019 году показал, как недостаток ресурсов может привести к длительным простоям [22]. Davis et al. (2021) предлагают разработку стратегий и планов по распределению ресурсов для восстановления,

что позволяет минимизировать время простоя и обеспечить более эффективное восстановление систем.

Реакция на непредвиденные инциденты требует особого подхода. Ураган "Катрина" в 2005 году продемонстрировал проблемы с реакцией на чрезвычайные события, что привело к сбоям в инфраструктуре. Williams & Green (2023) предлагают разработку адаптивных планов реагирования на чрезвычайные ситуации, которые могут быть обновлены в зависимости от новых угроз и изменений в условиях эксплуатации, что позволяет улучшить адаптивность и устойчивость системы.

Для решения выявленных проблем предлагаются следующие критерии оценки устойчивости, основанные на системном подходе.

1. Интеграция методов, важно разрабатывать интегрированные подходы, которые объединяют результаты различных методов оценки устойчивости. Это позволит получить более полное и точное представление о системе и ее уязвимостях. Например, комбинация анализа рисков, стресс-тестирования и машинного обучения может обеспечить комплексное понимание угроз и уязвимостей.

2. Адаптивность систем, критерием устойчивости является способность системы адаптироваться к новым условиям и угрозам. Системы должны быть спроектированы таким образом, чтобы они могли гибко изменять свои параметры и стратегии в ответ на изменения в окружающей среде и новые угрозы.

3. Анализ взаимозависимостей, для обеспечения устойчивости необходимо учитывать взаимозависимости между компонентами системы и разрабатывать стратегии для управления каскадными эффектами. Это включает в себя использование методов анализа взаимозависимостей и создание стратегий, которые учитывают возможные последствия сбоев в различных частях системы.

4. Динамические модели прогнозирования. Критерием оценки устойчивости является использование динамических и адаптивных моделей прогнозирования, которые могут учитывать не только исторические данные, но и потенциальные будущие изменения и риски. Это поможет улучшить точность прогнозов и повысить устойчивость системы к неожиданным угрозам.

5. Реализация и тестирование планов реагирования. Важным критерием является наличие и регулярное тестирование планов реагирования на инциденты и восстановление после аварий. Эти планы должны быть актуализированы в соответствии с изменяющимися условиями и угрозами, чтобы обеспечить эффективное реагирование и минимизацию ущерба.

Эти критерии, основанные на системном подходе, помогут улучшить оценку и повышение устойчивости ИС критически важных объектов инфраструктуры, обеспечивая более надежную защиту от различных угроз и рисков.

### **Заключение**

В ходе данного исследования были рассмотрены ключевые аспекты оценки устойчивости информационных систем (ИС) критически важных объектов инфраструктуры (КВОИ), а также выявлены основные проблемы и предложены критерии для их решения. Обзор существующих методов, таких как анализ рисков, стресс-тестирование, моделирование и симуляция, а также анализ отказоустойчивости и управление инцидентами, продемонстрировал их значимость в обеспечении надежности и безопасности КВОИ.

Обнаруженные проблемы, такие как недостаточная интеграция методов, ограниченные возможности прогнозирования, недостаточная адаптивность систем и сложности в управлении взаимозависимостями, подчеркивают необходимость комплексного подхода к оценке устойчивости. Важно, чтобы методы оценки интегрировались друг с другом, что позволит получить более полное и точное представление о системе. Адаптивные системы, которые могут изменять свои параметры в ответ на новые угрозы, и динамические модели

прогнозирования, учитывающие как исторические, так и будущие риски, являются критическими для повышения устойчивости.

Предложенные критерии оценки устойчивости, основанные на системном подходе, включают интеграцию методов, адаптивность систем, анализ взаимозависимостей, использование динамичных моделей прогнозирования и реализацию планов реагирования на инциденты. Эти критерии помогут обеспечить более надежную защиту КВОИ, улучшая их способность справляться с различными угрозами и рисками.

В заключение, успешное обеспечение устойчивости КВОИ требует комплексного подхода, который объединяет различные методы и учитывает уникальные характеристики и потребности каждой системы. Внедрение предложенных критериев и разработка интегрированных моделей оценки устойчивости будут способствовать более надежному функционированию критически важных объектов и обеспечению их защиты от потенциальных угроз.

Продолжение исследований в этой области должно сосредоточиться на разработке новых методов и инструментов, которые будут адаптироваться к быстро меняющимся условиям и новым угрозам. Важно также уделять внимание практическому применению разработанных методов и критериев, чтобы обеспечить их эффективность и применимость в реальных условиях. Тесное сотрудничество между научным сообществом и практиками в области управления инфраструктурой поможет создать более устойчивые и надежные системы, способные справляться с вызовами будущего.

#### References

- [1] Smith C. L., & Herrmann J. W. *Quantifying System Resilience Using Probabilistic Risk Assessment Techniques* // *Johns Hopkins APL Technical Digest*. – 2019. – Vol. 32(2). – P. 516-525. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:208134597>
- [2] Sarker I. H. *AI for Critical Infrastructure Protection and Resilience* // *AI-Driven Cybersecurity and Threat Intelligence*. Springer, Cham. – 2024. – P. 103-133. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-54497-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-54497-2_9)
- [3] Ganguly P., Mukherjee S. *IIVA: A Simulation Based Generalized Framework for Interdependent Infrastructure Vulnerability Assessment* // *arXiv preprint*. – 2022. – P. 1-15. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.06894>
- [4] Dragičević T., Wheeler P., Blaabjerg F. *Artificial Intelligence Aided Automated Design for Reliability of Power Electronic Systems* // *IEEE Transactions on Power Electronics*. – 2019. – Vol. 34(8). – P. 7161-7171. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2018.2883947>
- [5] Siddiqui F., Hagan M., & Sezer S. *Establishing Cyber Resilience in Embedded Systems for Securing Next-Generation Critical Infrastructure* // *arXiv preprint*. – 2020. – P. 1-12. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.02770>
- [6] Yigit Y., Ferrag M. A., Sarker I. H., et al. *Critical Infrastructure Protection: Generative AI, Challenges, and Opportunities* // *arXiv preprint*. – 2024. – P. 1-20. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.04874>
- [7] Liu W., Song Z. *Review of studies on the resilience of urban critical infrastructure networks* // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2020. – Vol. 193. – P. 106617. <https://doi.org/10.1016/j.res.2019.106617>
- [8] Hou G., Muraleetharan K. K., Panchaloganjan V., Moses P., Javid A., Al-Dakheeli H., Bulut R., Campos R., Harvey P. S., Miller G., Boldes K., Narayanan M. *Resilience assessment and enhancement evaluation of power distribution systems subjected to ice storms* // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2023. – Vol. 230. – P. 108964. <https://doi.org/10.1016/j.res.2022.108964>
- [9] Suo W., Wang L., Li J. *Probabilistic risk assessment for interdependent critical infrastructures: A scenario-driven dynamic stochastic model* // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2021. – Vol. 214. – P. 107730. <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107730>
- [10] Iannacone L., Sharma N., Tabandeh A., Gardoni P. *Modeling time-varying reliability and resilience of deteriorating infrastructure* // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2022. – Vol. 217. – P. 108074. <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.108074>

- [11] Sharma N., Gardoni P. *Mathematical modeling of interdependent infrastructure: An object-oriented approach for generalized network-system analysis* // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2022. – Vol. 217. – P. 108042. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.108042>
- [12] Proskurin D., Okhrimenko T., Gnatyuk S., Zhaksigulova D., Korshun N. *Hybrid RNN-CNN-based model for PRNG identification* // *Classic, Quantum, and Post-Quantum Cryptography 2024*. – 2024. – Vol. 3829. – P. 47-53. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3829/short6.pdf>
- [13] Sarker I. H. *Machine Learning for Intelligent Data Analysis and Automation in Cybersecurity: Current and Future Prospects* // *Annals of Data Science*. – 2023. – Vol. 10. – P. 1473–1498. <https://doi.org/10.1007/s40745-022-00444-2>
- [14] Gnatyuk S., Zhaksigulova D., Zhyharevych O., Ospanova D., Chuba I. *Studies on WSN Models for IoT-based Monitoring Systems in the Critical Infrastructure of the State* // *CEUR Workshop Proceedings*. – 2023. – Vol. 3550. – P. 167–180. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3550/paper14.pdf>
- [15] Yang Z., Barroca B., Mebarki A., Laffréchine K., Dolidon H., Lilas L. *Critical infrastructure resilience: a guide for building indicator systems based on a multi-criteria framework with a focus on implementable actions* // *Natural Hazards Earth System Science*. – 2024. – Vol. 24. – P. 3723–3753. <https://doi.org/10.5194/nhess-24-3723-2024>
- [16] Kulugh V. E., Mbanaso U. M., Chukwudebe G. *Cybersecurity Resilience Maturity Assessment Model for Critical National Information Infrastructure* // *SN Computer Science*. – 2022. – Vol. 3. – P. 217. <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01108-x>
- [17] Balakrishnan S., Cassottana B. *InfraRisk: An Open-Source Simulation Platform for Asset-Level Resilience Analysis in Interconnected Infrastructure Networks* // *arXiv preprint*. – 2022. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.04717>
- [18] Guo D., Shan M., Owusu E. K. *Resilience Assessment Frameworks of Critical Infrastructures: State-of-the-Art Review* // *Buildings*. – 2021. – Vol. 11. – P. 464. <https://doi.org/10.3390/buildings11100464>
- [19] Caetano H. O., Desuó L. N., Fogliatto M. S. S., Maciel C. D. *Resilience assessment of critical infrastructures using dynamic Bayesian networks and evidence propagation* // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2024. – Vol. 241. – P. 109691. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109691>
- [20] Sathurshan M., Saja A., Thamboo J., Haraguchi M., Navaratnam S. *Resilience of Critical Infrastructure Systems: A Systematic Literature Review of Measurement Frameworks* // *Infrastructures*. – 2022. – Vol. 7. – P. 67. <https://doi.org/10.3390/infrastructures7050067>
- [21] Jovanović A. S., Jelic M., Chakravarty S. *Resilience and Situational Awareness in Critical Infrastructure Protection: An Indicator-Based Approach* // *Issues on Risk Analysis for Critical Infrastructure Protection*. – 2021. ISBN 978-1-83962-621-0. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97810>
- [22] Argyroudis S. A., Mitoulis S. A., Hofer L., Zanini M. A., Tubaldi E., Frangopol D. M. *Resilience assessment framework for critical infrastructure in a multi-hazard environment: Case study on transport assets* // *Science of The Total Environment*. – 2020. – Vol. 714. – P. 136854. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136854>

А.А. Крыкпаева<sup>1</sup>, Ж.Б. Байтуленов<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

<sup>2</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., Қазақстан

\*e-mail: janibekbb@mail.ru

## НЬЮТОНДЫҚ ЕМЕС СҰЙЫҚТЫҚ ПІШІМІ ҮШІН ЖАЛҒАН АЙМАҚТАР ӘДІСІНІҢ МОДИФИКАЦИЯСЫ

*Аңдатпа*

Бұл жұмыста үшөлшемді шенелген аймақта ньютондық емес сұйықтықтың стационарлық емес сызықсыз пішімі үшін үлкен коэффициенттермен жалғастырылған жалған аймақтар әдісінің бір модификациясы қарастырылады. Бұл модификация аз шамалы параметрге тәуелді және кеңейтілген(жалған) аймақта анықталған көмекші есеп түрінде берілген. Ал аталған ньютондық емес сұйықтық пішімі бастапқы есеп ретінде алынған. Жұмыстың мақсаты – көмекші есептің қандай да бір шешімдерінің бар болуы мен аз шамалы параметрдің нөлге ұмтылған кезінде бастапқы есептің сәйкес шешіміне жинақталуын дәлелдеу және шешімдердің жинақталу жылдамдығын алу. Сонымен, бұл жұмыста көмекші есептің жалпылама шешімінің бар болуы мен бастапқы есептің сәйкес жалпылама шешіміне жинақталуы дәлелденген. Ал күшті шешімдер үшін жалған аймақтар әдісінің «классикалық» түрімен салыстырғанда жоғары жинақталу жылдамдығы алынған. Мұнда негізгі зерттеу әдістемесі – априорлы баға алу, Галеркин әдістері.

**Түйін сөздер:** жалған аймақ, жалпылама шешім, априорлы бағалар, ньютондық емес сұйықтық, жинақталу жылдамдығы.

А.А. Крыкпаева<sup>1</sup>, Ж.Б. Байтуленов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,  
г.Усть-Каменогорск, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан  
**МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ФИКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИ  
НЕНЬЮТОНОВСКОЙ ЖИДКОСТИ**

*Аннотация*

В данной работе рассматривается модификация метода фиктивных областей с продолжением по старшим коэффициентам для нестационарной нелинейной модели неньютоновской жидкости в ограниченной трехмерной области. Данная модификация дается в виде вспомогательной задачи с малым параметром и в расширенной(фиктивной) области. А модель неньютоновской задачи рассматривается как исходная задача. Цель работы – доказать существование каких-либо решений вспомогательной задачи и их сходимости к соответствующим решениям исходной задачи при стремлении малого параметра к нулю. Здесь доказана существования обобщенного решения вспомогательной задачи и его сходимости к соответствующему решению исходной задачи. Вместе с тем, для сильного решения получена оценка скорости сходимости более высокого порядка, по сравнению с «классическим» вариантом метода фиктивных областей. Основные методы исследования – методы априорных оценок и Галеркина.

**Ключевые слова:** фиктивная область, обобщенное решение, априорная оценка, неньютоновская жидкость, скорость сходимости.

А.А. Krykpaeva<sup>1</sup>, Zh.B. Baitulenov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

## MODIFICATION OF THE FICTITIOUS DOMAIN METHOD FOR A NON-NEWTONIAN FLUID MODEL

### Abstract

In this paper, we consider a modification of the fictitious domain method with continuation in terms of leading coefficients for a non-stationary nonlinear model of a non-Newtonian fluid in a limited three-dimensional domain. This modification is given as an auxiliary problem with a small parameter and in an extended (fictitious) region. And the model of the non-Newtonian problem is considered as the original problem. The purpose of this work is to prove the existence of any solutions of the auxiliary problem and their convergence to the corresponding solutions of the original problem as the small parameter tends to zero.

Here we prove the existence of a generalized solution of the auxiliary problem and its convergence to the corresponding solution of the original problem. At the same time, for a strong solution, an estimate of the rate of convergence of a higher order is obtained, in comparison with the "classical" version of the method of fictitious regions. The main research methods are the methods of a priori estimates and Galerkin.

**Keywords:** fictitious domain, generalized solution, a priori estimation, non-Newtonian fluid, rate of convergence.

### Негізгі ережелер

Бұл жұмыстың негізгі идеясы – жалған аймақтар әдістерінің қандай-да бір артықшылықтары бар модификацияларын тұрғызу және негіздеу, оларды математикалық физиканың практикалық маңызы бар күрделі, сызықсыз пішімдеріне қолдану. Мұнда осындай бір  $\beta$ -модификация Олдройд түрлі ньютондық емес сұйықтықтың стационарлық емес сызықсыз пішіміне жалпылама функциялар кеңістігі үшін негізделеді. Бұл модификацияның артықшылығы – жалған аймақтар әдісінің белгілі түрлерімен салыстырғанда шешімдер үшін анағұрлым жоғары дәрежелі жинақталу жылдамдығы алынған.

### Кіріспе

Жалған аймақтар әдісі (ЖАӘ) математикалық физиканың маңызды есептеріне жиі қолданылатыны белгілі. Бұл әдіс бойынша қомақты мәліметтерді [1] жұмысынан табуға болады. ЖАӘ-нің теориялық негіздемесі, дербес жағдайда, шешімдердің жинақталу жылдамдығын алуды қамтиды. Сондықтан, неғұрлым жоғары дәрежелі жинақталу жылдамдығына ие жалған аймақтар әдісінің түрлерін жасау маңызды болып келеді. Осы бағыттағы жалған аймақтар әдісінің жаңа бір модификациясы алғаш рет [2] жұмысында ұсынылды. Мұнда шекарасы  $S$  болатын  $\Omega \subset R^2$  аймағында берілген

$$\Delta v(x) = f, \quad v|_S = 0.$$

сызықты эллиптикалық тендеудің Дирихле есебі үшін үлкен коэффициенттер бойынша жалғастырылған жалған аймақтар әдісі шекарасы  $S_1$  ( $S_1 \cap S = \emptyset$ ) болатын  $\Omega \supset D$  аймағында

$$\operatorname{div}(K^\varepsilon(v^\varepsilon)\nabla v^\varepsilon) = f^\varepsilon, \quad v^\varepsilon|_{S_1} = 0, \quad [v^\varepsilon]_S = 0, \quad \left[ K^\varepsilon(v^\varepsilon) \frac{\partial v^\varepsilon}{\partial n} \right]_S = 0, \quad \varepsilon > 0$$

$$K^\varepsilon(v^\varepsilon) = \begin{cases} 1, & \text{егер } x \in \Omega, \\ \frac{1}{\varepsilon \|\nabla v^\varepsilon\|_{L_2(D_1)}^\beta}, & 0 < \beta < 1, \text{ егер } x \in D_1 = D/\Omega, \end{cases} \quad f^\varepsilon = \begin{cases} 1, & x \in \Omega, \\ 0, & x \in D_1, \end{cases}$$



$[\cdot]_S$  - S-тегі үйлесімділік шарты, көмекші есебі түрінде берілген ( $\beta$  - модификация). [2] жұмысында осы есеп үшін жалпылама шешімдерінің бар болу мен жинақтылығы дәлелденген, сонымен бірге шешімдер үшін

$$\|v^\varepsilon - v\|_{W_2^1(\Omega)}^0 \leq C\varepsilon^{1/(1-\beta)} \rightarrow \varepsilon^\infty, \beta \rightarrow 1 \text{ болса}$$

жоғары дәрежелі жинақталу жылдамдығы алынған (авторлар оны «супержинақталу» деп атаған). Айта кетер жайт,  $\beta = 0$  үшін бұл есеп ЖАӘ-нің «классикалық» түрін береді және онда «ең жақсы» жинақталу жылдамдығы

$$\|v^\varepsilon - v\|_{L_2(\Omega)} \leq C\varepsilon.$$

болып табылады [3].

Енді бұл бағыттағы ілгері зерттеулер ЖАӘ-нің аталған  $\beta$  - модификациясын математикалық физиканың, оның ішінде гидродинамиканың, сызықсыз моделдеріне қолданып, шешімдердің ЖАӘ-нің басқа түрлеріне қарағанда анағұрлым тез жинақталатынын көрсетуді қажет етеді.

Бұл ұсынылып отырған жұмыста ЖАӘ-нің осы  $\beta$ -модификациясы Олдройд түрлі ньютондық емес сұйықтықтың стационарлық емес сызықсыз пішімі үшін қолдануы негізделеді, яғни қандай-да бір шешімдерінің бар болуы мен жинақталуы дәлелденіп, сәйкес жоғары дәрежелі жинақталу жылдамдығы алынады. Айта кетсек, ньютондық емес сұйықтықтың стационарлық сызықсыз пішімі үшін жалған аймақтар әдісінің осы модификациясының [4] жұмысында үлкен коэффициенттер, ал [5] еңбегінде кіші коэффициенттер бойынша жалғастырылған түрлері негізделген.

## Зерттеу әдіснамасы

### 1. Бастапқы есептің қойылымы

Сонымен,  $[0, T] \times \Omega$  аймағында,  $R^3 \supset \Omega$  - шенелген, Олдройд түрлі ньютондық емес сығылмайтын сұйықтықтың стационарлық емес сызықсыз бір пішімін қарастырайық [6]:

$$\text{Re}(v_t + (v \cdot \nabla)v) + \nabla P = (1 - \alpha)\Delta v + \nabla \cdot S + f, \quad (1)$$

$$S + \text{We}(S_t + (v \cdot \nabla)S) = 2\alpha D, \quad (2)$$

$$\text{div} v = 0, \quad (3)$$

бастапқы-шекаралық шарттары

$$v|_{t=0} = v_0(x), \quad S|_{t=0} = S_0(x), \quad v|_G = 0, \quad (4)$$

мұнда:  $t \in [0, T]$ ,  $x \in \Omega$ ,  $v = v(t, x)$  – сұйықтықтың жылдамдық векторы,  $P = P(t, x)$  – қысымы,  $S = S(t, x)$  – кернеу тензорының серпімді бөлігі,  $D = (\nabla v + (\nabla v)^T)/2$  – деформация жылдамдығының тензорлық функциясы,  $\text{Re} = \mu L / \mu$  және  $\text{We} = \lambda_1 u / L$  – сәйкес Рейнольдс және Венсенберг сандары,  $\alpha = 1 - \lambda_2 / \lambda_1$  – сандық параметр,  $\lambda_1$  – релаксация уақыты,  $\lambda_2$  – кешігу уақыты,  $0 < \lambda_2 < \lambda_1$ .  $u, L$  – пішімнің мінездемелік жылдамдығы мен өлшемі,  $f = f(t, x)$  – массалық күштер векторы.

[7] жұмысында (1)-(4) есебінің шешімділігі жалпылыма функциялар кеңістігінде жан-жақты зерттелінген. Ал [8] жұмысында (1)-(4) есебі үшін үлкен коэффициенттер бойынша

жалғастырылған жалған аймақтар әдісінің шартты түрде «классикалық» деп аталатын түрі негізделген және күшті шешім үшін

$$\|v^\varepsilon - v\|_{L_\infty(0,T;L_2(\Omega))} + \|v^\varepsilon - v\|_{L_2(0,T;W_2^1(\Omega))} + \|S^\varepsilon - S\|_{L_\infty(0,T;L_2(\Omega))} \leq C\varepsilon^{1/2} \quad (5)$$

жинақталу жылдамдығы бағасы алынған.

Біздің жұмыста зерттелетін ЖАӘ-нің модификациясы үшін (5)-пен салыстырғанда анағұрлым жақсы баға алынады.

## 2. Көмекші есептің қойылымы

Жалған аймақтар әдісі идеясына сәйкес, (1)-(4) негізгі есебі үшін  $[0,T] \times D_0$  аймағында,  $D_0 \supset \Omega$ , келесі көмекші есеп түрінде берілген үлкен коэффициенттермен жалғастырылған ЖАӘ-нің бір модификациясын қарастырамыз:

$$\operatorname{Re}(v_t^\varepsilon + (v^\varepsilon \cdot \nabla)v^\varepsilon) + \nabla P^\varepsilon = \operatorname{div}(K^\varepsilon(v^\varepsilon)\nabla v^\varepsilon) + \nabla \cdot S^\varepsilon + f^\varepsilon, \quad (6)$$

$$S^\varepsilon + \operatorname{We}(S_t^\varepsilon + (v^\varepsilon \cdot \nabla)S^\varepsilon) = 2\alpha D^\varepsilon, \quad (7)$$

$$\operatorname{div} v^\varepsilon = 0, \quad (8)$$

$$v^\varepsilon|_{t=0} = v_0(x), \quad S^\varepsilon|_{t=0} = S_0(x), \quad v^\varepsilon|_{G_1} = 0, \quad (9)$$

шекарадағы үйлесімділік шарттары:

$$[v^\varepsilon]_G = 0, \quad \left[ K(v^\varepsilon) \frac{\partial v^\varepsilon}{\partial n} - P^\varepsilon n + S^\varepsilon \cdot n \right]_G = 0, \quad [S^\varepsilon]_G = 0, \quad (10)$$

мұнда:  $0 < \beta < 1$ ,  $G_1$  -  $D_0$  аймағының шекарасы,  $G_1 \cap G = \emptyset$ ,  $\varepsilon > 0$ ,  $n - G_1$  шекарасының нормаль векторы,

$$f^\varepsilon(t, x) = \begin{cases} f(t, x), & \text{егер } x \in \Omega \\ 0, & \text{егер } x \in D_1 \end{cases} \quad K^\varepsilon(v^\varepsilon) = \begin{cases} 1 - \alpha, & \text{егер } x \in \Omega, \\ \frac{1 - \alpha}{\varepsilon \|\nabla v^\varepsilon\|_{L_2(D_1)}^\beta}, & 0 < \beta < 1, \text{ егер } x \in D_1 = D_0 / \Omega, \end{cases}$$

Егер (6)-(10) есебінде  $\beta = 0$  деп алсақ, онда біздің есеп ЖАӘ-нің «классикалық» түрін береді [5]. Ары қарай қолданылатын  $J(D_0)$  және  $J^1(D_0)$  кеңістіктері [9] жұмысында сипатталған.

*1-Анықтама.* (6)-(10) көмекші есебінің жалпылама шешімі деп  $\Phi(T, x) = 0$ ,  $\varphi(T, x) = 0$  болатын  $\Phi(t) \in C^1(0, T; J^1(D_0))$  вектор-функциясы мен  $\varphi(t, x) \in C^1(0, T; W_2^1(D_0))$  тензорлық функциясы үшін

$$\int_0^T \left\{ \operatorname{Re}(v^\varepsilon, \Phi_t + (v^\varepsilon \cdot \nabla)\Phi)_{L_2(D_0)} - (1 - \alpha)(\nabla v^\varepsilon, \nabla \Phi)_{L_2(\Omega)} - (S^\varepsilon : \nabla \Phi)_{L_2(D_0)} + (f^\varepsilon, \Phi)_{L_2(D_0)} + \frac{1 - \alpha}{\varepsilon \|\nabla v^\varepsilon\|_{L_2(D_1)}^\beta} (\nabla v^\varepsilon, \nabla \Phi)_{L_2(D_1)} \right\} dt - \operatorname{Re}(v_0(x), \Phi(0, x))_{L_2(D_0)} = 0, \quad (11)$$

$$\int_0^T \left\{ (S : \varphi)_{L_2(D_0)} - \text{We} \left( S : \left( \varphi_t + (v^\varepsilon \cdot \nabla) \varphi \right) \right)_{L_2(D_0)} \right\} dt - (S_0, \varphi(0))_{L_2(D_0)} - 2\alpha \int_0^T (D : \varphi)_{L_2(D_0)} dt = 0 \quad (12)$$

интегралдық теңдіктерін қанағаттандыратын  $S^\varepsilon(t, x) \in L_\infty(0, T; L_2(D_0))$ ,  $v^\varepsilon(t, x) \in L_\infty(0, T; J(D_0)) \cap L_2(0, T; J^1(D_0))$  функциялар жұбын айтады. Мұнда, мысалы:

$$(S : \varphi)_{L_2(D_0)} = \int_{D_0} \sum_{i,j=1}^3 S_{ij} \cdot \varphi_{ij} dx - L_2(D_0)\text{-дағы тензорлар жинағы, } (f^\varepsilon, \Phi)_{L_2(D_0)} = \int_{D_0} \sum_{i=1}^3 f_i^\varepsilon \Phi_i dx - L_2(D_0)\text{-}$$

дағы векторлардың скаляр көбейтіндісі. (11) және (12)-дегі қалған мүшелері де осыған ұқсас анықталады.

*2-Анықтама.* (6)-(10) көмекші есебінің күшті шешімі деп (6)-(7) теңдеулер жүйесіне кіретін барлық дербес туындыларымен бірге квадратты қосындыланатын және (6)-(8) жүйесі мен (9)-(10) шеттік шарттарын  $[0, T] \times D_0$  -де сәйкес өлшем бойынша барлық жерде дерлік қанағаттандыратын  $v^\varepsilon(t, x), S^\varepsilon(t, x), P^\varepsilon(t, x)$  функциялар тобын айтады.

Мұнда (1)-(4) есебінің де сәйкес шешімдері жоғарыдай анықталады.

### 3. Негізгі нәтижелер.

Бұл бөлімде көмекші (6)-(10) есебінің жалпылама шешімінің бар болуы мен негізгі (1)-(4) есебінің сәйкес жалпылама шешіміне жинақталуы дәлелдененді. Сонымен бірге, жоғарыда аталған есептердің күшті шешімдерінің жинақталу жылдамдығы алынады.

*1-Теорема.* Егер  $f(t, x) \in L_2\left(0, T, L_{\frac{6}{5}}(\Omega)\right)$ ,  $v_0(x) \in J^1(\Omega)$ ,  $S_0(x) \in C^1(\Omega)$  болса, онда (6)-(10)

көмекші есебінің кем дегенде бір жалпылама шешімі бар болады және ол үшін

$$\|v^\varepsilon\|_{L_\infty(0, T; L_2(D_0))}^2 + \|v^\varepsilon\|_{L_2(0, T; W_2^1(\Omega))}^2 + \|S^\varepsilon\|_{L_\infty(0, T; L_2(D_0))}^2 + \frac{1}{\varepsilon} \int_0^T \|\nabla v^\varepsilon\|_{L_2(D_1)}^{2-\beta} dt \leq C < \infty \quad (13)$$

бағалаулары орын алады. Мұнда және кейін де әртүрлі  $C$  арқылы шешім мен  $\varepsilon$  параметрінен тәуелсіз универсалды оң мәнді тұрақтыларды жалпылай белгілейміз.

*Дәлелдеуі.* Алдымен, (6)-(10) есебі үшін (13) бағаларының алынуын көрсетейік. (6) теңдеуін  $v^\varepsilon(t, x)$  -ке  $L_2(D_0)$ -де скаляр көбейтіп, пайда болатын өрнектің мүшелерін (8)-(9) шарттарын ескере отырып жекеше қарастырамыз:

$$\text{Re} \int_{D_0} (v_t^\varepsilon, v^\varepsilon)_{L_2(D_0)} = \frac{\text{Re}}{2} \frac{\partial}{\partial t} \int_{D_0} (v^\varepsilon)^2 dx = \frac{\text{Re}}{2} \frac{\partial}{\partial t} \|v^\varepsilon\|_{L_2(D_0)}^2, \quad \text{Re} \int_{D_0} (v^\varepsilon \cdot \nabla) v^\varepsilon \cdot v^\varepsilon dx = 0, \quad \int_{D_0} \nabla P^\varepsilon \cdot v^\varepsilon dx = 0,$$

$$\text{Re} \int_{D_0} \text{div} (K^\varepsilon(v^\varepsilon) \cdot \nabla v^\varepsilon) \cdot v^\varepsilon dx = - \int_{D_0} K^\varepsilon(v^\varepsilon) (\nabla v^\varepsilon)^2 dx + \int_{G_1} K^\varepsilon(v^\varepsilon) \cdot \nabla v^\varepsilon \cdot n \cdot v^\varepsilon dl =$$

$$= -(1-\alpha) \|\nabla v^\varepsilon\|_{L_2(\Omega)}^2 - \frac{(1-\alpha)}{\varepsilon} \|\nabla v^\varepsilon\|_{L_2(D_1)}^{2-\beta},$$

$$\int_{D_0} \nabla \cdot S^\varepsilon \cdot v^\varepsilon dx = - \int_{D_0} S^\varepsilon : \nabla v^\varepsilon dx.$$

Сонда біз

$$\frac{\text{Re}}{2} \frac{\partial}{\partial t} \|v^\varepsilon\|_{L_2(D_0)}^2 + (1-\alpha) \|\nabla v^\varepsilon\|_{L_2(\Omega)}^2 + \frac{1-\alpha}{\varepsilon} \|\nabla v^\varepsilon\|_{L_2(D_0)}^{2-\beta} = \int_{D_0} f^\varepsilon \cdot v^\varepsilon dx - \int_{D_0} S^\varepsilon : \nabla v^\varepsilon dx \quad (14)$$

теңдігін аламыз.

Ары қарай, (7) теңдеуін  $S^\varepsilon$  -ге көбейтіп,  $D_0$  аймағында интегралдайық:

$$\|S^\varepsilon\|_{L_2(D_0)}^2 + \frac{We}{2} \frac{\partial}{\partial t} \|S^\varepsilon\|_{L_2(D_0)}^2 = 2\alpha \int_{D_0} D^\varepsilon : S^\varepsilon dx \quad (15)$$

Енді (14) пен (15) қосып, пайда болатын теңдіктің оң жағын Гельдер, Юнг, тиістілік теоремалары теңсіздіктерін және Гронуолл леммасын [9]-дағы сияқты қолдана отырып, (13) бағалауларын аламыз.

Сонымен бірге,  $v^\varepsilon(t, x)$  үшін (13) бағалауымен қоса келесі лемма орын алады:

*Лемма.*  $\forall \delta \in (0, T - \delta)$  үшін

$$\int_0^{T-\delta} \|v^\varepsilon(t + \delta) - v^\varepsilon(t)\|^2 dt \leq C \delta^{\frac{1}{2} + \frac{1}{2-\beta}}, \quad C = const > 0 \quad (16)$$

Бұл лемманың дәлелдеуі де [9] сияқты жүргізіледі.

Теореманы ары қарай дәлелдеу үшін Галеркин әдісін қолданамыз [9]. (6)-(10) көмекші есебінің шешімдерін

$$v_N^\varepsilon(t) = \sum_{j=1}^N \alpha_j^N(t) \omega_j(x) \quad (17)$$

түрінде іздейміз. Мұнда  $\{\omega_j(x)\}$  -  $L_2(D_0)$ -де ортонормаланған  $J^1(D_0)$  кеңістігінің базистік векторлары, ал  $\alpha_j^N(t)$  скаляр функциялары

$$\begin{aligned} & \operatorname{Re} \left( \frac{\partial v_N^\varepsilon}{\partial t} + (v_N^\varepsilon \cdot \nabla) v_N^\varepsilon, \omega_j \right)_{L_2(D_0)} + (1 - \alpha) (\nabla v_N^\varepsilon, \nabla \omega_j)_{L_2(\Omega)} + \\ & + \frac{1 - \alpha}{\varepsilon \|v_N^\varepsilon\|_{L_2(D_1)}^\beta} (\nabla v_N^\varepsilon, \nabla \omega_j)_{L_2(D_1)} + (S^\varepsilon : \nabla \omega_j)_{L_2(D_0)} = (f^\varepsilon, \omega_j)_{L_2(D_0)}, \quad j = 1, \dots, N \end{aligned} \quad (18)$$

$$v_N^\varepsilon|_{t=0} = \sum_{j=1}^N (v_0(x), \omega_j) \omega_j, \quad \text{яғни } \alpha_j^N|_{t=0} = (v_0(x), \omega_j),$$

ал  $S_N^\varepsilon(t, x)$  функциялары

$$S_N^\varepsilon + We \left( \frac{\partial S_N^\varepsilon}{\partial t} + (v_N^\varepsilon \cdot \nabla) S_N^\varepsilon \right) = 2\alpha D_N^\varepsilon, \quad S_N^\varepsilon|_{t=0} = S_0(x) \quad (19)$$

есебінен табылсын.

(17)-(19) есебінің шешімділігі [7] еңбегінде сияқты көрсетіледі. Ары қарай, (18)-ді  $\alpha_j^N(t)$  көбейтіп  $j = 1, \dots, N$  бойынша қосындыласақ және (19)  $S_N^\varepsilon$ -ге көбейтіп, сосын  $D_0$ -де интегралдаймыз да жоғарыдағы амалдарды қайталай отырып  $v_N^\varepsilon$ ,  $S_N^\varepsilon$  тізбектері үшін (13) бағалауларын аламыз. Сонымен бірге,  $v_N^\varepsilon$  үшін (15) бағалауы да орынды болады. Онда (13), (16) бағалаулары  $v_N^\varepsilon$ ,  $S_N^\varepsilon$  тізбектерінен  $N \rightarrow \infty$  болғанда

$$v_N^\varepsilon \rightarrow v^\varepsilon * \text{әлсіз } L_\infty(0, T; L_2(D_0))\text{-де, } \nabla v_N^\varepsilon \rightarrow \nabla v^\varepsilon \text{ әлсіз } L_2(0, T; L_2(\Omega))\text{-де,}$$

$$S_N^\varepsilon \rightarrow S^\varepsilon * \text{әлсіз } L_\infty(0, T; L_2(D_0))\text{-де, } \nabla v_N^\varepsilon \rightarrow \nabla v^\varepsilon \text{ әлсіз } L_{2-\beta}(0, T; L_2(D_1))\text{-де,} \quad (20)$$

$v_N^\varepsilon \rightarrow v^\varepsilon$  күшті  $L_2(0, T; L_2(D_0))$ -де жинақталатын тізбекшелер бөліп алуға болады. Ары қарай, [9] сияқты осы таңдап алынған тізбекшелер бойынша (18)-де және (19)-дің  $\varphi(t, x) \in C^1(0, T; W_2^1(D_0))$ -ге көбейтіліп  $D_0$  бойынша интегралданған түрінде шекке көше отырып шектік  $v^\varepsilon, S^\varepsilon$  функцияларының (6)-(10) көмекші есебінің жалпылама шешімі екенін көруге болады. 1-теорема дәлелденді.

*2-теорема. 1-теореманың барлық шарттары орындалсын, онда  $\varepsilon \rightarrow 0$  болғанда (6)-(10) көмекші есебінің жалпылама шешімі (1)-(4) негізгі есебінің сәйкес жалпылама шешіміне жинақталады.*

*Дәлелдеуі.* (13), (16) бағалауларынан  $v^\varepsilon, S^\varepsilon$  тізбектерінен  $\varepsilon \rightarrow 0$  болғанда

$v^\varepsilon \rightarrow v$  \* әлсіз  $L_\infty(0, T; L_2(D_0))$ -де,  $\nabla v^\varepsilon \rightarrow \nabla v$  әлсіз  $L_2(0, T; L_2(\Omega))$ -де,

$$S^\varepsilon \rightarrow S$$
 \* әлсіз  $L_\infty(0, T; L_2(D_0))$ -де,  $v^\varepsilon \rightarrow 0$  күшті  $L_2(0, T; L_2(D_1))$ -де, (21)

$v_N^\varepsilon \rightarrow v^\varepsilon$  күшті  $L_2(0, T; L_2(D_0))$ -де түрінде жинақталатын тізбекшелер бөліп алуға болады. Ары қарай, [9] сияқты сәйкес интегралдық теңдіктерде  $\varepsilon \rightarrow 0$  шекке көше отырып, шектік  $v(t, x), S(t, x)$  функциялардың (1)-(4) негізгі есебінің жалпылама шешімі екенін көруге болады.

Енді біз (6)-(10) көмекші есебінің күшті шешімінің жинақталу жылдамдығын алуды көрсетейік. Келесі шарт орындалсын деп есептейік:

*1- шарт. (1)-(4) және (6)-(10) есептерінің күшті шешімдері бар болсын және  $\varepsilon \rightarrow 0$  болғанда (6)-(10) есебінің күшті шешімі (1)-(4) есебінің сәйкес күшті шешіміне жинақталсын. Сонымен бірге*

$$v(t) \in L_2(0, T; W_2^2(\Omega) \cap H(\Omega)), \quad v_t \in L_2(0, T; L_2(\Omega)), \quad P(t) \in L_2(0, T; W_2^1(\Omega)),$$

$$S_t(t) \in L_2(0, T; L_2(\Omega)), \quad S(t) \in L_2(0, T; W_3^1(\Omega)), \quad v_x \in L_\infty(0, T; L_2(\Omega))$$

$$v^\varepsilon(t) \in L_2(0, T; W_2^2(D_0) \cap H(D_0)), \quad v_t^\varepsilon(t) \in L_2(0, T; L_2(D_0)), \quad P^\varepsilon(t) \in L_2(0, T; W_2^1(D_0)),$$

$$v_x^\varepsilon \in L_\infty(0, T; L_2(D_0)), \quad S_t^\varepsilon(t) \in L_2(0, T; L_2(D_0)), \quad S^\varepsilon(t) \in L_2(0, T; W_3^1(D_0))$$

*болсын.*

**3-теорема.** *1-шарты орындалсын және  $\varepsilon \rightarrow 0$  болғанда (6)-(10) көмекші есебінің күшті шешімі (1)-(4) негізгі есебінің сәйкес күшті шешіміне жинақталсын, онда олар үшін*

$$\|v^\varepsilon - v\|_{L_\infty(0, T; L_2(D_0))}^2 + \|S^\varepsilon - S\|_{L_\infty(0, T; L_2(D_0))}^2 + \|\nabla v^\varepsilon - \nabla v\|_{L_2(0, T; L_2(\Omega))}^2 + \|S^\varepsilon - S\|_{L_2(0, T; L_2(\Omega))}^2 \leq C\varepsilon^{\frac{1+\beta}{2(1-\beta)}} \quad (22)$$

*жинақталу жылдамдығы орын алады. ( Мұнда  $\beta \rightarrow 1$  үшін  $\varepsilon$  - аз шамалы параметрдің дәрежесі  $\infty$  ұмтылады).*

*Дәлелдеуі.* Алдымен (1) теңдеуін қандайда бір  $\psi : \operatorname{div} \psi = 0, \psi|_{G_1} = 0$  функциясына  $L_2(\Omega)$ -да скалярлы көбейтейік:

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} \int_{\Omega} v_t \psi dx - \operatorname{Re} \int_{\Omega} ((v \cdot \nabla) \psi)_t dx + (1-\alpha) \int_{\Omega} \nabla v \cdot \nabla \psi dx - (1-\alpha) \int_G \frac{\partial v}{\partial n} \psi dl + \\ + \int_{\Omega} S : \nabla \psi dx - \int_G S \cdot n \cdot \psi dl + \int_G P \cdot n \cdot \psi dl - \int_{\Omega} f \psi dx = 0. \end{aligned} \quad (23)$$

Сосын (6) теңдеуін де осы  $\psi$  -ге  $L_2(D_0)$  -да скаляр көбейтеміз:

$$\begin{aligned} & \operatorname{Re} \int_{D_0} v_i^\varepsilon \psi dx - \operatorname{Re} \int_{D_0} ((v^\varepsilon \cdot \nabla) \psi) v^\varepsilon dx + (1-\alpha) \int_{D_0} \nabla v^\varepsilon \cdot \nabla \psi dx + \int_{D_0} S^\varepsilon : \nabla \psi dx - \\ & - \int_{D_0} f^\varepsilon \psi dx + \frac{1}{\varepsilon \|\nabla v^\varepsilon - \nabla v\|_{L_2(D_1)}^\beta} \int_{D_1} (\nabla v^\varepsilon - \nabla v) \cdot \nabla \psi dx = 0. \end{aligned} \quad (24)$$

Енді  $v(t, x)$  пен  $S(t, x)$ -ті  $\Omega$ -ның сыртына 0-мен жалғастыра және  $\omega = v^\varepsilon - v$ ,  $\theta = S^\varepsilon - S$ ,  $\psi = \omega$  деп белгілей отырып (24) пен (23) айырымын қарастырамыз:

$$\begin{aligned} & \frac{\operatorname{Re}}{2} \frac{d}{dt} \|\omega\|_{L_2(D_0)}^2 - \operatorname{Re} \int_{D_0} ((\omega \cdot \nabla) \omega) v^\varepsilon dx + (1-\alpha) \|\nabla \omega\|_{L_2(\Omega)}^2 + \int_{D_0} \theta : \nabla \omega dx - \\ & - \int_G P \cdot n \cdot \omega dl + (1-\alpha) \int_G \frac{\partial v}{\partial n} \omega dl + \int_G S \cdot n \cdot \omega dl + \frac{1-\alpha}{\varepsilon} \|\nabla \omega\|_{L_2(D_1)}^{2-\beta} = 0. \end{aligned} \quad (25)$$

Ары қарай (7)-ні қандай да бір  $\phi$  функциясына көбейтіп,  $D_0$ -де интегралдайық:

$$We \int_{D_0} S_i^\varepsilon : \phi dx + \int_{D_0} S^\varepsilon : \phi dx - We \int_{D_0} (v^\varepsilon \cdot \nabla) \phi \cdot S^\varepsilon dx = 2\alpha \int_{D_0} D^\varepsilon : \phi dx, \quad (26)$$

Сосын (2)-ні де  $\phi$ -ға көбейтіп,  $D_0$ -де интегралдаймыз:

$$We \int_{\Omega} S_i : \phi dx + \int_{\Omega} S : \phi dx - We \int_{\Omega} (v \cdot \nabla) \phi \cdot S dx = 2\alpha \int_{\Omega} D : \phi dx, \quad (27)$$

Одан кейін  $v, S$ -ті  $\Omega$ -дің сыртына нөлмен жалғастыра отырып,  $\phi = \theta$  деп аламыз да, (26) пен (27) айырымынан

$$\frac{We}{2} \frac{d}{dt} \|\theta\|^2 + \|\theta\|^2 - We \int_{D_0} (\omega \cdot \nabla) \theta \cdot S dx = 2\alpha \int_{D_0} (D^\varepsilon - D) : \theta dx. \quad (28)$$

теңдігін аламыз. Ары қарай (28)-ні  $2\alpha$  бөлеміз де (25)-пен қосамыз:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \left( \operatorname{Re} \|\omega\|_{L_2(D_0)}^2 + \frac{We}{2\alpha} \|\theta\|_{L_2(D_0)}^2 \right) + (1-\alpha) \|\nabla \omega\|_{L_2(\Omega)}^2 + \frac{1}{2\alpha} \|\theta\|_{L_2(D_0)}^2 + \frac{1-\alpha}{\varepsilon} \|\nabla \omega\|_{L_2(D_1)}^{2-\beta} = \\ & = \frac{We}{2\alpha} \int_{D_0} (\omega \cdot \nabla) \theta \cdot S dx + \operatorname{Re} \int_{D_0} ((\omega \cdot \nabla) \omega) v^\varepsilon dx - (1-\alpha) \int_G \frac{\partial v}{\partial n} \omega dl - \int_G S \cdot n \cdot \omega dl + \int_G P \cdot n \cdot \omega dl \end{aligned} \quad (29)$$

(29)-дің оң жағын Гельдер теңсіздігін, тиістілік теоремалары[9] мен Юнг теңсіздігін қолданып бағалаймыз:

$$\begin{aligned} & \frac{We}{2\alpha} \int_{D_0} (\omega \cdot \nabla) \theta \cdot S dx = -\frac{We}{2\alpha} \int_{\Omega} (\omega \cdot \nabla) S \cdot \theta dx \leq \frac{We}{2\alpha} \|\nabla S\|_{L_3(\Omega)} \|\theta\|_{L_2(\Omega)} \|\omega\|_{L_6(\Omega)} \leq \\ & \leq C_1 \|\nabla S\|_{L_3(\Omega)} \|\theta\|_{L_2(\Omega)} \left( \|\omega\|_{L_2(\Omega)} + \|\nabla \omega\|_{L_2(\Omega)} \right) \leq C_2 \|\theta\|_{L_2(D_0)} \|\nabla S\|_{L_3} \|\omega\|_{L_2(D_0)} + C_3 \|\theta\|_{L_2(D_0)} \|\nabla S\|_{L_3} \|\nabla \omega\|_{L_2(\Omega)} \leq \\ & \leq \delta_1 \|\theta\|_{L_2(D_0)}^2 + C_{1,\delta} \|\nabla S\|_{L_3}^2 \|\omega\|_{L_2(D_0)}^2 + \delta_2 \|\nabla \omega\|_{L_2(\Omega)}^2 + C_{2,\delta} \|\theta\|_{L_2(D_0)}^2 \|\nabla S\|_{L_3}^2 \leq \\ & \leq \frac{1}{8\alpha} \|\theta\|_{L_2(D_0)}^2 + \frac{1-\alpha}{8} \|\nabla \omega\|_{L_2(\Omega)}^2 + C_3 \|\nabla S\|_{L_3(\Omega)}^2 \left( \|\omega\|_{L_2(D_0)}^2 + \|\theta\|_{L_2(D_0)}^2 \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} \int_{D_0} ((\omega \cdot \nabla) \omega v^\varepsilon) dx &= \operatorname{Re} \int_{\Omega} (\omega \cdot \nabla) \omega v dx \leq \operatorname{Re} \|v\|_{L_4(\Omega)} \|\nabla \omega\|_{L_2(\Omega)} \|\omega\|_{L_4(\Omega)} \leq \\ &\leq C_4 \sup_t \|\nabla v\| \cdot \|\nabla \omega\|_{L_2(\Omega)} \left( \|\omega\|_{L_2(\Omega)} + \|\nabla \omega\|_{L_2(\Omega)}^{\frac{3}{4}} \|\omega\|_{L_2(\Omega)}^{\frac{1}{4}} \right) \leq C_5 \|\nabla \omega\|_{L_2(\Omega)} \cdot \|\omega\|_{L_2(D_0)} + C_6 \|\nabla \omega\|_{L_2(\Omega)}^{\frac{7}{4}} \|\omega\|_{L_2(D_0)}^{\frac{1}{4}} \leq \\ &\leq \frac{1-\alpha}{4} \|\nabla \omega\|_{L_2(\Omega)}^2 + C_7 \|\omega\|_{L_2(D_0)}^2 \leq \frac{1-\alpha}{4} \|\nabla \omega\|_{L_2(\Omega)}^2 + C_7 \left( \|\omega\|_{L_2(D_0)}^2 + \|\theta\|_{L_2(D_0)}^2 \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I &\equiv \int_G \left( P \cdot n - (1-\alpha) \frac{\partial v}{\partial n} - S \cdot n \right) \omega dl \leq C_8 \left( \left\| \frac{\partial v}{\partial n} \right\|_{L_2(G)} + \|S\|_{L_2(G)} + \|P\|_{L_2(G)} \right) \|\omega\|_{L_2(G)} \leq \\ &\leq C_9 \left( \|v\|_{W_2^1(\Omega)} + \|S\|_{W_2^1(\Omega)} + \|P\|_{W_2^1(\Omega)} \right) \|\nabla \omega\|_{L_2(D_1)} \leq C_{10} A(t) \|\nabla \omega\|_{L_2(D_1)}^{1/2} \|\nabla \omega\|_{L_2(D_0)}^{1/2} \leq \\ &\leq C_{10} A(t) \|\nabla \omega\|_{L_2(D_1)}^{1/2} \sup_t \|\nabla \omega\|_{L_2(D_0)}^{1/2} \leq C_{10} A(t) \left( \|\nabla \omega\|_{L_2(D_1)}^{1/2} \varepsilon^{-\frac{1}{2-\beta}} \varepsilon^{\frac{1}{2-\beta}} \right), \end{aligned}$$

мұнда  $A(t) = \|v\|_{W_2^1(\Omega)} + \|S\|_{W_2^1(\Omega)} + \|P\|_{W_2^1(\Omega)}$ . Ары қарай, соңындағы, жақша ішіндегі өрнекке көрсеткіштері  $p = (2 - \beta)$ ,  $q = \frac{2 - \beta}{1 - \beta}$  болатын Юнг теңсіздігін қолдансақ, онда  $\forall \delta > 0$  үшін

$I \leq C_{11} A(t) \left( \frac{\delta}{\varepsilon} \|\nabla \omega\|_{L_2(D_1)}^{\frac{2-\beta}{2}} + C_{12} \delta^{\frac{1}{\beta-1}} \varepsilon^{\frac{1}{1-\beta}} \right)$  бағалауын аламыз. Онда, жалпы жинақтай келе (29) –дан

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left( \|\omega\|_{L_2(D_0)}^2 + \|\theta\|_{L_2(D_0)}^2 \right) + \|\nabla \omega\|_{L_2(\Omega)}^2 + \|\theta\|_{L_2(D_0)}^2 + \frac{1}{\varepsilon} \|\nabla \omega\|_{L_2(D_1)}^{2-\beta} - A(t) \frac{\delta}{\varepsilon} \|\nabla \omega\|_{L_2(D_1)}^{\frac{2-\beta}{2}} \leq \\ \leq C_{13} A(t) \delta^{\frac{1}{\beta-1}} \varepsilon^{\frac{1}{1-\beta}} + \left( C_8 \|\nabla S\|_{L_3(\Omega)}^2 + C_{11} \left( \|\omega\|_{L_2(D_0)}^2 + \|\theta\|_{L_2(D_0)}^2 \right) \right) \end{aligned}$$

теңсіздігін аламыз.

Содан соң [10] сияқты амалдарды қайталай отырып

$$\|\omega\|_{L_\infty(0,T;L_2(D_0))}^2 + \|\theta\|_{L_\infty(0,T;L_2(D_0))}^2 + \|\nabla \omega\|_{L_2(0,T;L_2(\Omega))}^2 + \|\theta\|_{L_2(0,T;L_2(\Omega))}^2 \leq C \varepsilon^{\frac{1+\beta}{2(1-\beta)}}$$

бағалауын, яғни (22) бағасын аламыз. 3-теорема дәлелденді.

### Зерттеу нәтижелері

Мұнда Олдройд түрлі ньютондық емес сығылмайтын сұйықтықтың стационарлық емес сызықсыз пішімі үшін жалған аймақтар әдісінің  $\beta$ -модификациясында жалпылама шешімнің бар болуы мен жинақталуы дәлелденді. Дәлелдеу [9] жұмысында негізделген априорлы бағалау әдісі арқылы жүзеге асырылды. Сонымен бірге, бұл модификация үшін күшті шешімдердің жоғары дәрежелі жинақталу жылдамдығы алынды.

### Дискуссия

Бұл жұмыста Олдройд түрлі ньютондық емес сығылмайтын сұйықтықтың стационарлық емес сызықсыз пішімі үшін үлкен коэффициенттермен жалғастырылған жалған аймақтар әдісінің  $\beta$ -модификациясын негіздеу барысында күшті шешімдер үшін  $\beta \rightarrow 1$  болғанда  $\varepsilon$ -аз шамалы параметрдің дәрежесі  $\infty$  ұмтылатын жинақталу жылдамдығы алынған. Аталған пішім үшін «классикалық» жалған аймақтар әдісі [8] жұмысында зерттелген және біз көрсеткен  $\beta$ -модификацияның  $\beta = 0$  дербес жағдайына сәйкес келеді, сонымен бірге, ондағы жинақталу

жылдамдығындағы  $\varepsilon$  - аз шамалы параметрдің дәрежесі 0.5-тен көтерілмейтіні анықталған. Жалған аймақтар әдісі үшін үлкен дәрежелі жинақталу жылдамдығын алу маңызды болып келеді, себебі, дербес жағдайда, бұл әдісті есептеу математикасы тұрғысы бойынша практикалық іске асыру бағытында ұтымды алгоритмдерді тұрғызу үшін қажет. Сонымен бірге, бұл жұмыста ұсынылған  $\beta$ -модификация және ұсынылған әдістемелерді математикалық физиканың басқа да сызықсыз пішімдері үшін қолдануға болады.

### Қорытынды

Бұл жұмыста шенелген 3-өлшемді аймақта ньютондық емес сығылмайтын сұйықтық қозғалысының сызықсыз стационарлық емес пішімі үшін үлкен коэффициенттер арқылы жалғастырылған жалған аймақтар әдісінің бір модификациясының теориялық негіздемесі берілген. Мұнда жалған аймақтар әдісін сипаттаушы көмекші есептің жалпылама шешімінің бар болуы мен бастапқы физикалық есептің жалпылама шешіміне жинақталуы дәлелденген. Жалпылама шешімнің бар болуы жуық шешімдер тізбегін құрушы Галеркин әдісі арқылы жүзеге асады.

Жуық шешімдер үшін Гельдер, Юнг және тиістілік теоремалары теңсіздіктерін, сонымен бірге, компакттылық леммасын қолдану арқылы қажетті функционалдық кеңістіктерде жоғарыдан бірқалыпты бағалар алынған. Бұл бағалар жуық шешімдер тізбегінен жинақталатын тізбекшелер бөліп алуға мүмкіндік береді, ал сосын осы тізбекшелердің шектері жалпылама шешім бола алатыны көрсетіледі. Сонымен бірге, жұмыста күшті шешімдер үшін жоғары дәрежелі жинақталу жылдамдығы алынған.

### Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

[1] Вабищевич П.Н. Метод фиктивных областей в задачах математической физики. М.: Изд-во МГУ, 1991. - 156с.

[2] Kuttykozhayeva Sh., Danaev N., Smagulov S., Orunkhanov M. Superconvergence in the New Version Fictitious Domains Method // Abstracts of the First International Conference "Inverse Problems: Modeling and Simulation" held on July 14-21. - Turkey, Fethiye, 2002. – pp. 52-56.

[3] Куттыкожаева Ш.Н. Метод фиктивных областей для уравнений Навье-Стокса // Вестник КазГУ. Серия мат., мех., инф. - 1998. - №13. - С.54-59.

[4] Крукраева А., Baitulenov Zh. The modification of fictitious domain method for the model of fluid // Совместный выпуск по материалам Международной конференции "Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании" (CITech-2018), 25-28 сентября 2018 года. - Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева, вычислительные технологии. - Т1. –Часть II. - Усть-Каменогорск – Новосибирск, 2018. –С.104-110.

[5] Baitulenov Zh. B. A modification of the method of fictitious domains for stationary model of non-Newtonian liquids // International Journal of Mathematics and Physics. – 2015. –Vol 6. -№2. – pp.16-22

[6] Guillope C, Saut J.-C. Resultats d'existence pour des fluides viscoelastiques a loi de comportement de type differentiel // C R. Acad. Sci. Paris. Ser. 1. Math. 1987. T. 305. pp. 489-492.

[7] Турганбаев М.Е. Фильтрация вязкоупругой жидкости типа Олдройда // Динамика сплошной среды. Вып. 108, 1994, с.80-97.

[8] Крыкпаева А.А. Применение и обоснование метода фиктивных областей для некоторых задач неоднородных жидкостей: Дис. канд. физ.-мат. наук. – Шымкент, 2002. – С.113-116.

[9] Антонцев С.Н., Кажихов А.В., Монахов В.Н. Краевые задачи механики неоднородных жидкостей. Новосибирск: Наука.-1983,-318с.

[10] Байтуленов Ж.Б. Модификация метода фиктивных областей с продолжением по старшим коэффициентам для нелинейной модели динамики жидкости // Вестник КазНПУ №1(21), 2008. С.52-56.

### References

[1] Vabishevich P.N. (1991) Metod fiktivnyh oblastej v zadachah matematicheskoy fiziki [The method of fictitious domains in problems of mathematical physics]. Moscow: Publishing House of Moscow State University. -156.(In Russian)



- [2] Kuttykozhayeva Sh., Danaev N., Smagulov S., Orunkhanov M. (2002) *Superconvergence in the New Version Fictitious Domains Method* // *Abstracts of the First International Conference "Inverse Problems: Modeling and Simulation"* held on July 14-21. - Turkey, Fethiye, 52-56.
- [3] Kuttykozhayeva Sh.N. (1998) *Metod fiktivnyh oblastej dlja uravnenij Nav'e-Stoksa [Fictitious domain method for the Navier-Stokes equations]* // *Vestnik KazGU. serija mat., meh., inf. - №13*, 54-59. (In Russian)
- [4] Krykpaeva A., Baitulenov Zh. (2018) *The modification of fictitious domain method for the model of fluid* // *JOINT ISSUE based on the materials of the International Conference "Computing and Information Technologies in Science, Technology and Education" (CITech-2018), September 25-28, 2018.* - *Bulletin of d. serikbayev ekstu, computing technologies. - T1. –Part II. - Ust-Kamenogorsk – Novosibirsk*, 104-110.
- [5] Baitulenov Zh. B. (2015) *A modification of the method of fictitious domains for stationary model of non-Newtonian liquids* // *International Journal of Mathematics and Physics. – Vol 6. -№2*. 16-22.
- [6] Guillope C, Saut J.-C. (1987) *Resultats d'existence pour des fluides viscoelastiques a loi de comportement de type differentiel* // *C R. Acad. Sci. Paris. Ser. I. Math. T. 305*. 489-492.
- [7] Turganbaev M.E. (1994) *Fil'tracija vjzskouprugoj zhidkosti tipa Oldrojda [Filtration of viscoelastic fluid of Oldroyd type]* // *Dynamics of a continuous medium. Issue 108*, 80-97. (In Russian)
- [8] Krykpaeva A.A. (2002) *Primenenie i obosnovanie metoda fiktivnyh oblastej dlja nekotoryh zadach neodnorodnyh zhidkостей [Application and justification of the method of fictitious domains for some problems of inhomogeneous fluids]: Diss. Candidate of Physical and Mathematical Sciences. – Shymkent*, 113-116. (In Russian)
- [9] Antontsev S.N., Kazhikhov A.V., Monakhov V.N. (1983) *Kraevye zadachi mehaniki neodnorodnyh zhidkостей [Boundary value problems of mechanics of inhomogeneous fluids]*. Novosibirsk: Nauka. - 318. (In Russian)
- [10] Baitulenov Zh.B. (2008) *Modifikacija metoda fiktivnyh oblastej s prodolzheniem po starshim kojefficientam dlja nelinejnoj modeli dinamiki zhidkosti [Modification of the method of fictitious regions with continuation by higher coefficients for a nonlinear model of fluid dynamics]* // *Vestnik KazNPU №1(21)*, 52-56. (In Russian)

E. Mussirepova<sup>1\*</sup>, A. Urmatova<sup>1</sup>, Sh. Altynbekov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Auezov University, Shymkent, Kazakhstan

\*e-mail: musrepova\_elmira@mail.ru

## A CLASS OF INVERSE PROBLEMS FOR THE HEAT EQUATION WITH INVOLUTIVE PERTURBATION

### *Abstract*

Inverse problems for the equation of deflected thermal conductivity with involution are one of the most relevant research topics in the field of mathematical physics. This study is devoted to the study of solutions of deviating equations characterizing the process of thermal conductivity, and the development of methods for solving inverse problems, taking into account their involutive properties. Such tasks are widely used in practical applications such as studies of thermal properties of materials, problems of reverse distribution, and engineering tasks for managing thermal processes. The equations of deflected thermal conductivity with involution are a general modified version of the problem of thermal conductivity, which allows us to more accurately describe various physical processes. In such equations, higher sequences of time derivatives or additional involutive terms are introduced, which complicates the model, but brings it closer to real processes. The theory of inverse problems includes important questions in the search for solutions to the equations of thermal conductivity. By determining unknown coefficients, initial or boundary conditions based on actual data, these tasks allow a deeper understanding of thermal processes. The specificity of deviating equations is due to the need to preserve the stability and uniqueness of their solutions. The purpose of this work is to study inverse problems for equations of deflected thermal conductivity with involution, and to develop analytical methods for their solution. The paper considers the issues of setting inverse problems, studying the conditions for their correct formulation, proving solvability and stability of solutions. In addition, effective methods for solving problems are proposed. The novelty of the work lies in the presentation of a new formulation of inverse problems for equations with involution and the study of their analytical solutions. These models allow us to describe specific physical phenomena, such as the thermal conductivity of complex materials or changes caused by external factors. In addition, the results of the study contribute to improving the accuracy of the model in solving many engineering and scientific problems. The results of the work make a significant contribution to the development of the theory of inverse problems, as well as to the construction of new mathematical models of thermal conductivity processes. The results of the research can be used in scientific research, engineering reports and optimization of technological processes. A class of inverse problems for the equation of deflected thermal conductivity with involution is considered using four different boundary conditions. The solutions were obtained in the form of series classification using sets orthogonal to each report. The completeness of the solutions received was also discussed.

**Keywords:** Inverse Problems, Heat Equation, Involution Perturbation, Boundary Condition, Equation.

Э. Мүсірепова<sup>1</sup>, А. Урматова<sup>1</sup>, Ш. Алтынбеков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

**КЕРІ ЕСЕПТЕР КЛАСЫ ҮШІН ИНВОЛЮЦИЯЛЫҚ АУЫТҚУЫ БАР  
ЖЫЛУ ӨТКІЗГІШТІК ТЕҢДЕУІ**

### *Аңдатпа*

Инволюциясы бар ауытқыған жылу өткізгіштік теңдеуіне арналған кері есептер математикалық физика саласындағы өзекті зерттеу тақырыптарының бірі болып табылады. Бұл зерттеу жылу өткізгіштік процесін сипаттайтын ауытқыған теңдеулердің шешімдерін зерттеуге және олардың инволюциялық қасиеттерін ескере отырып кері есептерді шешу әдістемесін дамытуға арналған. Мұндай есептер практикалық қолданбаларда кеңінен кездеседі, мысалы, материалдардың жылу қасиеттерін зерттеу, кері тарату мәселелері, және жылулық процестерді басқарудағы инженерлік есептер. Инволюциясы бар ауытқыған жылу өткізгіштік теңдеулері – жылу өткізгіштік мәселесінің жалпы түрлендірілген нұсқасы, ол әртүрлі физикалық процестерді дәлірек сипаттауға мүмкіндік

береді. Мұндай теңдеулерде уақыттық туындылардың жоғары реттілігі немесе қосымша инволютивті мүшелер енгізіледі, бұл модельді күрделендіреді, бірақ нақты процестерге жақындатады. Кері есептер теориясы жылу өткізгіштік теңдеулерінің шешімін табудағы маңызды мәселелерді қамтиды. Нақты деректер негізінде белгісіз коэффициенттерді, бастапқы немесе шеттік шарттарды анықтау арқылы бұл есептер жылулық процестерді тереңірек түсінуге мүмкіндік береді. Ауытқыған теңдеулердің ерекшелігі олардың шешімдерінің тұрақтылығы мен бірегейлігін сақтау қажеттілігінен туындайды. Бұл жұмыстың мақсаты – инволюциясы бар ауытқыған жылу өткізгіштік теңдеулері үшін кері есептерді зерттеу, оларды шешудің аналитикалық әдістерін дамыту. Жұмыста кері есептерді қою, олардың дұрыс қойылым шарттарын зерттеу, шешімдердің жалғыздығы мен орнықтылығын дәлелдеу мәселелері қарастырылады. Сонымен қатар, есептерді шешудің тиімді әдістері ұсынылады. Жұмыстың жаңалығы – инволюциясы бар теңдеулер үшін кері есептердің жаңа қойылымын ұсыну және олардың аналитикалық шешімдерін зерттеу. Бұл модельдер нақты физикалық құбылыстарды сипаттауға мүмкіндік береді, мысалы, күрделі материалдардың жылу өткізгіштігі немесе сыртқы факторлардың әсерінен болатын өзгерістер. Сонымен қатар, зерттеудің нәтижелері көптеген инженерлік және ғылыми есептерді шешу кезінде модельдің дәлдігін арттыруға ықпал етеді. Жұмыстың нәтижелері кері есептер теориясын дамытуға, сондай-ақ жылу өткізгіштік процестерінің жаңа математикалық модельдерін құруға елеулі үлес қосады. Зерттеу нәтижелері ғылыми-зерттеу жұмыстарында, инженерлік есептерде және технологиялық процестерді оңтайландыруда қолданылуы мүмкін. Инволюциясы бар ауытқыған жылу өткізгіштік теңдеуіне арналған кері есептер класы төрт түрлі шекаралық шарттарын қолдану арқылы қарастырылады. Шешімдер әрбір есепке сәйкес ортогонал болатын жиындарды қолдана отырып қатарға жіктеу түрінде алынды. Алынған шешімдердің жинақтылығы да талқыланды.

**Түйін сөздер:** кері есептер, жылуөткізгіштік теңдеуі, инволюциялық ауытқу, шеттік шарт, теңдеу.

Э. Мүсірепова<sup>1</sup>, А. Урматова<sup>1</sup>, Ш. Алтынбеков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

## УРАВНЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ С ИНВОЛЮЦИОННЫМ ВОЗМУЩЕНИЕМ ДЛЯ КЛАССА ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ

### Аннотация

Обратные задачи для отклоняющегося уравнения теплопроводности с инволюцией являются одной из актуальных тем исследований в области математической физики. Данная работа посвящена исследованию решений уравнений отклонений, описывающих процесс теплопроводности, и разработке методики решения обратных задач с учетом их инволюционных свойств. Такие проблемы распространены в практических приложениях, таких как изучение термических свойств материалов, проблемы обратного распространения ошибки и инженерные проблемы управления термическими процессами. Отклоненные уравнения теплопроводности с инволюцией представляют собой общий модифицированный вариант задачи теплопроводности, позволяющий более точно описать различные физические процессы. В такие уравнения вводятся производные по времени более высокого порядка или дополнительные инволютивные члены, что усложняет модель, но приближает ее к реальным процессам. Теория обратных задач связана с важными проблемами решения уравнений теплопроводности. Путем определения неизвестных коэффициентов, начальных или граничных условий на основе реальных данных эти задачи позволяют глубже понять тепловые процессы. Свообразие дифференциальных уравнений возникает из необходимости сохранения устойчивости и единственности их решений. Целью данной работы является исследование обратных задач для девиационных уравнений теплопроводности с инволюцией, разработка аналитических методов их решения. Работа посвящена проблемам постановки обратных задач, исследованию условий их корректной постановки, доказательству единственности и устойчивости решений. Кроме того, предлагаются эффективные методы решения проблем. Новизна работы заключается в представлении новой серии обратных задач для уравнений с инволюцией и исследовании их аналитических решений. Эти модели позволяют описывать реальные физические явления, например, теплопроводность сложных материалов или изменения, вызванные внешними факторами. Кроме того, результаты исследований способствуют повышению точности модели при решении многих инженерных и научных задач. Результаты работы вносят существенный вклад в развитие теории обратных задач, а также в создание новых математических моделей процессов теплопроводности. Результаты исследований могут быть использованы в научных исследованиях, инженерных отчетах и

оптимизации технологических процессов. Рассмотрен класс обратных задач для девиаторного уравнения теплопроводности с инволюцией с использованием четырех различных граничных условий. Решения были получены в виде ранговой классификации с использованием наборов, ортогональных каждому отчету. Обсуждалась также последовательность решений.

**Ключевые слова:** обратные задачи, уравнение теплопроводности, отклонение инволюции, граничные условия, уравнение.

### Main provisions

Equations involving an unknown function and its derivatives, taken generally at different values of the argument, are called nonlocal differential equations. Equations with an involutive shift of the argument, a special case of nonlocal differential equations [1]. The transformation  $S$  is called an involution if  $\alpha^2(t) = \alpha(\alpha(t)) = t$ . Differential equations with an involutive shift in the unknown function or its derivative are known to be model equations with a variable shift of the argument. In general, such equations can be classified as functional-differential equations. This article considers an inverse problem for the heat equation with an involution, subject to Neumann boundary conditions. Theorems on the existence and uniqueness of the solution to this problem are presented. It is known that inverse problems in mathematical physics include problems of determining coefficients or the right-hand side of a given differential equation.

### Introduction

#### Problem statement

Shall now proceed with the problem statement.

$\Omega = \{-\pi < x < \pi, 0 < t < T\}$ ,  $|\varepsilon| < 1$  located in a rectangular region

$$u_t(x, t) - u_{xx}(x, t) + \varepsilon u_{xx}(-x, t) = f(x), \quad (x, t) \in \Omega \quad (1)$$

consider the linear heat conduction equation.

#### Inverse problem with Neumann boundary conditions

The solvability problems of the following inverse problem are studied  $\Omega$  area (1) equation and

$$u(x, 0) = \varphi(x), \quad u(x, 0) = \varphi(x), \quad u(x, T) = \phi(x), \quad x \in [-\pi, \pi] \quad (2)$$

Condition and

$$u(-\pi, t) = 0, \quad u(\pi, t) = 0, \quad t \in [0, T] \quad (3)$$

Determine the functions  $u(x, t)$  and  $f(x)$  that fulfill the homogeneous Neumann boundary condition.

Here,  $\varphi(x)$  and  $\psi(x)$  are given sufficiently smooth functions.

In the systematic solution of the inverse problem, we denote the functions  $u(x, t)$  and  $f(x)$  belonging to the class as  $u(x, t) \in C_{x,t}^{2,1}(\Omega)$ ,

### Research methodology

#### Solution Method

We seek a solution to the inverse problem in the form of a series expansion using a system of orthogonal basis functions on  $L_2(-\pi, \pi)$ . To find the system of functions, we solve the corresponding

homogeneous equation with boundary conditions given by equation (1) using the method of separation of variables.

*Spectral Problem*

Using the method of separation of variables, the inverse problem is reduced to the following spectral problem:

$$X''(x) - \varepsilon X''(x) + \lambda X(x) = 0, X'(-\pi) = X'(\pi) = 0 \quad (4)$$

(4) the eigenvalue problems are self-adjoint and therefore have real eigenvalues. The corresponding eigenfunctions form an orthogonal basis on  $L_2(-\pi, \pi)$ . The eigenvalues [2]

$$\lambda_{1k} = (1 - \varepsilon)k^2, \lambda_{2k} = (1 + \varepsilon)(k + \frac{1}{2})^2 \quad (5)$$

will be the eigenvalues, and the corresponding eigenfunctions are defined as follows:

$$X_0 = 1, X_{1k} = \cos kx, k \in \mathbb{N}, X_{2k} = \sin(k + \frac{1}{2})x, k \in \mathbb{N} \quad (6)$$

(6) The function is complete and orthogonal for  $L_2(-\pi, \pi)$ .

*Existence of a solution:*

Solutions of the inverse problem  $u(x, t)$  and  $f(x)$  can be represented as series expansions using the corresponding set of eigenfunctions. Using the orthogonal system (6), functions  $u(x, t)$  and  $f(x)$  can be written as follows

$$u(x, t) = \sum_{k=0}^{\infty} u_{k1}(t) \cos kx + \sum_{k=1}^{\infty} u_{k2}(t) \sin(k + \frac{1}{2})x \quad (7)$$

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} f_{1k} \cos kx + \sum_{k=1}^{\infty} f_{2k} \sin(k + \frac{1}{2})x \quad (8)$$

Here,  $u_{1k}(t), u_{2k}(t), f_{1k}, f_{2k}$  are unknown coefficients.

Substituting functions (7) and (8) into equation (1), we obtain the following equations  $u_{1k}(t)$ ,  $u_{2k}(t)$  and constants  $f_{1k}, f_{2k}$ .

$$u'_{1k}(t) + (1 - \varepsilon)k^2 \cdot u_{1k}(t) = f_{1k} \quad (9)$$

$$u'_{2k}(t) + (1 + \varepsilon)(k + \frac{1}{2})^2 \cdot u_{2k}(t) = f_{2k} \quad (10)$$

By solving this system of equations and applying condition (2), we can determine the values of the unknown constants  $C_{1k}, C_{2k}, f_{1k}, f_{2k}$ ,

$$u_{1k}(t) = \frac{f_{1k}}{(1 - \varepsilon)k^2} + c_{1k} e^{-(1-\varepsilon)k^2 t}$$

$$u_{2k}(t) = \frac{f_{2k}}{(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2} + c_{2k} e^{-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 t}.$$

Let's say that the coefficients  $\varphi_{ik}, \psi_{ik}, i = 1, 2$  are respectively  $\varphi(x)$  and  $\psi(x)$ , is expanded into a series, namely

$$\varphi_{1k} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \varphi(x) \cos kx dx$$

$$\varphi_{2k} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \varphi(x) \sin \left( k + \frac{1}{2} \right) x dx$$

$$\psi_{1k} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \psi(x) \cos k x dx$$

$$\psi_{2k} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \psi(x) \sin \left( k + \frac{1}{2} \right) x dx$$

Then condition (2) leads to the following expressions:

$$\frac{f_{1k}}{(1 - \varepsilon)k^2} + c_{1k} = \varphi_{1k}$$

$$\frac{f_{1k}}{(1 - \varepsilon)k^2} + c_{1k} e^{-(1-\varepsilon)k^2 T} = \psi_{1k}$$

$$\frac{f_{2k}}{(1 + \varepsilon) \left( k + \frac{1}{2} \right)^2} + c_{2k} = \varphi_{2k}$$

$$\frac{f_{2k}}{(1 + \varepsilon) \left( k + \frac{1}{2} \right)^2} + c_{2k} e^{-(1+\varepsilon) \left( k + \frac{1}{2} \right)^2 T} = \psi_{2k}$$

By solving this system of algebraic equations, we obtain the following expressions:

$$c_{1k} = \frac{\varphi_{1k} - \psi_{1k}}{1 - e^{-(1-\varepsilon)k^2 T}}$$

$$f_{1k} = (1 - \varepsilon)k^2 (\varphi_{1k} - c_{1k})$$

$$c_{2k} = \frac{\varphi_{2k} - \psi_{2k}}{1 - e^{-(1+\varepsilon) \left( k + \frac{1}{2} \right)^2 T}}$$

$$f_{2k} = (1 + \varepsilon) \left( k + \frac{1}{2} \right)^2 (\varphi_{2k} - c_{2k})$$

$$f_{1k} = (1 - \varepsilon)k^2 \left( \varphi_{1k} - \frac{\varphi_{1k} - \psi_{1k}}{1 - e^{-(1-\varepsilon)k^2 T}} \right)$$

$$f_{2k} = (1 + \varepsilon) \left( k + \frac{1}{2} \right)^2 \left( \varphi_{2k} - \frac{\varphi_{2k} - \psi_{2k}}{1 - e^{-(1+\varepsilon) \left( k + \frac{1}{2} \right)^2 T}} \right)$$

From this, for the coefficients  $u_{1k}(t)$ ,  $u_{2k}(t)$ , we obtain the following equalities:

$$\begin{aligned} u_{1k}(t) &= \varphi_{1k} - \frac{\varphi_{1k} - \psi_{1k}}{1 - e^{-(1-\varepsilon)k^2 T}} + \frac{\varphi_{1k} - \psi_{1k}}{1 - e^{-(1-\varepsilon)k^2 T}} \cdot e^{-(1-\varepsilon)k^2 t} = \\ &= \varphi_{1k} - \frac{\varphi_{1k} - \psi_{1k}}{1 - e^{-(1-\varepsilon)k^2 T}} (1 - e^{-(1-\varepsilon)k^2 t}) \end{aligned}$$

$$u_{2k}(t) = \varphi_{2k} - \frac{\varphi_{2k} - \psi_{2k}}{1 - e^{-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 T}} + \frac{\varphi_{2k} - \psi_{2k}}{1 - e^{-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 T}} \cdot e^{-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 t} =$$

$$= \varphi_{2k} - \frac{\varphi_{2k} - \psi_{2k}}{1 - e^{-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 T}} \left(1 - e^{-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 t}\right)$$

Now, substituting functions  $u_{1k}(t)$ ,  $u_{2k}(t)$ ,  $f_{1k}$ ,  $f_{2k}$  into (7) and (8), we obtain a formal solution to the inverse problem.

$$u(x, t) = \sum_{k=0}^{\infty} \left[ \varphi_{1k} - \frac{\varphi_{1k} - \psi_{1k}}{1 - e^{-(1-\varepsilon)k^2 T}} (1 - e^{-(1-\varepsilon)k^2 t}) \right] \cos kx +$$

$$+ \sum_{k=1}^{\infty} \left[ \varphi_{2k} - \frac{\varphi_{2k} - \psi_{2k}}{1 - e^{-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 T}} \left(1 - e^{-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 t}\right) \right] \sin \left(k + \frac{1}{2}\right) x =$$

$$= \sum_{k=0}^{\infty} \varphi_{1k} \cos kx - \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\varphi_{1k} - \psi_{1k}}{1 - e^{-(1-\varepsilon)k^2 T}} (1 - e^{-(1-\varepsilon)k^2 t}) \cos kx +$$

$$+ \sum_{k=1}^{\infty} \varphi_{2k} \sin \left(k + \frac{1}{2}\right) x -$$

$$- \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\varphi_{2k} - \psi_{2k}}{1 - e^{-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 T}} \left(1 - e^{-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 t}\right) \sin \left(k + \frac{1}{2}\right) x =$$

$$= \varphi(x) - \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\varphi_{1k} - \psi_{1k}}{1 - e^{-(1-\varepsilon)k^2 T}} (1 - e^{-(1-\varepsilon)k^2 t}) \cos kx -$$

$$- \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\varphi_{2k} - \psi_{2k}}{1 - e^{-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 T}} \left(1 - e^{-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 t}\right) \sin \left(k + \frac{1}{2}\right) x$$

and

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \left[ (1 - \varepsilon)k^2 \left( \varphi_{1k} - \frac{\varphi_{1k} - \psi_{1k}}{1 - e^{-(1-\varepsilon)k^2 T}} \right) \right] \cos kx +$$

$$+ \sum_{k=1}^{\infty} \left[ (1 + \varepsilon) \left(k + \frac{1}{2}\right)^2 \left( \varphi_{2k} - \frac{\varphi_{2k} - \psi_{2k}}{1 - e^{-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 T}} \right) \right] \sin \left(k + \frac{1}{2}\right) x$$

From the obtained series, when  $k \rightarrow \infty$ , the expression's

$$\frac{e^{-(1-\varepsilon)k^2 t} - 1}{1 - e^{-(1-\varepsilon)k^2 T}} \sim C e^{-(1-\varepsilon)k^2(t-T)} \rightarrow \infty \text{ if } k \rightarrow \infty, t - T < 0,$$

$$\frac{(1-\varepsilon)k^2}{1 - e^{-(1-\varepsilon)k^2 T}} \rightarrow \infty \text{ if } k \rightarrow \infty, T > 0$$

both the function  $u(x,t)$  and the function  $f(x)$  have first terms that form divergent series. Therefore, it is necessary to require that the equality  $\varphi_{1k} - \psi_{1k} = 0, k = 0, 1, \dots$  holds. To ensure that these equalities hold, it is sufficient to require that the functions  $\varphi(x)$  and  $\psi(x)$  are odd. If this is the case, then...

$$\begin{aligned} \varphi_{1k} &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \varphi(x) \cos kx dx = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^0 \varphi(x) \cos kx dx + \\ &+ \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \varphi(x) \cos kx dx = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \varphi(-x) \cos kx dx + \\ &+ \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \varphi(x) \cos kx dx = 0, \quad k \geq 0 \end{aligned}$$

Indeed, if that is the case, then

$$\varphi_{1k} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \varphi(x) \cos kx dx = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^0 \varphi(x) \cos kx dx + \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \varphi(x) \cos kx dx$$

Further, after substituting  $x = -t$ , for the first integral

$$\begin{aligned} \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^0 \varphi(x) \cos kx dx &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^0 \varphi(-t) \cos k(-t) d(-t) = \\ &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \varphi(-t) \cos kt dt = -\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \varphi(x) \cos kx dx. \end{aligned}$$

There is  $\varphi_{1k} = 0$ .

Accordingly,  $\psi_{1k} = 0, k = 0, 1, \dots$  is shown.

Then, the formal solution to the problem is as follows

$$u(x,t) = \varphi(x) - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\varphi_{2k} - \psi_{2k}}{1 - e^{-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 T}} \left( 1 - e^{-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 t} \right) \sin \left( k + \frac{1}{2} \right) x$$

and

$$f(x) = \sum_{k=1}^{\infty} \left[ (1 + \varepsilon) \left( k + \frac{1}{2} \right)^2 \left( \varphi_{2k} - \frac{\varphi_{2k} - \psi_{2k}}{1 - e^{-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 T}} \right) \right] \sin \left( k + \frac{1}{2} \right) x$$

#### Convergence of a series

To establish the correctness of the obtained formal solutions, we must demonstrate the uniform convergence on the domain  $\Omega$  of the series involving the functions  $u(x,t)$  and  $f(x)$ , as well as the derivatives of  $u_{xx}(x,t)$  and  $u_t(x,t)$ . To this end, we require the following conditions:

$$\varphi^{(i)}(-\pi) = \varphi^{(i)}(\pi) = 0, \quad i = 0, 2,$$



$$\psi^{(i)}(-\pi) = \psi^{(i)}(\pi) = 0, \quad i = 0, 2.$$

Consequently,  $C_{1k}$ ,  $C_{2k}$  can be expressed as follows:

$$C_{1k} = \frac{\varphi_{2k}^{(3)} - \psi_{2k}^{(3)}}{1 - e^{-(1-\varepsilon)k^2 T} k^3}$$

$$C_{2k} = -\frac{\varphi_{1k}^{(3)} - \psi_{1k}^{(3)}}{1 - e^{-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 T} (k + \frac{1}{2})^3}$$

here,

$$\varphi_{1k}^{(3)} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \varphi'''(x) \cos\left(k + \frac{1}{2}\right) x dx$$

$$\varphi_{2k}^{(3)} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \varphi'''(x) \sin k x dx$$

$$\psi_{1k}^{(3)} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \psi'''(x) \cos\left(k + \frac{1}{2}\right) x dx$$

$$\psi_{2k}^{(3)} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \psi'''(x) \sin k x dx$$

From this, it follows that the functions  $u(x, t)$  and  $f(x)$  can be expressed as follows:

$$u(x, t) = \varphi(x) +$$

$$+ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - e^{-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 t}}{1 - e^{-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 T}} \left( \frac{\varphi_{1k}^{(3)} - \psi_{1k}^{(3)}}{(k + \frac{1}{2})^3} \right) \sin\left(k + \frac{1}{2}\right) x$$

$$- \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1 - e^{-(1-\varepsilon)k^2 t}}{1 - e^{-(1-\varepsilon)k^2 T}} \left( \frac{\varphi_{2k}^{(3)} - \psi_{2k}^{(3)}}{k^3} \right) \cos k x$$

and

$$f(x) = -\varphi''(x) + \varepsilon\varphi''(-x) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 + \varepsilon}{(k + \frac{1}{2})} \left( \frac{\varphi_{1k}^{(3)} - \psi_{1k}^{(3)}}{1 - e^{-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 T}} \right) \sin\left(k + \frac{1}{2}\right) x$$

$$- \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1 - \varepsilon}{k} \left( \frac{\varphi_{2k}^{(3)} - \psi_{2k}^{(3)}}{1 - e^{-(1-\varepsilon)k^2 T}} \right) \cos k x$$

To investigate the convergence of these series, we employ the following estimates for  $u(x, t)$  and  $f(x)$

$$|u(x, t)| \leq |\varphi(x)| +$$

$$+c \sum_{k=1}^{\infty} \frac{|\varphi_{1k}^{(3)}| + |\psi_{1k}^{(3)}|}{\left(k + \frac{1}{2}\right)^3} + c \sum_{k=0}^{\infty} \frac{|\varphi_{2k}^{(3)}| + |\psi_{2k}^{(3)}|}{k^3}$$

and

$$|f(x)| \leq |\varphi''(x)| + |\varphi''(-x)| + c \sum_{k=1}^{\infty} \left( |\varphi_{1k}^{(3)}|^2 + |\psi_{1k}^{(3)}|^2 + \frac{2}{\left(k + \frac{1}{2}\right)^2} \right) + c \sum_{k=0}^{\infty} \left( |\varphi_{2k}^{(3)}|^2 + |\psi_{2k}^{(3)}|^2 + \frac{2}{k^2} \right)$$

Here, C is some positive constant.

Here, we have used the inequality  $2ab \leq a^2 + b^2$  for estimation  $f(x)$ . For the function  $u(x, t)$  in the estimate, if the terms of the series  $\varphi_{ik}^{(3)}, \psi_{ik}^{(3)}, i = 1, 2$  are bounded, then the convergence of the series is guaranteed. This condition is satisfied if we consider  $\varphi'''(x)$  and  $\psi'''(x) \in L_2(-\pi, \pi)$ . Additionally, for trigonometric series, the following series converge according to Bessel's inequality:

$$\sum_{k=1}^{\infty} |\varphi_{ik}^{(3)}|^2 \leq C \|\varphi'''(x)\|_{L_2(-\pi, \pi)}^2, \quad i = 1, 2,$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} |\psi_{ik}^{(3)}|^2 \leq C \|\psi'''(x)\|_{L_2(-\pi, \pi)}^2, \quad i = 1, 2.$$

Consequently, according to the Weierstrass M-test, the series  $u(x, t)$  and  $f(x)$  converge absolutely and uniformly on the domain  $\Omega$ . Similarly, the series  $u(x, t)$  obtained by term-by-term differentiation of the series  $u_{xx}(x, t)$  and  $u_t(x, t)$  its derivatives can be shown to converge in a similar manner.

### Results of the study

#### Main Results

Let us formulate the main result related to problems (1)-(3).

Theorem 3.1. Let  $\varphi(x), \psi(x)$  be odd functions,  $\varphi(x), \psi(x) \in C^2[-\pi, \pi], \varphi'''(x), \psi'''(x) \in L_2(-\pi, \pi)$  and  $\varphi^{(i)}(\pm\pi) = \psi^{(i)}(\pm\pi) = 0, i = 0, 1, 2$ .

Therefore, the fact that the inverse problem (3.1)-(3.3) has a unique solution can be expressed as follows:

$$u(x, t) = \varphi(x) - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\varphi_{2k} - \psi_{2k}}{1 - e^{-(1+\varepsilon)\left(k + \frac{1}{2}\right)^2 T}} \left( 1 - e^{-(1+\varepsilon)\left(k + \frac{1}{2}\right)^2 t} \right) \sin\left(k + \frac{1}{2}\right)x$$

$$f(x) = \sum_{k=1}^{\infty} \left[ (1 + \varepsilon) \left(k + \frac{1}{2}\right)^2 \left( \varphi_{2k} - \frac{\varphi_{2k} - \psi_{2k}}{1 - e^{-(1+\varepsilon)\left(k + \frac{1}{2}\right)^2 T}} \right) \right] \sin\left(k + \frac{1}{2}\right)x$$

here

$$\varphi_{2k} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \varphi(x) \sin\left(k + \frac{1}{2}\right) x dx$$

$$\psi_{2k} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \psi(x) \sin\left(k + \frac{1}{2}\right) x dx$$

To prove the theorem, it is necessary to verify that the conditions of the problem are satisfied. Let's take the next one

$$u(x, 0) = \varphi(x) -$$

$$- \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\varphi_{2k} - \psi_{2k}}{1 - e^{-(1+\varepsilon)\left(k+\frac{1}{2}\right)^2 \cdot 0}} \left(1 - e^{-(1+\varepsilon)\left(k+\frac{1}{2}\right)^2 \cdot 0}\right) \sin\left(k + \frac{1}{2}\right) x = \varphi(x)$$

$$u(x, T) = \varphi(x) -$$

$$- \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\varphi_{2k} - \psi_{2k}}{1 - e^{-(1+\varepsilon)\left(k+\frac{1}{2}\right)^2 T}} \left(1 - e^{-(1+\varepsilon)\left(k+\frac{1}{2}\right)^2 T}\right) \sin\left(k + \frac{1}{2}\right) x =$$

$$= \varphi(x) - \sum_{k=1}^{\infty} \varphi_{2k} \sin\left(k + \frac{1}{2}\right) x + \sum_{k=1}^{\infty} \psi_{2k} \sin\left(k + \frac{1}{2}\right) x = \varphi(x) -$$

$$- \varphi(x) + \sum_{k=1}^{\infty} \psi_{2k} \sin\left(k + \frac{1}{2}\right) x = \psi(x)$$

Therefore, the initial and final conditions of the redefinition are satisfied.

### Conclusion

Moreover, according to the theorem's condition,  $\varphi(\pi) = \varphi(-\pi) = 0$ , therefore,

$$u(\pi, t) = \varphi(x) -$$

$$- \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\varphi_{2k} - \psi_{2k}}{1 - e^{-(1+\varepsilon)\left(k+\frac{1}{2}\right)^2 t}} \left(1 - e^{-(1+\varepsilon)\left(k+\frac{1}{2}\right)^2 t}\right) \sin\left(k + \frac{1}{2}\right) x \Bigg|_{x=\pi} =$$

$$= \varphi(\pi) = 0$$

$$u(-\pi, t) = \varphi(x) -$$

$$- \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\varphi_{2k} - \psi_{2k}}{1 - e^{-(1+\varepsilon)\left(k+\frac{1}{2}\right)^2 t}} \left(1 - e^{-(1+\varepsilon)\left(k+\frac{1}{2}\right)^2 t}\right) \sin\left(k + \frac{1}{2}\right) x \Bigg|_{x=-\pi} =$$

$$= \varphi(-\pi) = 0$$

that is, the boundary condition is also satisfied.

The theorem has been proven.

References

- [1] Наймарк М. А. *Линейные дифференциальные операторы*. – Физматлит, 2010.
- [2] Коддингтон Э. А., Левинсон Н. *Теория обыкновенных дифференциальных уравнений*. – 1958.
- [3] Титчмарш Э. Ч. *Разложения по собственным функциям*. – 1960.
- [4] Suzuki T. *Fixed point theorems and convergence theorems for some generalized nonexpansive mappings* // *Journal of mathematical analysis and applications*. – 2008. – Т. 340. – №. 2. – С. 1088-1095.
- [5] Cabada Fernández A., Fernández Tojo F. A. *Solutions and Green's function of the first order linear equation with reflection and initial conditions*. – 2014.
- [6] Сарсенби А. М. *Безусловные базисы, связанные с неклассическим дифференциальным оператором второго порядка* // *Дифференциальные уравнения*. – 2010. – Т. 46. – №. 4. – С. 506-511.
- [7] Kopzhassarova A., Sarsenbi A. *Basis properties of eigenfunctions of second-order differential operators with involution* // *Abstract and Applied Analysis*. – Hindawi Limited, 2012. – Т. 2012.
- [8] Садыбеков М. А., Сарсенби А. М. *Критерий базисности системы собственных функций оператора кратного дифференцирования с инволюцией* // *Дифференциальные уравнения*. – 2012. – Т. 48. – №. 8. – С. 1126-1126.

References

- [1] Naimark, M. A. (2010). *Lineinye differentsial'nye operatory [Linear Differential Operators]*. Fizmatlit. (In Russian)
- [2] Coddington, E. A., & Levinson, N. (1958). *Teoriya obyknovennykh differentsial'nykh uravnenii [Theory of Ordinary Differential Equations]*. (In Russian)
- [3] Titchmarsh, E. C. (1960). *Razlozheniya po sobstvennym funktsiyam [Eigenfunction Expansions]*. (In Russian)
- [4] Suzuki, T. (2008). *Fixed point theorems and convergence theorems for some generalized nonexpansive mappings*. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 340(2), 1088-1095.
- [5] Cabada Fernández, A., & Fernández Tojo, F. A. (2014). *Solutions and Green's function of the first order linear equation with reflection and initial conditions*.
- [6] Sarsenbi, A. M. (2010). *Bezuslovnye bazy, svyazannye s neklassicheskim differentsial'nyim operatorom vtorogo poryadka [Unconditional Bases Related to a Nonclassical Second-Order Differential Operator]*. *Differentsial'nye Uravneniya*, 46(4), 506-511. (In Russian)
- [7] Kopzhassarova, A., & Sarsenbi, A. (2012). *Basis properties of eigenfunctions of second-order differential operators with involution*. *Abstract and Applied Analysis*, 2012. Hindawi Limited.
- [8] Sadybekov, M. A., & Sarsenbi, A. M. (2012). *Kriterii basisnosti sistemy sobstvennykh funktsii operatora kratnogo differentsirovaniya s involyutsiei [Criterion for the Basis Property of the System of Eigenfunctions of the Multiple Differentiation Operator with Involution]*. *Differentsial'nye Uravneniya*, 48(8), 1126-1126. (In Russian)

Л.М. Туkenова<sup>1\*</sup> , О.А. Ауелбеков<sup>2</sup> , Б.К. Абдураимова<sup>3</sup> ,  
С.З. Сапакова<sup>4</sup> , А.А. Саметова<sup>5,6</sup> 

<sup>1</sup>Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>3</sup>Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

<sup>4</sup>Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>5</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>6</sup>Ғ.Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан

\*e-mail: l.tukenova@aues.kz

## СҰЙЫҚТЫҚ АҒЫНЫН ЕСЕПТЕУДЕ САНДЫҚ ӘДІСТЕР МЕН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІ ҚОЛДАНУ

### Аңдатпа

Бұл зерттеу бастапқы және шеткі шарттары көрсетілген тікбұрышты аймақтағы сығылмайтын сұйықтық ағынын модельдеу міндеттеріндегі соңғы айырмашылықтардың сандық әдісін жақсарту үшін жасанды интеллектті қолдануға арналған. Сандық әдістер гидродинамика мәселелерін шешу үшін кеңінен қолданылады, бірақ мұндай әдістердің дәлдігі мен тиімділігін машиналық оқыту және нейрондық желілер сияқты жасанды интеллект әдістерін қолдану арқылы жақсартуға болады. Бұл зерттеу тікбұрышты аймақтағы сұйықтық ағынын дәлірек және тиімді модельдеу үшін жасанды интеллект әдістерімен соңғы айырмашылықтардың комбинациясын ұсынады. Нәтижелер жасанды интеллект арқылы жетілдірілген сандық әдістер сұйықтық ағынының әрекетін жылдамырақ және дәлірек модельдеуді қамтамасыз ете отырып, күрделі гидродинамикалық есептерді шешудің тиімділігі мен сенімділігін арттыратынын көрсетеді. Зерттеу жасанды интеллекттің классикалық сандық әдістерді жетілдірудегі әлеуетін көрсетеді, бұл тіпті есептеу ресурстары шектеулі болса да, сұйықтық ағынының дәлірек үлгілерін жасауға мүмкіндік береді. Бұл жұмыстың жаңалығы машиналық оқытудың дәстүрлі әдістерден асып түсетін адаптивті тәсіл болып табылатын соңғы айырмашылық әдісімен нақты интеграциясында жатыр. Бұл интеграция күрделі гидродинамикалық сценарийлермен жұмыс істеудің жаңа мүмкіндіктерін ашады. Зерттеу нәтижелері әртүрлі инженерлік қосымшалардағы сұйықтық ағындарын модельдеудің дәлірек және тиімді әдістерін жасау үшін пайдалы.

**Түйін сөздер:** сұйықтық ағыны, сұйықтық ағынын модельдеу, сандық әдістер, жасанды интеллект, сығылмайтын сұйықтық ағыны, соңғы айырмашылық.

Л.М. Туkenова<sup>1</sup>, О.А. Ауелбеков<sup>2</sup>, Б.К. Абдураимова<sup>3</sup>,  
С.З. Сапакова<sup>4</sup>, А.А. Саметова<sup>5,6</sup>

<sup>1</sup>Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан

<sup>4</sup>Международный университет информационных технологий, г. Алматы, Казахстан

<sup>5</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>6</sup>Алматинский университет энергетика и коммуникаций им. Г. Даукеева, Алматы, Казахстан

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РАСЧЕТАХ ПОТОКОВ ЖИДКОСТИ

### Аннотация

Данное исследование посвящено применению искусственного интеллекта для совершенствования численного метода конечных разностей в моделировании несжимаемого потока жидкости в прямоугольной области с определенными начальными и краевыми условиями. Численные методы широко применяются в гидродинамике, однако точность и эффективность таких методов могут быть улучшены за счет использования методов искусственного интеллекта, таких как машинное обучение и

глубокие нейронные сети. В данном исследовании предлагается совмещение конечных разностей с методами искусственного интеллекта для более точного и эффективного моделирования потока жидкости в прямоугольной области. Результаты показывают, что численные методы, дополненные искусственным интеллектом, повышают эффективность и надежность решения сложных гидродинамических задач, обеспечивая более быстрое и точное моделирование поведения потока жидкости. Исследование демонстрирует потенциал искусственного интеллекта для улучшения классических численных методов, позволяя создавать более точные модели потока жидкости даже при ограниченных вычислительных ресурсах. Новизна этой работы заключается в точной интеграции машинного обучения с методом конечных разностей, который представляет собой адаптивный подход, превосходящий традиционные методы. Такая интеграция открывает новые возможности для работы со сложными гидродинамическими сценариями. Полученные результаты могут быть полезны для разработки более точных и эффективных методов моделирования потоков жидкости в различных инженерных приложениях.

**Ключевые слова:** поток жидкости, моделирование потока жидкости, численные методы, искусственный интеллект, поток несжимаемой жидкости, конечная разность.

L. Tukenova<sup>1</sup>, O. Auelbekov<sup>2</sup>, B. Abduraimova<sup>3</sup>, S. Sapakova<sup>4</sup>, A. Sametova<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup> Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup> L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

<sup>4</sup> International University of Information Technologies, Almaty, Kazakhstan

<sup>5</sup> al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<sup>6</sup>G. Daukeev Almaty University of Energy and Communications, Almaty, Kazakhstan

## USE OF NUMERICAL METHODS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN FLUID FLOW CALCULATIONS

### *Abstract*

This research focuses on leveraging artificial intelligence to augment the finite difference numerical method for modeling incompressible fluid flow in a defined rectangular area with specified initial and boundary conditions. While numerical methods are extensively utilized in addressing hydrodynamics challenges, their precision and effectiveness can be heightened through the incorporation of artificial intelligence methodologies like machine learning and deep neural networks. This study introduces a fusion of finite differences with artificial intelligence techniques to achieve enhanced precision and efficiency in fluid flow modeling within a rectangular domain. The results show that numerical methods enhanced by artificial intelligence can improve the efficiency and reliability of solving complex hydrodynamic problems, providing faster and more accurate modeling of fluid flow behavior. The study demonstrates the potential of artificial intelligence to improve classical numerical methods, allowing for more accurate fluid flow models, even with limited computational resources. The novelty of this work lies in the specific integration of machine learning with the finite difference method, an adaptive approach that outperforms traditional methods. This integration opens up new possibilities for working with complex hydrodynamic scenarios. The outcomes of this investigation offer valuable insights for refining fluid flow modeling methodologies in diverse engineering contexts.

**Keywords:** fluid flow, fluid flow modeling, numerical methods, artificial intelligence, incompressible fluid flow, finite difference.

### **Негізгі ережелер**

Сандық әдістер әртүрлі физикалық процестерді, соның ішінде сұйықтық ағындарын модельдеу үшін кеңінен қолданылады. Алайда, сығылмайтын сұйықтық ағынының күрделі мәселелерін дәл шешу үшін әртүрлі жағдайларды ескере алатын тиімді әдістер қажет. Соңғы жылдары жасанды интеллект ғылым мен техниканың әртүрлі салаларында, соның ішінде гидродинамикада белсенді қолданыла бастады. Сығылмайтын сұйықтық ағынын модельдеудің сандық әдістерін зерттеу гидродинамика және компьютерлік модельдеу саласындағы өзекті мәселе болып табылады. Кеңінен қолданылатын әдістердің бірі-тордағы сұйықтық ағынын сипаттайтын дифференциалдық теңдеулерді жуықтауға мүмкіндік беретін

соңғы айырмашылық әдісі. Бұл зерттеуде біз соңғы айырмашылықтардың сандық әдісін жақсарту үшін жасанды интеллектті қолдануды қарастырамыз.

### **Кіріспе**

Машиналық оқыту және терең нейрондық желілер сияқты жасанды интеллект әдістерін қолдану сандық әдістің дәлдігі мен тиімділігін жақсартуға мүмкіндік береді, әсіресе сұйықтықтың күрделі ағындарын модельдеу кезінде. Бұл зерттеудің мақсаты берілген бастапқы және шеткі жағдайлары бар тікбұрышты аймақтағы сығылмайтын сұйықтық ағынының есептерін шешу үшін соңғы айырмашылықтардың сандық әдісін жақсарту болып табылады. Жасанды интеллектті қолдану сұйықтық ағынына тән күрделі физикалық процестерді ескере отырып, сандық әдістің дәлдігі мен тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Зерттеуде бастапқы және шеткі шарттары көрсетілген тікбұрышты аймақтағы сығылмайтын сұйықтық ағынының есептерін шешу үшін жасанды интеллектті қолдана отырып, соңғы айырмашылықтардың сандық әдісіне талдау жасалады. Біз модельдеу процесін оңтайландыруға және нәтижелердің дәлдігін арттыруға назар аударамыз.

Бұл зерттеу машиналық оқыту және терең нейрондық желілер сияқты жасанды интеллект әдістерімен соңғы айырмашылық әдісінің комбинациясын ұсынады. Бұл тәсіл сығылмайтын сұйықтық ағынының тендеулерін жуықтауды жақсартады және сандық әдістің дәлдігін арттырады [1]. Осы зерттеудің нәтижелері инженерлік және ғылыми қосымшалардың кең ауқымы үшін маңызды болып табылатын сұйықтық ағындарын модельдеудің дәлірек және тиімді әдістерін жасау үшін пайдалы болуы мүмкін.

### **Зерттеу әдіснамасы**

Бастапқы және шеткі жағдайлары бар тікбұрышты аймақтағы сығылмайтын сұйықтық ағынының есептерін шешу үшін жасанды интеллектті қолдана отырып, соңғы айырмашылықтардың сандық әдісін зерттеу үшін келесі әдістер қолданылады.

- *Соңғы айырмашылық әдісі (МКР)*. Кеңістік пен уақыттағы Навье-Стокс тендеулерін іріктеу үшін стандартты соңғы айырмашылық әдісін енгізу. Бұл әдіс туындыларды жуықтауды және оларды дискретті торда шешуді қамтиды. Бұл бағдарламада екінші ретті кеңістіктік туындылар үшін орталық айырмашылық схемалары және уақытша туынды үшін айқын схема қолданылды. Жылдамдықтардың шекаралық шарттары синусоидалы функциялармен, ал бастапқы шарттар косинусоидалы функциялармен белгіленді.

- *Жасанды интеллект (AI)*. Сандық әдісті жақсарту үшін нейрондық желілер немесе генетикалық Алгоритмдер сияқты Машиналық оқыту әдістерін қолдану. Мысалы, нейрондық желіні алдыңғы мәндер мен шеткі жағдайларға негізделген келесі уақыт қадамында жылдамдық пен қысым мәндерін болжауға үйретуге болады [2].

- *Тереңдеп оқыту*. Сұйықтық ағынының деректерін талдау және ағындағы күрделі заңдылықтар мен қатынастарды ескеретін модельдер құру үшін терең оқытуды қолдану [3].

- *Оңтайландыру алгоритмдері*. Шешімнің дәлдігі немесе конвергенция жылдамдығы сияқты берілген мақсатты функцияларға негізделген сандық әдіс параметрлерін реттеу үшін оңтайландыру алгоритмдерін пайдалану [4].

- *Нәтижелерді талдау*. Үлгілерді анықтау, параметрлерді оңтайландыру және модель сапасын жақсарту үшін жасанды интеллектті қолдана отырып, сандық модельдеу нәтижелеріне талдау жүргізу.

- *Басқа әдістермен салыстыру*. Шешімнің тиімділігі мен дәлдігін бағалау үшін сығылмайтын сұйықтық ағындарын модельдеудің басқа әдістерімен жасанды интеллектті қолдана отырып, сандық әдіске салыстырмалы талдау жүргізу.

- *Нәтижелерді визуализациялау*. Тікбұрышты аймақтағы сұйықтық ағынының динамикасын көрнекі түрде көрсету үшін алынған модельдеу нәтижелерін визуализациялау әдістерін әзірлеу.

- *Өнімділікті оңтайландыру.* Шешімнің жоғары дәлдігін сақтай отырып, есептеу өнімділігін арттыру үшін жасанды интеллект көмегімен сандық әдісті оңтайландыру әдістерін зерттеу [5].

*Материалдар.* Бағдарламада келесі кітапханалар қолданылды:

- массивтермен жұмыс істеу және есептеу үшін «numpy»;
- нәтижелерді график түрінде көрсету үшін «matplotlib»;
- «ipywidgets» және «IPython.интерактивті пайдаланушы интерфейсі» жасау үшін «display».

Тікбұрышты аймақтағы сығылмайтын сұйықтықтың екі өлшемді ағыны қарастырылады. Ағынды сипаттау үшін Навье-Стокс теңдеулері қолданылады. Жылдамдық пен қысым компонентінің бастапқы шарттары, сондай-ақ жылдамдықтың шеткі шарттары белгілі. Мақсат-соңғы айырмашылық әдісін қолдана отырып, Навье-Стокс теңдеулерін сандық түрде шешу және нәтижелерді үш өлшемді графиктермен визуализациялау [6].

### Зерттеу нәтижелері

Тұтқыр, сығылмайтын сұйықтықтың қозғалысы туралы есеп Навье-Стокс теңдеулерінің ішінара дифференциалдық жүйесімен сипатталады. Екі өлшемді жағдайда ол келесідей болады. Үздіксіздік теңдеуі:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

Қозғалыс теңдеулері:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)$$

Күй теңдеуі (Пуассон теңдеуі):

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = -\rho \left( \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial x} + 2 \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (2)$$

мұндағы  $u$  және  $v$ -сәйкесінше  $X$  және  $y$  осьтеріндегі жылдамдық компоненттері,  $p$ -қысым,  $\nu$ -сұйықтықтың тығыздығы,  $\nu$  -кинематикалық тұтқырлық [7].

Бастапқы және шеткі шарттар тапсырма шарттарына сәйкес берілуі мүмкін. Бағдарлама соңғы айырмашылықтар әдісін қолдана отырып, екі өлшемді аймақта тұтқыр сығылмайтын сұйықтықтың қозғалысы үшін Навье-Стокс теңдеулерін шешеді. Бастапқы және шеткі шарттар келесідей берілген.

1. Бастапқы шарттар:

- $U$  жылдамдығының компоненті келесідей берілген

$$u(0, x, y) = \cos(\pi x/L) * \sin(\pi x/L)$$

- Жылдамдықтың  $v$  компоненті келесідей берілген  $v(0, x, y) = -\sin(\pi x/L) * \cos(\pi x/L)$ .

- Қысым  $p$  бастапқы нөлге тең  $p(0, x, y) = 0$

Мұндағы  $u$  және  $v$ -  $x$  және  $y$  осьтері бойынша жылдамдық компоненттері, сәйкесінше,  $p$  - қысым,  $t$ -уақыт,  $x$  және  $y$  - кеңістіктік координаттар,  $L$  -аймақ өлшемі,  $\nu$  -бағдарламадағы  $\nu$  параметрімен берілген кинематикалық тұтқырлық,  $N_x$ ,  $N_y$  және  $N_t$  -  $X$ ,  $y$  бойынша түйіндер саны және уақыт, сәйкесінше,  $dx$ ,  $dy$  және  $dt$  - сәйкесінше  $X$ ,  $y$  және уақыт қадамдары.

2. Жылдамдықтардың шеткі шарттары:



- Квадраттың барлық жағында синусоидалы функциялар түрінде шекаралық шарттар берілген.

$$\begin{aligned}u(t, 0, y) &= \sin(\pi y) \\u(t, L, y) &= \sin(\pi y) \\u(t, x, 0) &= \sin(\pi x) \\u(t, x, L) &= \sin(\pi x) \\v(t, 0, y) &= \sin(\pi y) \\v(t, L, y) &= \sin(\pi y) \\v(t, x, 0) &= \sin(\pi x) \\v(t, x, L) &= \sin(\pi x)\end{aligned}$$

3. Сандық шешім:

-Навье-Стокс теңдеулерін шешу әр уақыт қадамы үшін квадрат ішінде жүзеге асырылады.

4. Визуализация:

- Нәтижелер үш өлшемді график түрінде көрсетіледі, мұнда X және Y осі кеңістіктік айнымалыларға, ал Z осі u жылдамдығына сәйкес келеді.

- Интерактивті интерфейс арқылы графиктің көру бұрыштарын өзгертуге болады.

Тұтастай алғанда, Бағдарлама Навье-Стокс теңдеулерін қолдана отырып, сұйықтық ағынының негізгі модельдеуін көрсетеді және модельдеу нәтижелерін визуализациялау және талдау үшін интерактивті басқаруды ұсынады.

Бағдарламаның негізгі қадамдары:

1. *Инициализация.* Тор өлшемі, уақыт қадамдарының саны, сұйықтықтың тұтқырлығы және жылдамдық пен қысым өрісінің бастапқы шарттары сияқты модельдеу параметрлері орнатылады.

2. *Сандық шешім.* Навье-Стокс теңдеулерін жуықтау үшін соңғы айырмашылық әдісін қолдана отырып, сұйықтық жылдамдығы өрісінің уақыт бойынша эволюциясы есептеледі.

3. *Анимация.* «Matplotlib» кітапханасы арқылы анимация жасалады.әр уақыт қадамында жылдамдық өрістерін көрсететін «animation».

4. *Интерактивті басқару.* Ойнату және анимацияны кідірту түймелері, сондай-ақ белгілі бір уақыт қадамын таңдау үшін жүгірткі қосылады.

Бұл бағдарлама Навье-Стокс теңдеулерін шешудің сандық әдісін қолдана отырып, сұйықтықтың қозғалысын екі өлшемде модельдейді. Бағдарлама сұйықтықтың жылдамдық өрісінің уақыт бойынша эволюциясын бейнелейді және ойнату және кідірту түймелері мен уақыт қадамын таңдауға арналған жүгірткі арқылы анимацияны интерактивті басқаруды қамтамасыз етеді [8], [9].

Екінші ретті кеңістіктік туындыларды жуықтау үшін орталық айырмашылық схемаларын қолдану жуықтаудың жеткілікті жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді. Алайда, уақытша туынды үшін нақты схеманы қолдану уақыт бойынша қадамды шектейтін тұрақтылық шартын орындауды талап етеді. Тұрақтылықты қамтамасыз ету үшін уақыт өте аз қадам тандалды, бұл жоғары есептеу шығындарына әкелуі мүмкін [10].

Навье-Стокс теңдеулерін соңғы айырмашылық әдісімен шешу үшін біз келесі схеманы қолдана аламыз:

1. *Кеңістіктік туындыларды іріктеу:*

- x және y туындылары дәлдіктің екінші ретті орталық айырмашылықтарымен жуықталады.

- Мысалы, u функциясы үшін x туындысын келесідей жуықтауға болады:

$$\frac{\partial u}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j} - u_{i-1,j}}{2\Delta x}$$

2. *Уақытша туындыны іріктеу:*

- Уақыт туындысы екінші ретті орталық айырмашылықпен де жуықталады.

- Мысалы,  $\nabla(u)$  функциясының уақыт туындысын келесідей жуықтауға болады:

$$\frac{\partial u}{\partial t} \approx \frac{u_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^{n-1}}{2\Delta t}$$

3. Тұтқыр мүшелерді іріктеу:

- Тұтқырлығы  $u$  бар терминдер екінші ретті айырмашылықтарды қолдана отырып жуықталады.

- Мысалы,  $v \frac{d^2 u}{dx^2}$  мүшесін келесідей жуықтауға болады:

$$v \frac{d^2 u}{dx^2} \approx v \frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{\Delta x^2}$$

4. Сызықтық емес мүшелерді іріктеу:

-  $u \frac{du}{dx}$  және  $v \frac{du}{dy}$  сызықты емес мүшелері ағымдағы уақыт қабатындағы жылдамдық мәндерін қолдана отырып жуықталады.

- Мысалы,  $u \frac{du}{dx}$  мүшесін келесідей жуықтауға болады:

$$u \frac{du}{dx} \approx u_{i,j} \frac{u_{i+1,j} - u_{i-1,j}}{2\Delta x}$$

5. Қысымды іріктеу:

- Қысым Пуассон теңдеуі арқылы жылдамдықтың дивергенциясымен байланысты.

- Жылдамдық пен қысым дивергенциясын жуықтау айырмашылық схемасын қолдану арқылы жүзеге асырылуы мүмкін.

6. Жуықтау:

Навье-Стокс теңдеулеріндегі дифференциалдық операторларды жуықтау үшін екінші ретті соңғы айырмашылықтардың айқын әдісі қолданылды. Теңдеулердегі операторлардың жуықтауын қарастырыңыз:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} + (u \nabla)u &= \frac{1}{\rho} \nabla p + v \nabla^2 u \\ \nabla u &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

мұндағы  $u$ -жылдамдық векторы,  $p$ -қысым,  $\rho$ -тығыздық,  $(\nabla)$  - кинематикалық тұтқырлық.

Уақытша туынды және кеңістіктік координаттар бойынша туындылар үшін екінші ретті орталық айырмашылық схемасы қолданылады:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &\approx \frac{u_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^n}{\Delta t} \\ \frac{\partial u}{\partial x} &\approx \frac{u_{i+1,j}^n - u_{i-1,j}^n}{2\Delta x} \\ \frac{d^2 u}{dx^2} &\approx \frac{u_{i+1,j}^n - 2u_{i,j}^n + u_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} \end{aligned}$$

$(u \nabla)u$  өрнегі үшін келесі жуықтау қолданылады:

$$(u \nabla)u \approx (u \nabla_x)u \approx \frac{u_{i+1,j}^n - u_{i-1,j}^n}{2\Delta x} * \frac{u_{i,j+1}^n - u_{i,j-1}^n}{2\Delta y}$$

Қысым градиентінің жуықтауы орталық айырмашылық арқылы жасалады:

$$\nabla p \approx \frac{p_{i+1,j}^n - p_{i-1,j}^n}{2\Delta x}, \frac{p_{i,j+1}^n - p_{i,j-1}^n}{2\Delta y} \quad (4)$$

$v \nabla^2 u$  тұтқыр мүшесі үшін екінші туынды жуықтау қолданылады:

$$v \nabla^2 u \approx \left( \frac{u_{i+1,j}^n - 2u_{i,j}^n + u_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} + \frac{u_{i,j+1}^n - 2u_{i,j}^n + u_{i,j-1}^n}{\Delta y^2} \right)$$

Осылайша, көрсетілген жуықтауларды қолдана отырып, Навье-Стокс теңдеулерін дәлдіктің екінші ретті айырымдық схемаларымен жуықтауға болады.

Априорлық бағалау:

Навье-Стокс теңдеулерін шешуде соңғы айырымдық схема әдісінің дәлдігін бағалау үшін априорлық қателерді бағалауды қолданамыз. Ол үшін Навье-Стокс теңдеулерінің бірін бір өлшемде жуықтауды қарастырайық:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

Дәлдіктің екі өлшемді кеңістігі бойынша екінші туындының жуықтауы келесідей:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{u(x+h) - 2u(x) + u(x-h)}{h^2} + O(h^2) \quad (5)$$

мұндағы  $h$ -кеңістіктегі кадам. Содан кейін осы жуықтау үшін қатені априорлық бағалау келесідей болады:

$$|e| = |u_{exact} - u_{approx}| \leq Ch^2$$

мұндағы  $C$ -шешімнің қасиеттеріне тәуелді тұрақты. Осылайша, жуықтау қатесі кадамнан квадрат ретінде  $h$  кадамының төмендеуімен азаяды [11]. Соңғы элементтер әдісі үшін соңғы элементтер әдісінің жуықтауын және берілген жуықтау үшін сәйкес априорлық қателерді бағалауды қолдана отырып, ұқсас пайымдаулар жасауға болады. Осылайша, априорлық бағалау сандық әдістің дәлдігін алдын-ала бағалауға және шешімнің қажетті дәлдігіне қол жеткізу үшін онтайлы тор параметрлерін таңдауға мүмкіндік береді.

Орнықтылық шарты: Навье-Стокс теңдеулерін шешуде сандық әдістің тұрақтылығын бағалау үшін курант-Фридрихс-Леви (CFL) шартын қолдануға болады. Берілген бағдарламада қолданылатын соңғы айырмашылықтардың айқын схемасы үшін бұл шарт келесідей болады:

$$\frac{\nu \Delta t}{(\Delta x)^2} + \frac{\nu \Delta t}{(\Delta y)^2} \leq \frac{1}{2}$$

мұндағы  $\nu$  -кинематикалық тұтқырлық, времени  $\Delta t$  -уақыт кадамы,  $\Delta x$  және  $\Delta y$  - кеңістік кадамдары. Бұл шарт келесі уақыт кадамындағы қатенің экспоненциалды түрде өспеуін және әдіс тұрақты болуын қамтамасыз етеді. Егер шарт орындалмаса, онда әдіс тұрақсыз болуы мүмкін және есептеу нәтижелері дұрыс болмауы мүмкін. Соңғы элементтер әдісі үшін есептің нақты тұжырымына және сандық шешім әдісіне байланысты тұрақтылық шарттары да бар. Навье-Стокс теңдеулерін соңғы элементтер әдісімен жуықтау үшін сандық тұрақсыздықты болдырмау үшін тұрақтылық шарттарын сақтау маңызды. Осылайша, сандық әдістің тұрақтылығы Навье-Стокс теңдеулерін шешуде дұрыс нәтижелерге қол жеткізу үшін маңызды және есептеу параметрлерін таңдау кезінде тұрақтылық шарттарын ескеру қажет.

Бағдарламаны орындау нәтижесінде берілген уақыт нүктелеріндегі барлық тор нүктелері үшін  $u$  және  $v$  жылдамдық мәндері алынады. Нәтижелерді визуализациялау аймақтағы жылдамдықтың таралуын көрнекі түрде көрсетуге және ағын динамикасын зерттеуге мүмкіндік береді.

*Навье-Стокс теңдеулері және оларды шешудің сандық әдістері.*

Соңғы айырмашылықтар әдісін қолдана отырып, екі өлшемді Навье-Стокс теңдеуін сандық шешуге арналған бағдарлама жасалды. Тұтқыр сығылмайтын сұйықтықтың қозғалысын сипаттайтын Навье-Стокс теңдеулері ғылыми және инженерлік мәселелердің кең ауқымында қолданылады. Бағдарламаның негізінде сандық шешімді жүзеге асырудың қарапайымдылығы мен тиімділігінің арқасында таңдалған соңғы айырмашылық схемалары әдісі жатыр. Бұл әдіс дифференциалдық теңдеулерді тордағы айырмашылық өрнектерімен жуықтайды және оларды итерациялық алгоритмдермен шешуге мүмкіндік береді. Кеңістіктік туындылар екінші ретті орталық айырмашылық схемаларымен, ал уақыт туындылары бірінші ретті айырмашылықтармен жуықталады. Модель дәл және тұрақты сандық шешімді қамтамасыз ететін тікбұрышты торда жүзеге асырылады [12].

Бастапқы және шекаралық шарттар аналитикалық түрде берілген, бұл жүйенің тұрақты күйге біркелкі өтуіне ықпал етеді. Нәтижелерді визуализациялау үшін уақыт пен кеңістіктегі сұйықтық жылдамдығының таралуын көрнекі түрде көрсетуге мүмкіндік беретін matplotlib кітапханасы қолданылады. Үш өлшемді графиктер ағынның сипаттамаларын, соның ішінде пішінін, құйындыларын және турбуленттілік аймақтарын көрсетеді [13].

Алынған деректерді талдау сандық шешімдердің берілген шарттар үшін аналитикалық нәтижелерге сәйкестігінің жоғары дәрежесін көрсетті, бұл соңғы айырмашылықтар әдісін қолданудың дұрыстығын растайды. Өзірленген бағдарламаны сұйықтық динамикасына қатысты гидродинамикалық процестерді және басқа ғылыми тапсырмаларды зерттеу үшін пайдалануға болады.

Негізгі нәтижелер:

- Бағдарлама екі өлшемді Навье-Стокс теңдеуін сәтті шешеді.
- Нәтижелер әртүрлі бастапқы және шекаралық шарттар үшін сандық әдістің дәлдігін растайды.
- Іске асыру гидродинамика және сабақтас пәндер саласындағы одан әрі зерттеулер үшін қолданылуы мүмкін [14].

Бағдарламаны әзірлеу үшін Навье-Стокс теңдеулерін қамтитын есептің математикалық моделін келесі түрде рәсімдеу жүргізілді:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \nabla)u = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 u \quad (6)$$

$$\nabla \cdot u = 0$$

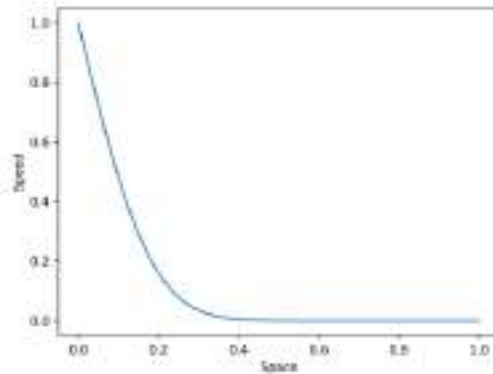
мұндағы  $u$ -жылдамдық векторы,  $p$ -қысым,  $\nu$ -тығыздық,  $\nabla \cdot u$  - кинематикалық тұтқырлық.

Теңдеулерді сандық шешу үшін соңғы айырмашылықтар әдісі қолданылды. Кеңістіктік аймақ торапқа бөлінеді, оның түйіндерінде жылдамдық пен қысым мәндері есептеледі [15]. Дифференциалдық операторлар соңғы айырмашылықтармен жуықталады, нәтижесінде қайталанатын әдістермен шешілетін теңдеулер жүйесі пайда болады. Нәтижелер уақыт пен кеңістіктегі сұйықтық жылдамдығының таралуын көрсететін үш өлшемді график түрінде көрінеді. Бұл тәсіл ағынның динамикасын көрнекі түрде көрсетуге және оның сипаттамаларына, соның ішінде ағын құрылымының өзгеруіне және пайда болатын гидродинамикалық ерекшеліктерге талдау жасауға мүмкіндік береді. Өзірленген бағдарлама сұйықтық ағындарын сандық талдаудың тиімді құралы болып табылады және оны гидродинамикалық процестердің кең ауқымын модельдеу үшін қолдануға болады.

**Дискуссия**

Сұйықтықтың қозғалысын сипаттайтын теңдеулерді шешу олардың сызықтық теңсіздігіне байланысты тривиальды емес мәселе болып табылады. Навье-Стокс теңдеулерін шешуге және нәтижелерді визуализациялауға арналған бағдарлама жасау үшін сізге соңғы айырмашылықтар әдісі немесе соңғы элементтер әдісі сияқты сандық әдістерді қолдану қажет

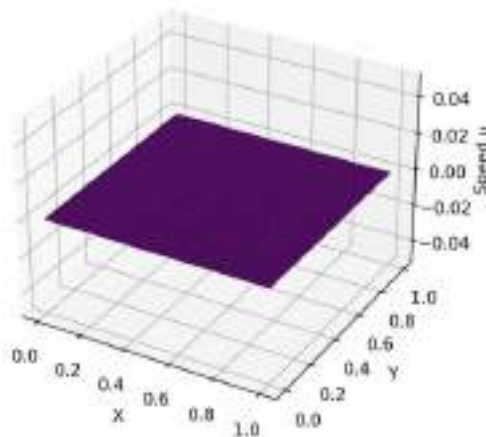
болады. Алайда, қарапайымдылық үшін біз Навье-Стокс теңдеуін бір өлшемде (бір өлшемді сұйықтық ағыны) соңғы айырымдық схема әдісін қолдана отырып шешуге арналған бағдарлама жасай аламыз (Сурет 1).



Сурет 1. Бір өлшемді құбырдағы сұйықтықтың қозғалысы

Бағдарлама бір өлшемді құбырдағы сұйықтықтың қозғалысын тұрақты тұтқырлықпен және кіріс кезінде тұрақты жылдамдықпен модельдейді. Нәтижелер кеңістікке байланысты жылдамдық графигі арқылы көрсетіледі. Неғұрлым күрделі жағдайлар мен екі өлшемді немесе үш өлшемді сұйықтық ағындары үшін неғұрлым күрделі қайталанатын сандық әдіс қажет.

Бастапқы және шекаралық шарттармен екі өлшемді Навье-Стокс теңдеуін шешу үшін біз соңғы айырымдық сземалар әдісін қолдана аламыз. Төмендегі 2-суретте соңғы айырымдық әдісін қолдана отырып, шаршы аймақтағы екі өлшемді сұйықтық ағыны үшін Навье-Стокс бастапқы шартты теңдеуін шешуге арналған Python бағдарламасының нәтижесі график түрінде келтірілген.



Сурет 2. Навье-Стокс теңдеулер жүйесін шешудің нәтижесі

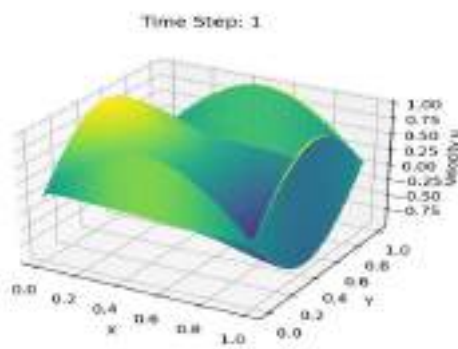
2-суретте жылдамдықтардың нөлдік шекаралық шарттары бар шаршы аймақтағы екі өлшемді сұйықтық ағыны үшін Навье-Стокс теңдеулерінің жүйесін шешу нәтижесі көрсетілген. Нәтижелер  $u$  жылдамдығының  $X$  және  $Y$  координаталарына тәуелділігінің графигі түрінде берілген. Неғұрлым күрделі жағдайлар немесе дәлірек модельдеу үшін күрделірек сандық әдістер мен алгоритмдер қажет болуы мүмкін. Бастапқы және шекаралық шарттары (5)-(8) болатын (1)-(4) екі өлшемді Навье-Стокс теңдеуін функция түрінде шешу үшін соңғы айырым әдісін қолдануға болады.

Навье-Стокс теңдеуі жүйелерін жылдамдықтар үшін бастапқы және шекаралық шарттары бар шаршы аймақтағы екі өлшемді сұйықтық ағыны үшін шешудің нәтижесі  $X$  және  $Y$  координаттарына негізделген  $u$  жылдамдық графигі арқылы көрсетіледі. Функция ретінде бастапқы және шекаралық шарттары бар екі өлшемді Навье-Стокс теңдеуінің нәтижелерін

визуализациялауда біз графиктерді тұрғызуда «matplotlib» кітапханасын, графикті айналдыру және аударуда интерактивті пайдаланушы интерфейсін жасау үшін «ipywidgets» қолдана аламыз. Бағдарлама графиктің көру бұрыштарын өзгертуге мүмкіндік беретін екі сырғытпасы бар интерактивті пайдаланушы интерфейсін жасайды. Нәтиженің графигін әр түрлі жағынан қарау үшін бұруға және айналдыруға болады.

Соңғы айырымдық схемалар әдісін қолдана отырып, бастапқы және шекаралық шарттары бар екі өлшемді Навье-Стокс теңдеуін шешу және әртүрлі түстермен әр түрлі жағынан нәтижелерді визуализациялау үшін біз «numpy», «matplotlib», және «ipywidgets» кітапханаларын қолдана аламыз. Зерттелетін тапсырма нәтижесінің мысалы:

Екі өлшемді Навье-Стокс теңдеуін соңғы айырымдық схемалар әдісін қолдана отырып, бастапқы және шекаралық шарттармен шешу және түстерді өзгерту және графикті айналдыру мүмкіндігімен әр түрлі жағынан нәтижелерді визуализациялау үшін біз «numpy», «matplotlib», және «ipywidgets» кітапханаларын қолдана аламыз. Бағдарлама түс схемасын өзгерту және графикті айналдыру мүмкіндігі бар интерактивті пайдаланушы интерфейсін жасалынады. Диаграмманың көру бұрыштарын өзгерту үшін жүгірткілерді қолдану және түс схемасын таңдау үшін ашылмалы тізім. Мұнда бастапқы косинус функциялары және синус функциялары ретінде шекаралық шарттары бар 2D Навье-Стокс теңдеулерін соңғы айырымдық схемалар әдісі арқылы шешетін бағдарламада нәтижелерді әртүрлі түстермен бейнелеп графикті айналдыруға мүмкіндік береді. Бұл код көру бұрыштарын өзгерту үшін жүгірткілері бар интерактивті пайдаланушы интерфейсін және түс картасын өзгерту үшін ашылмалы мәзірді жасайды. Бұрыштарды реттеу үшін сырғытпаларды және визуализация үшін түс картасын өзгерту үшін ашылмалы мәзірді пайдалануға болады. Бұл сипаттамада бағдарламаның негізгі қадамдарын қамтиды. Нәтижесінде біз тікбұрышты аймақтағы жылдамдықтардың қадамдық өзгеруін аламыз. Уақыт бойынша екі өлшемді аймақтағы температура, қысым және жылдамдық арқылы 3- суретте белгілі бір айнымалының өзгеруін көрсететін беттердің үш өлшемді графиктерінің сериясы көрсетілген. Бұл графиктер модельдеу мен эксперименттік деректер жиынтығының әртүрлі уақыт қадамдарында.

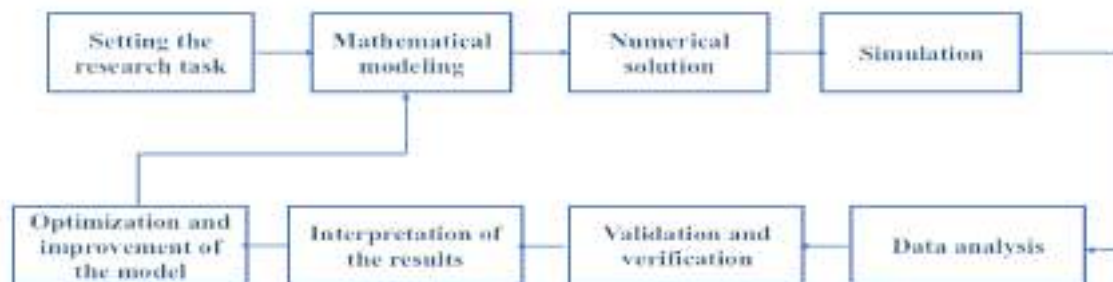


Сурет 3. Белгілі бір айнымалының өзгеруін көрсететін беттердің үш өлшемді графиктерінің сериясы

Әрбір диаграмма жүйенің күйін белгілі бір уақытта көрсетеді, бұл өзгерістердің динамикасын бақылауға мүмкіндік береді. Графиктегі түстер зерттелетін шаманың мәндеріне сәйкес келеді, ал осьтердегі сандар кеңістіктік координаттар мен уақыт қадамдарын білдіреді. Бұл талдауды көрнекі және түсіндіруге қол жетімді ететін деректерді визуализациялау тәсілі.

Зерттеу барысында мыналар анықталды. Алдымен оның екі өлшемді аймақтағы әрекетін талдау үшін температура, қысым немесе жылдамдық сияқты физикалық шама анықталады. Содан кейін бастапқы және шекаралық шарттарды ескере отырып, осы шаманың өзгеруін сипаттайтын математикалық модель жасалады. Басқару теңдеулерін шешу үшін сандық әдістер қолданылады, содан кейін нақты процесті қайталауға және уақыттың әртүрлі нүктелерінде деректерді алуға мүмкіндік беретін компьютерлік модельдеу жүргізіледі.

Алынған нәтижелер уақыт бойынша шаманың өзгеруін бақылауға және заңдылықтарды, ауытқуларды немесе тұрақсыздықтарды анықтауға көмектесетін графиктер арқылы көрінеді [15] (Сурет 4).



Сурет 4. Зерттеу процесінің қадамдары

Әрі қарай, модельдеу нәтижелері әзірленген модельдің дәлдігін растау үшін эксперименттік деректермен немесе дәлелденген модельдермен салыстырылады. Деректерді түсіндіру негізінде бақыланатын құбылыстарды анықтайтын физикалық процестер және олардың жүйенің мінез-құлқына әсері зерттеледі. Соңғы кезең-модельді оңтайландыру, ол дәлдікті жақсарту немесе жүргізілген талдау негізінде әртүрлі сценарийлерді зерттеу үшін түзетуді қамтиды.

### Қорытынды

Зерттеу барысында бастапқы және шеткі жағдайлары бар тікбұрышты аймақтағы сығылмайтын сұйықтық ағынының есептерін шешу үшін жасанды интеллектті қолдана отырып, соңғы айырмашылықтардың сандық әдісі жасалды және талданды. Зерттеудің мақсаты сандық әдістің дәлдігін, тиімділігін және конвергенция жылдамдығын жақсарту болды. Соңғы айырмашылық әдісін жасанды интеллект әдістерімен біріктіру модельдеу нәтижелерін айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік беретіні көрсетілген. Мысалы, келесі уақыт қадамында жылдамдық пен қысым мәндерін болжау үшін нейрондық желілерді пайдалану шешімнің дәлдігін жақсартуға мүмкіндік берді.

Әдістің параметрлерін оңтайландырудың әртүрлі алгоритмдері де зерттелді, бұл оның тиімділігі мен жұмыс жылдамдығын жақсартуға әкелді. Оңтайландырылған әдіс әртүрлі сұйықтық ағындарын модельдеу кезінде жақсы конвергенция мен дәлдікті көрсетті. Зерттеу сұйықтық ағындарын модельдеудің сандық әдістерін жақсарту үшін жасанды интеллектті қолдану перспективалық бағыт болып табылады және гидродинамиканың күрделі мәселелерін шешудің дәлірек және тиімді әдістерін жасауға әкелуі мүмкін деген қорытындыға келеді.

Екі өлшемді аймақтағы Навье-Стокс теңдеулерін жуықтау үшін соңғы айырмашылық әдісіне негізделген сандық схема жасалды. Ұсынылған әдіс берілген бастапқы және шеткі жағдайлары бар сығылмайтын сұйықтық ағынының есептерін тиімді шешуге мүмкіндік береді. Тригонометриялық функцияларды қолдана отырып, бастапқы және шеткі жағдайлардың жуықтауына талдау жасалды. Ұсынылған әдіс жуықтаудың жоғары дәлдігін және сандық шешімнің тұрақтылығын қамтамасыз ететіні көрсетілген.

Есептің әртүрлі параметрлері мен шарттарын қолдана отырып, әзірленген сандық әдістің тиімділігі зерттелді. Ұсынылған әдістің артықшылықтарын көрсететін сандық талдаудың басқа әдістерімен салыстырмалы талдау жүргізілді. Тікбұрышты аймақтағы сұйықтық ағынының әрекетін визуалды талдауға мүмкіндік беретін Matplotlib кітапханасын пайдаланып сандық модельдеу нәтижелерін визуализациялау ұсынылған. Интерактивті пайдаланушы интерфейсі нәтижелерді талдауды және модель параметрлерін өзгертуді жеңілдетеді. Осылайша, бастапқы және шеткі жағдайлары бар тікбұрышты аймақтағы сығылмайтын сұйықтық ағынының есептерін шешудің сандық соңғы айырмашылық әдісін зерттеу осындай



есептерді модельдеудің тиімді және дәл әдісін жасауға мүмкіндік берді. Сандық модельдеу нәтижелері күтілетін аналитикалық мәндерге сәйкес келеді, бұл соңғы айырмашылықтар әдісін жүзеге асырудың дұрыстығын растайды. Нәтижелерді визуализациялау уақыт пен кеңістіктегі ағынның эволюциясын көрнекі түрде бақылауға мүмкіндік береді, бұл оның сипаттамалары мен мінез-құлқын талдау үшін маңызды. Осы саладағы қосымша зерттеулер сұйықтық ағындарының басқа түрлерін модельдеу үшін жасанды интеллектті қолдануды кеңейтуге және одан да дәл және тиімді сандық модельдеу үшін параметрлерді оңтайландыру әдістерін жақсартуға бағытталуы мүмкін.

#### References

- [1] Hengyao Tang, Guosong Jiang, Qingdong Wang. “Personalized Learning Behavior Evaluation Method Based on Deep Neural Network”, *Scientific Programming*, vol 2022, Jan 2022, <https://doi.org/10.1155/2022/9993271>
- [2] Omar Khatib, Simiao Ren, Jordan Malof, and Willie J. Padilla (2022). “Learning the Physics of All-Dielectric Metamaterials with Deep Lorentz Neural Networks”, *Advanced Optical Materials*, vol 10, no. 13, July 4, 2022. <https://doi.org/10.1002/adom.202200097>
- [3] Nguyen, H., & Widrow, B. “Neural networks for self-learning control systems”. *IEEE Control Systems Magazine*, vol 10, p. 31-39, 06 August 2002, DOI: 10.1109/37.55119 <https://doi.org/10.1109/37.55119>.
- [4] C. P. K. Dagadu<sup>1</sup>, Z. Stegowski, B. J. A. Y. Sogbey<sup>1</sup>, S. Y. Adzaklo<sup>1</sup>. *Mixing Analysis in a Stirred Tank Using Computational Fluid Dynamics. Journal of Applied Mathematics and Physics*, Vol. 3 No. 6, June 2015. <https://doi.org/10.4236/JAMP.2015.36076>.
- [5] Antonio Hernández-Blanco, Boris Herrera-Flores, David Tomás, Borja Navarro-Colorado. “A Systematic Review of Deep Learning Approaches to Educational Data Mining”, *Hindawi Complexity*, , vol , p. 22, 12 May 2019, <https://doi.org/10.1155/2019/1306039>
- [6] Martin Erdmann, Jonas Glombitza, Gregor Kasieczka, Uwe Klemradt. “Deep Learning for Physics Research”, *World Scientific, Online Book*, Pages 340, July 2021, <https://doi.org/10.1142/12294>
- [7] Tao Du. “Deep Learning for Physics Simulation”, *Association Computing Machinery*, vol 5, 24 July 2023, <https://doi.org/10.1145/3587423.3595518>
- [8] Edidiong Enyeneokpon Ukoh, Jude Nicholas. “AI Adoption for Teaching and Learning of Physics”, *International Journal for Infonomics (IJI)*, vol 15, 2022, <https://doi.org/10.20533/IJI.1742.4712.2022.0222>
- [9] Humam K, Majeed AL-Chalabi, Aqeel M. Ali Hussein, Ufuoma Chima Apoki. “An Adaptive Learning System Based on Learner’s Knowledge Level”, 2021 13th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 23 August, <https://doi.org/10.1109/ECAI.52376.2021.9515158>
- [10] 23. Simone Monaco, Daniele Apiletti. “Training physics-informed neural networks: One learning to rule them all?”, *Results in Engineering*, vol 18, June 2023, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101023>
- [11] Omarov B., Auelbekov O., Suliman A., Zhaxanova A. CNN-BiLSTM Hybrid Model for Network Anomaly Detection in Internet of Things. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2023, 14(3), pp 436–444. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2023.0140349>
- [12] Omarov B., Auelbekov O., Koishiyeva T., Uxikbayev Y., Bazarbayeva A. IoT Network Intrusion Detection Using Machine Learning Techniques. *SIST 2022 - 2022 International Conference on Smart Information Systems and Technologies, Proceedings*, 2022. <https://doi.org/10.1109/SIST54437.2022.9945769>
- [13] Amirgaliyev Y., Wójcik W., Kunelbayev M., Auelbekov O., Kataev N. Theoretical prerequisites of electric water heating in solar collector-accumulator. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, 2019, 6(438), pp 54–63. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.155>
- [14] Amirgaliyev Y., Kunelbayev M., Kalizhanova A., Auelbekov, O., Kataev N. Article Study of convective heat transfer in flat plate solar collectors. *WSEAS Transactions on Systems and Control*, 2019, 14, pp. 129–137. <https://doi.org/10.1109/ICECCE49384.20209179209>
- [15] Ghorbaniasl G., Sepehri A., Ghadimi P. Application of artificial intelligence for solving flow and heat transfer problems: A review. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 141(2), 2020, 781-804. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-09345-z>



Д.К. Чигамбаева

Astana IT University, г. Астана, Казахстан  
e-mail: [chigambayeva.d@gmail.com](mailto:chigambayeva.d@gmail.com)

## ИНТЕРПОЛЯЦИОННАЯ ТЕОРЕМА ТИПА МАРЦИНКЕВИЧА ДЛЯ ЛОКАЛЬНЫХ ПРОСТРАНСТВ МОРРИ

### Аннотация

Данная работа посвящена доказательству интерполяционной теоремы для локальных пространств Морри. Целью данной работы является изучение интерполяционных свойств локальных пространств Морри. Анализируются характерные особенности данных пространств. На основе проведенных исследований доказана интерполяционная теорема типа Марцинкевича для локальных пространств Морри на однородных группах. Этот результат важен как для теории функций и функционального анализа, так и для приложений. Выявлена и обоснована интерполяционная способность локальных пространств Морри в случае линейных операторов. Для получения результата использовались методы интерполяции для функциональных пространств, свойства вложения и методы функционального анализа. В качестве метода интерполяции использовался вещественный метод Петре, а в качестве основных неравенств функционального анализа – неравенства Гёльдера, Минковского, Харди. На основе проведенного исследования следует отметить, что в случае линейных операторов шкала данных пространств является интерполяционной в отличие от классических пространств Морри.

**Ключевые слова:** пространства Морри, локальные пространства Морри, квази-аддитивный оператор, линейный оператор, интерполяционная теорема, интерполяционная теорема типа Марцинкевича.

D.K. Chigambayeva

Astana IT University, Astana, Kazakhstan

## MARCINKIEWICZ-TYPE INTERPOLATION THEOREM FOR LOCAL MORREY SPACES

### Abstract

This paper is devoted to the proof of the interpolation theorem for local Morrey spaces. The purpose of this work is to study the interpolation properties of local Morrey spaces. The characteristic features of these spaces are analyzed. Based on the research carried out, the author proved the Marcinkiewicz-type interpolation theorem for local Morrey spaces on the homogeneous groups. This result is important both for function theory and functional analysis, and for applications. The interpolation ability of local Morrey spaces in the case of linear operators is revealed and justified. To obtain the result, interpolation methods for function spaces, embedding properties, and methods of functional analysis were used. The real Peetre method was used as an interpolation method and Hölder's, Minkowski's, Hardy's inequalities as the basic inequalities of function analysis were used. On the basis of the research, it should be noted that in the case of linear operators the scale of these spaces is interpolational in contrast to the classical Morrey spaces.

**Keywords:** Morrey spaces, local Morrey spaces, quasi-additive operator, linear operator, interpolation theorem, Marcinkiewicz-type interpolation theorem.

Д.К. Чигамбаева

Astana IT University, Астана қ., Қазақстан

## ЛОКАЛДІ МОРРИ КЕҢІСТІКТЕР ҮШІН МАРЦИНКЕВИЧ ТИПТІ ИНТЕРПОЛЯЦИЯЛЫҚ ТЕОРЕМА

### Аңдатпа

Бұл жұмыс локалді Морри кеңістіктер үшін интерполяция теоремасын дәлелдеуге арналған. Бұл жұмыстың мақсаты локалді Морри кеңістіктердің интерполяциялық қасиеттерін зерттеу болып табылады. Бұл кеңістіктерге тән белгілер талданады. Жүргізілген зерттеулер негізінде локалді Морри

кеңістіктер үшін Марцинкевич типті біртекті топтарда интерполяциялық теорема дәлелдеген. Бұл нәтиже функция теориясы мен функционалдық талдау үшін де, қолданбалар үшін де маңызды. Сызықтық операторлар жағдайындағы локалді Морри кеңістіктердің интерполяциялық қабілеті ашылған және негізделген. Нәтижені алу үшін функциялық кеңістіктер үшін интерполяция әдістері, кірістіру қасиеттері және функционалдық талдау әдістері қолданылды. Интерполяция әдісі ретінде шынайы Петре әдісі, ал функционалдық талдаудың негізгі теңсіздіктері ретінде Гёлдер, Минковский және Харди теңсіздіктері қолданылды. Зерттеуге сүйене отырып, сызықтық операторлар жағдайында классикалық Морри кеңістігінен айырмашылығы бұл кеңістіктердің масштабы интерполяция болып табылатынын атап өткен жөн.

**Түйін сөздер:** Морри кеңістіктер, локалді Морри кеңістіктер, квази-аддитивті оператор, сызықты оператор, интерполяциялық теорема, Марцинкевич типті интерполяциялық теорема.

### Основные положения

В данной статье представлен интерполяционный метод, рассмотренных в локальных пространствах типа Морри на однородных группах. Исследование акцентирует внимание на интерполяционной теореме типа Марцинкевича специфично рассмотренной в случае локальных пространств Морри с применением свойств однородных групп. Результаты подтверждают необходимость дальнейшего анализа интерполяционных свойств пространств типа Морри с их применением на случай ограниченности различных интегральных операторов в них. Это даст перспективы для разработки теории пространств типа Морри для однородных групп.

### Введение

Пусть  $0 < p \leq \infty$  и  $0 \leq \lambda \leq \frac{n}{p}$ . Пространства Морри  $M_p^\lambda$  определяются как пространства всех функций  $f \in L_p^{loc}(\mathbb{R}^n)$ , таких что

$$\|f\|_{M_p^\lambda} \equiv \|f\|_{M_p^\lambda(\mathbb{R}^n)} = \sup_{x \in \mathbb{R}^n} \sup_{t > 0} t^{-\lambda} \|f\|_{L_p(B_t(x))} < \infty,$$

где  $B_t(x)$  – открытый шар радиуса  $t > 0$  с центром в точке  $x \in \mathbb{R}^n$  (см. [1]). Если  $\lambda = 0$ , то  $M_p^0(\mathbb{R}^n) = L_p(\mathbb{R}^n)$ , если  $\lambda = \frac{n}{p}$ , то  $M_p^{n/p}(\mathbb{R}^n) = L_\infty(\mathbb{R}^n)$ . Если  $\lambda < 0$  или  $\lambda > \frac{n}{p}$ , то  $M_p^\lambda = \Theta$ , где  $\Theta$  – множество всех функций, эквивалентных нулю на  $\mathbb{R}^n$ .

Пространства Морри и их различные обобщения интенсивно изучаются с точки зрения современной теории интерполяции и играют важную роль в приложениях к вариационному исчислению и теории уравнений в частных производных [2]. Классические пространства Морри были введены в связи с изучением уравнений с частными производными. Кроме того, пространства Морри оказались весьма удобными и естественными для изучения сложных и важных уравнений математической физики. Наконец, отметим, что теория пространств Морри в последнее время получила свое естественное и мощное развитие в рамках теории интерполяции функциональных пространств.

Интерполяционные результаты для пространств Морри были получены Стампакиа [3], Кампанато и Мерфи [4] в 1964 г. Было доказано в работе [4], что для  $p_0 \neq p_1, q_0 \neq q_1$  и

$$T: L_{q_0} \rightarrow M_{p_0}^{\lambda_0} \text{ с нормой } M_0 \text{ и}$$

$$T: L_{q_1} \rightarrow M_{p_1}^{\lambda_1} \text{ с нормой } M_1, \text{ тогда}$$

$$T: L_q \rightarrow M_p^\lambda$$

с нормой  $M_0 \leq c M_0^{1-\theta} M_1^\theta$  при  $0 < \theta < 1$  и  $\frac{1}{p} = \frac{1-\theta}{p_0} + \frac{\theta}{p_1}, \frac{1}{q} = \frac{1-\theta}{q_0} + \frac{\theta}{q_1}, \lambda = (1-\theta)\lambda_0 + \theta\lambda_1$ .

Далее Петре [5], Бласко, Руиз и Вега [6,7] в 1995 г. в работе [7] рассмотрели интерполяционную проблему для пространств Морри вещественным интерполяционным методом и доказали, что

$$(M_p^{\lambda_0}, M_p^{\lambda_1})_{\theta, \infty} \subset M_p^\lambda,$$

где  $1 \leq p < \infty, 0 < \lambda_0 < \frac{n}{p_0}, 0 < \lambda_1 < \frac{n}{p_1}, \lambda = (1 - \theta)\lambda_0 + \theta\lambda_1, 0 < \theta < 1$ .

В частности, Петре доказал, что

$$(M_p^{\lambda_0}, M_p^{\lambda_1})_{\theta, \infty} \neq M_p^\lambda.$$

Было проведено более подробное исследование проблемы интерполяции для пространств Морри. В частности, Лемарие-Рюссет [8] в 2013 г. доказал следующее вложение

$$(M_{p_0}^{\lambda_0}, M_{p_1}^{\lambda_1})_{\theta, \infty} \subset M_p^\lambda,$$

где  $1 \leq p_0, p_1 < \infty$  и  $\frac{1}{p} = \frac{1-\theta}{p_0} + \frac{\theta}{p_1}$  верно тогда и только тогда, когда  $p_0 = p_1$ .

Дальнейшие обобщения свойств интерполяции были получены в [9], а именно была доказана интерполяционная теорема типа Марцинкевича для обобщенных пространств Морри  $M_{p,q,\Omega}^\lambda$  [10].

Рассмотрим понятие однородных групп. Группу Ли (на  $\mathbb{R}^n$ )  $\mathbb{G}$  назовем однородной, если имеет место расширение  $D_\lambda(x)$ , такое что

$$D_\lambda(x) := (\lambda^{v_1}x_1, \dots, \lambda^{v_n}x_n), \quad v_1, \dots, v_n > 0, \quad D_\lambda: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n,$$

которое является автоморфизмом группы  $\mathbb{G}$  для каждого  $\lambda > 0$ . Более того, шар с центром в точке  $x \in \mathbb{G}$  и радиусом  $t > 0$  определим как

$$B(x, t) := \{y \in \mathbb{G} : |x^{-1}y| < t\}.$$

Заметим, что мера Хаара на  $\mathbb{G}$  совпадает с мерой Лебега, а мера шара имеет следующую оценку

$$C^{-1}t^n \leq |B(x, t)| \leq Ct^n.$$

Однородные группы предоставляют собой локальные модели для многих вопросов субэллиптического анализа и субримановой геометрии, их важность широко признана, поскольку существенная роль они сыграли в выводе точных субэллиптических оценок для дифференциальных операторов на многообразиях. Для обсуждения понятия и свойств однородных групп можно найти в книге [11].

В данной работе мы доказываем интерполяционную теорему типа Марцинкевича для локальных пространств Морри  $LM_p^\lambda(\mathbb{G})$  на однородных группах. Рассмотрим  $LM_p^\lambda(\mathbb{G})$  с следующей конечной нормой для всех  $x \in \mathbb{G}$

$$\|f\|_{LM_p^\lambda(\mathbb{G})} = \sup_{t>0} t^{-\lambda} \|f\|_{L_p(B(x,t))}.$$

Заметим, что взаимосвязь локальных пространств Морри с пространствами Морри выражается следующим образом

$$\|f\|_{M_p^\lambda(\mathbb{G})} = \sup_{x \in \mathbb{G}} \|f(x + \cdot)\|_{LM_p^\lambda(\mathbb{G})}.$$

**Методология исследования**

В данной работе для доказательства утверждений используются известные функциональные неравенства, а именно неравенства Гёльдера, Минковского, Харди.

Если  $0 < p, p_0, p_1 \leq \infty$  и  $\frac{1}{p} = \frac{1}{p_0} + \frac{1}{p_1}$ , тогда верно неравенство Гёльдера

$$\|fg\|_{L_p(\mathbb{R}^n)} \leq \|f\|_{L_{p_0}(\mathbb{R}^n)} \|g\|_{L_{p_1}(\mathbb{R}^n)} \tag{1}$$

для всех функций  $f \in L_{p_0}(\mathbb{R}^n)$  и  $g \in L_{p_1}(\mathbb{R}^n)$ .

Еси  $0 < p \leq \infty$ , тогда верно неравенство Минковского

$$\|f + g\|_{L_p(\mathbb{R}^n)} \leq 2^{\left(\frac{1}{p}-1\right)^+} (\|f\|_{L_p(\mathbb{R}^n)} + \|g\|_{L_p(\mathbb{R}^n)}) \tag{2}$$

для всех функций  $f \in L_p(\mathbb{R}^n)$  и  $g \in L_p(\mathbb{R}^n)$  и  $a_+ = \max\{0, a\}$  для всех  $a \in \mathbb{R}$ .

Если  $\mu > 0, -\infty < \nu < \infty$  и  $0 < \sigma \leq \tau \leq \infty$ , тогда верны следующие аналоги неравенств Харди

$$\left(\int_0^\infty (y^{-\mu} \left(\int_0^y (r^{-\nu} |g(r)|)^\sigma \frac{dr}{r}\right)^{\frac{1}{\sigma}})^\tau \frac{dy}{y}\right)^{\frac{1}{\tau}} \leq (\mu\sigma)^{-\frac{1}{\sigma}} \left(\int_0^\infty (y^{-\mu-\nu} |g(y)|)^\tau \frac{dy}{y}\right)^{\frac{1}{\tau}} \tag{3}$$

и

$$\left(\int_0^\infty (y^\mu \left(\int_y^\infty (r^{-\nu} |g(r)|)^\sigma \frac{dr}{r}\right)^{\frac{1}{\sigma}})^\tau \frac{dy}{y}\right)^{\frac{1}{\tau}} \leq (\mu\sigma)^{-\frac{1}{\sigma}} \left(\int_0^\infty (y^{\mu-\nu} |g(y)|)^\tau \frac{dy}{y}\right)^{\frac{1}{\tau}}. \tag{4}$$

Приведем свойства вложения локальных пространств Морри.

*Лемма 1.1* Пусть  $0 < p_0 < p_1 < \infty$ , тогда

$$LM_{p_1}^{\lambda_1}(\mathbb{G}) \hookrightarrow LM_{p_0}^{\lambda_0}(\mathbb{G}),$$

где  $\lambda_1 = \lambda_0 + \frac{n(p_0-p_1)}{p_0 p_1}$ ;

*Доказательство.* Пусть  $f \in LM_{p_1, q}^{\lambda_1}(\mathbb{G})$ . Применяя неравенство Гёльдера (1) и, заметив что  $|B(x, t)| \leq Ct^n$ , получим следующие неравенства

$$\begin{aligned} \|f\|_{LM_{p_0}^{\lambda_0}(\mathbb{G})} &= \sup_{t>0} t^{-\lambda_0} \|f\|_{L_{p_0}(B(x,t))} \leq \\ &\leq \sup_{t>0} t^{-\lambda_0} |B(x, t)|^{\frac{1}{p_0} - \frac{1}{p_1}} \|f\|_{L_{p_1}(B(x,t))} \cong \\ &\cong \sup_{t>0} t^{-\left(\lambda_0 - \frac{n(p_1-p_0)}{p_0 p_1}\right)} \|f\|_{L_{p_1}(B(x,t))} = \|f\|_{LM_{p_1}^{\lambda_1}(\mathbb{G})}, \end{aligned}$$

что означает вложение  $LM_{p_1, q}^{\lambda_1}(\mathbb{G}) \hookrightarrow LM_{p_0, q}^{\lambda_0}(\mathbb{G})$ , что и требовалось доказать.

Для доказательства основного вывода используются методы теории функций и функционального анализа, методы вещественной интерполяции [12,13].

**Результат исследования**

*Теорема 1.2*

Пусть  $0 \leq \alpha_0, \alpha_1 < \infty, 0 \leq \beta_0, \beta_1 < \infty, \alpha_0 \neq \alpha_1, \beta_0 \neq \beta_1, 0 < p, q \leq \infty, 0 < \theta < 1$  и

$$\alpha = (1 - \theta)\alpha_0 + \theta\alpha_1, \beta = (1 - \theta)\beta_0 + \theta\beta_1.$$

Пусть  $T$  – квазиаддитивный оператор на  $\cup_{x \in \mathbb{G}} (LM_p^{\alpha_0}(\mathbb{G}) + LM_p^{\alpha_1}(\mathbb{G}))$ , такой что для некоторых  $M_0, M_1 > 0$  верны следующие неравенства

$$\|Tf\|_{LM_q^{\beta_i}(\mathbb{G})} \leq M_i \|f\|_{LM_p^{\alpha_i}(\mathbb{G})} \quad (5)$$

для всех  $x \in \mathbb{G}$ ,  $f \in LM_p^{\alpha_i}(\mathbb{G})$ ,  $i = 0, 1$ , тогда

$$\|Tf\|_{LM_q^{\beta}(\mathbb{G})} \leq c A M_0^{1-\theta} M_1^{\theta} \|f\|_{LM_p^{\alpha}(\mathbb{G})}$$

для всех  $f \in LM_p^{\alpha}(\mathbb{G})$  и  $c > 0$ .

### Дискуссия

Доказательство.

1. Пусть  $f \in LM_p^{\alpha}(\mathbb{G})$ . Для  $x \in \mathbb{G}$ ,  $s > 0$  определим функции

$$f_{0,s} = \begin{cases} f(y), & \text{если } |x^{-1}y| \leq s \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

и

$$f_{1,s} = \begin{cases} f(y), & \text{если } |x^{-1}y| > s \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Тогда  $f = f_{0,s} + f_{1,s}$  и по неравенству (2) имеем

$$\begin{aligned} \|Tf\|_{L_q(B(x,t))} &= \|T(f_{0,s} + f_{1,s})\|_{L_q(B(x,t))} \leq A (\|Tf_{0,s}\| + \|Tf_{1,s}\|)_{L_q(B(x,t))} \leq \\ &\leq 2^{\left(\frac{1}{q}-1\right)_+} A (\|Tf_{0,s}\|_{L_q(B(x,t))} + \|Tf_{1,s}\|_{L_q(B(x,t))}), \end{aligned}$$

где  $a_+ = \max\{0, a\}$ .

Из неравенства (5) получим

$$\begin{aligned} \|Tf_{0,s}\|_{L_q(B(x,t))} &= t^{\beta_0} t^{-\beta_0} \|Tf_{0,s}\|_{L_q(B(x,t))} \leq \\ &\leq t^{\beta_0} \sup_{r>0} r^{-\beta_0} \|Tf_{0,s}\|_{L_q(B(x,r))} = t^{\beta_0} \|Tf_{0,s}\|_{LM_q^{\beta_0}(\mathbb{G})} \leq M_0 t^{\beta_0} \|f_{0,s}\|_{LM_p^{\alpha_0}(\mathbb{G})} = \\ &= M_0 t^{\beta_0} \left( \sup_{0 \leq r \leq s} r^{-\alpha_0} \|f_{0,s}\|_{L_p(B(x,r))} + \sup_{r>s} r^{-\alpha_0} \|f_{0,s}\|_{L_p(B(x,r))} \right). \end{aligned}$$

Если  $0 < r \leq s$  и  $|x^{-1}y| \leq r$ , тогда  $|x^{-1}y| \leq s$  и  $f_{0,s}(y) = f(y)$ , следовательно  $\|f_{0,s}\|_{L_p(B(x,r))} = \|f\|_{L_p(B(x,r))}$ . Если  $r > s$  и  $y \in \mathbb{G} \setminus B(x,r)$ , тогда  $f_{0,s}(y) = 0$ , следовательно  $\|f_{0,s}\|_{L_p(B(x,r))} = \|f\|_{L_p(B(x,s))}$ . Таким образом,

$$\sup_{0 \leq r \leq s} r^{-\alpha_0} \|f_{0,s}\|_{L_p(B(x,r))} = \sup_{0 \leq r \leq s} r^{-\alpha_0} \|f\|_{L_p(B(x,r))}$$

и

$$\begin{aligned} \sup_{r>s} r^{-\alpha_0} \|f_{0,s}\|_{L_p(B(x,r))} &= \|f\|_{L_p(B(x,s))} \sup_{r>s} r^{-\alpha_0} = \\ &= \|f\|_{L_p(B(x,s))} s^{-\alpha_0} = \|f\|_{L_p(B(x,s))} s^{-\alpha_0} s^{\alpha_1} \sup_{r>s} r^{-\alpha_1} = \\ &= s^{\alpha_1 - \alpha_0} \sup_{r>s} r^{-\alpha_1} \|f\|_{L_p(B(x,s))}. \end{aligned}$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} & \|Tf_{0,s}\|_{L_q(B(x,t))} \leq \\ & \leq M_0 t^{\beta_0} \left[ \sup_{0 \leq r \leq s} r^{-\alpha_0} \|f\|_{L_p(B(x,r))} + s^{\alpha_1 - \alpha_0} \sup_{r > s} r^{-\alpha_1} \|f\|_{L_p(B(x,s))} \right]. \end{aligned}$$

Аналогично, из неравенства (5), поскольку  $f_{1,s}(y) = 0$ , если  $|x^{-1}y| \leq r$  и  $|f_{1,s}(y)| \leq |f(y)|$ , если  $y \in B(x,r) \cap (\mathbb{G} \setminus B(x,s))$ , получим, что

$$\begin{aligned} & \|Tf_{1,s}\|_{L_q(B(x,t))} = t^{\beta_1} t^{-\beta_1} \|Tf_{1,s}\|_{L_q(B(x,t))} \leq \\ & \leq M_1 t^{\beta_1} \left( \sup_{0 \leq r \leq s} r^{-\alpha_1} \|f_{1,s}\|_{L_p(B(x,r))} + \sup_{r > s} r^{-\alpha_1} \|f_{1,s}\|_{L_p(B(x,r))} \right) \leq \\ & M_1 t^{\beta_1} \sup_{r > s} r^{-\alpha_1} \|f\|_{L_p(B(x,r) \cap (\mathbb{G} \setminus B(x,s)))} \leq M_1 t^{\beta_1} \sup_{r > s} r^{-\alpha_1} \|f\|_{L_p(B(x,r))}. \end{aligned}$$

Так, для всех  $t > 0$  и  $s > 0$  имеем

$$\begin{aligned} \|Tf\|_{L_q(B(x,t))} & \leq c_1 A(M_0 t^{\beta_0} [ \sup_{0 \leq r \leq s} r^{-\alpha_0} \|f\|_{L_p(B(x,r))} + s^{\alpha_1 - \alpha_0} \sup_{r > s} r^{-\alpha_1} \|f\|_{L_p(B(x,r))} ] \\ & + M_1 t^{\beta_1} \sup_{r > s} r^{-\alpha_1} \|f\|_{L_p(B(x,r))}), \end{aligned}$$

где  $c_1 > 0$  зависит от параметра  $q$ .

2. Предположим, что  $\alpha_0 < \alpha_1, \beta_0 < \beta_1$  и положим  $s = ct^\gamma$ , где  $\gamma = \frac{\beta_1 - \beta_0}{\alpha_1 - \alpha_0}$ , и  $c > 0$  будет выбрана позже. Тогда

$$\begin{aligned} \|Tf\|_{LM_q^\beta(\mathbb{G})} & = \sup_{t > 0} t^{-\beta} \|Tf\|_{L_q(B(x,t))} \leq \\ & \leq cA(M_0 I_1 + M_0 I_2 + M_1 I_3), \end{aligned}$$

где

$$I_1 = \sup_{t > 0} t^{\beta_0 - \beta} \sup_{0 \leq r \leq ct^\gamma} r^{-\alpha_0} \|f\|_{L_p(B(x,r))},$$

$$I_2 = (ct^\gamma)^{\alpha_1 - \alpha_0} \sup_{t > 0} t^{\beta_0 - \beta} \sup_{r > ct^\gamma} r^{-\alpha_1} \|f\|_{L_p(B(x,r))}$$

и

$$I_3 = \sup_{t > 0} t^{\beta_1 - \beta} \sup_{r > ct^\gamma} r^{-\alpha_1} \|f\|_{L_p(B(x,r))}.$$

Делая замену переменной  $ct^\gamma = y$ , получим  $t = c^{-\frac{1}{\gamma}} y^{\frac{1}{\gamma}}$  и поскольку  $-\frac{\beta_0 - \beta}{\gamma} = -\frac{\beta_0 - (1-\theta)\beta_0 - \theta\beta_1}{\gamma} = \theta(\alpha_1 - \alpha_0)$ , и  $-\frac{\beta_1 - \beta}{\gamma} = -\frac{\beta_1 - (1-\theta)\beta_0 - \theta\beta_1}{\gamma} = -(1-\theta)(\alpha_1 - \alpha_0)$ , имеем

$$I_1 = c^{\theta(\alpha_1 - \alpha_0)} J_1, \quad I_2 = c^{\theta(\alpha_1 - \alpha_0)} J_2, \quad I_3 = c^{-(1-\theta)(\alpha_1 - \alpha_0)} J_3,$$

где

$$J_1 = \sup_{y > 0} y^{-\theta(\alpha_1 - \alpha_0)} \sup_{0 \leq r \leq y} r^{-\alpha_0} \|f\|_{L_p(B(x,r))},$$

$$J_2 = \sup_{y > 0} y^{(1-\theta)(\alpha_1 - \alpha_0)} \sup_{r > y} r^{-\alpha_1} \|f\|_{L_p(B(x,r))}$$

и

$$J_3 = \sup_{y > 0} y^{(1-\theta)(\alpha_1 - \alpha_0)} \sup_{r > y} r^{-\alpha_1} \|f\|_{L_p(B(x,r))}.$$

3. Для интегральных оценок  $J_1, J_2, J_3$  применим аналогии неравенств Харди (3) и (4)

$$J_1 \leq \sup_{y>0} y^{-\alpha} \|f\|_{L_p(B(x,y))} = \|f\|_{LM_p^\alpha(\mathbb{G})},$$

$$J_2 \leq \|f\|_{LM_p^\alpha(\mathbb{G})}$$

и

$$J_3 \leq \|f\|_{LM_p^\alpha(\mathbb{G})}.$$

Следовательно,

$$\|Tf\|_{LM_q^\beta(\mathbb{G})} \leq cA(M_0 c^{\theta(\alpha_1 - \alpha_0)} + M_1 c^{-(1-\theta)(\alpha_1 - \alpha_0)}) \|f\|_{LM_p^\alpha(\mathbb{G})},$$

где  $c > 0$  зависит только от  $p$ .

4. Положим теперь  $c = \left(\frac{M_1}{M_0}\right)^{\frac{1}{\alpha_1 - \alpha_0}}$ , тогда

$$\|Tf\|_{LM_q^\beta(\mathbb{G})} \leq 2cAM_0^{1-\theta} M_1^\theta \|f\|_{LM_p^\alpha(\mathbb{G})}.$$

5. Если  $\alpha_1 < \alpha_0, \beta_0 < \beta_1$  или  $\alpha_0 < \alpha_1, \beta_1 < \beta_0$  или  $\alpha_1 < \alpha_0, \beta_1 < \beta_0$ , тогда рассуждения аналогичны шагам 2–4, меняя только выбор параметров  $\gamma$  и  $c$ .

В первом случае  $\gamma = \frac{\beta_1 - \beta_0}{\alpha_0 - \alpha_1}$ ,  $c = \left(\frac{M_1}{M_0}\right)^{\frac{1}{\alpha_0 - \alpha_1}}$ , во втором случае  $\gamma = \frac{\beta_0 - \beta_1}{\alpha_1 - \alpha_0}$ ,  $c = \left(\frac{M_1}{M_0}\right)^{\frac{1}{\alpha_0 - \alpha_1}}$ , в третьем случае  $\gamma = \frac{\beta_0 - \beta_1}{\alpha_0 - \alpha_1}$ ,  $c = \left(\frac{M_1}{M_0}\right)^{\frac{1}{\alpha_0 - \alpha_1}}$ .

Теорема 1 доказана.

### Заключение

Методом вещественной интерполяции доказана интерполяционная теорема типа Марцинкевича для локальных пространств Морри.

*Замечание.* Если  $T$  – линейный оператор, то утверждение Теоремы 1 следует, используя стандартные аргументы теории интерполяции из равенства

$$(LM_p^{\lambda_0}(\mathbb{G}), LM_p^{\lambda_1}(\mathbb{G}))_{\theta, \tau} = LM_p^\lambda(\mathbb{G}),$$

где  $0 < p, \tau \leq \infty, 0 < \lambda_0, \lambda_1 < \infty, \lambda_0 \neq \lambda_1, 0 < \theta < 1, \lambda = (1 - \theta)\lambda_0 + \theta\lambda_1$ .

### Благодарность

Автор выражает благодарность Центру международных программ Болашак в прохождении научной стажировки за финансовую поддержку и Центру анализа и дифференциальных уравнений департамента математики Гентского университета. Также автор выражает благодарность профессору М. Ружанскому за ценные советы.

### Список использованных источников

- [1] Morrey C.B. On the solution of quasi-linear elliptic partial differential equations // *Trans. Amer. Math. Soc.* – 1938. – Vol. 43. – pp. 126–166. DOI: [10.1090/S0002-9947-1938-1501936-8](https://doi.org/10.1090/S0002-9947-1938-1501936-8)
- [2] Adams D.R. *Morrey spaces* // Birkhäuser. – 2015. – 124 p. <https://dokumen.pub/morrey-spaces-1sted-3319266799-978-3-319-26679-4-978-3-319-26681-7-3319266810.html>
- [3] Stampacchia G.  $L_{p,\lambda}$ -spaces and interpolation // *Comm. Pure Appl. Math.* – 1964. – Vol. 17. – pp. 293–306. DOI: [10.1002/cpa.3160170303](https://doi.org/10.1002/cpa.3160170303)

- [4] Campanato A., Murthy M.K.V. *Una generalizzazione del teorema di Riesz-Thorin* // *Ann. Scuola Norm. Super. Pisa.* – 1965. – Vol. 19. – pp. 87–100. <https://eudml.org/doc/83343>
- [5] Peetre J. *A new approach in interpolation spaces* // *Studia Math.* – 1970. – Vol. 34. – pp. 23–42. <https://eudml.org/doc/217430>
- [6] Ruiz A., Vega L. *Corrigenda to “Unique continuation for Schrödinger operators” and a remark on interpolation on Morrey spaces* // *Publ. Mat., Barc.* – 1995. – Vol. 39. – pp. 405–411. DOI:[10.5565/PUBLMAT.39295.15](https://doi.org/10.5565/PUBLMAT.39295.15)
- [7] Blasco O., Ruiz A., Vega L. *Non interpolation in Morrey-Campanato and block spaces* // *Ann. Scuola Norm. Super. Pisa.* – 1999. – Vol. 28(1). – pp. 31–40. [http://www.numdam.org/item/?id=ASNSP\\_1999\\_4\\_28\\_1\\_31\\_0](http://www.numdam.org/item/?id=ASNSP_1999_4_28_1_31_0)
- [8] Lemarié-Rieusset P.G. *The role of Morrey spaces in the study of Navier-Stokes and Euler equations* // *Eurasian Mathematical Journal.* – 2012. – Vol. 3(3). – pp. 62–93. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-role-of-Morrey-spaces-in-the-study-of-Navier-%E2%80%93-Rieusset/f922fbdcc201036bd3e714333c59bdc68bdad1b7>
- [9] Burenkov V.I., Nursultanov E.D., Chigambayeva D.K. *Marcinkiewicz-type interpolation theorem and estimates for convolutions for Morrey-type spaces* // *Eurasian mathematical journal.* – 2018. – Vol. 9(2). – pp. 82–88. <https://emj.enu.kz/index.php/main/article/view/118>
- [10] Burenkov V.I., Nursultanov E.D., Chigambayeva D.K. *Marcinkiewicz-type interpolation theorem for Morrey-type spaces and its corollaries* // *Complex variables and elliptic equation.* – 2020. – Vol. 65(1). – pp. 87–108. DOI:[10.1080/17476933.2019.1664488](https://doi.org/10.1080/17476933.2019.1664488)
- [11] Ruzhansky M., Suragan D. *Hardy inequalities on homogeneous groups* // *Progress in Mathematics.* – Vol. 327. – 571 p. DOI:[10.1007/978-3-030-02895-4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-02895-4)
- [12] Bergh J., Löfström J. *Interpolation spaces. An introduction* // Springer. – 1976. [https://books.google.kz/books/about/Interpolation\\_Spaces.html?id=OlrsCAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.kz/books/about/Interpolation_Spaces.html?id=OlrsCAAQBAJ&redir_esc=y)
- [13] Peetre J. *On the theory of  $L_p$  spaces* // *J. Funct. Anal.* – 1969. – Vol. 4. – pp. 71–87. DOI:[10.1016/0022-1236\(69\)90022-6](https://doi.org/10.1016/0022-1236(69)90022-6)



К.М. Шапен<sup>1</sup> , А. Ахмедов<sup>1</sup> , А.Т. Рахимова<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

<sup>2</sup>Dallas College, Dallas, USA

\*e-mail: [aigerim\\_rakhimova@mail.ru](mailto:aigerim_rakhimova@mail.ru)

## APPLICATION OF BAYESIAN ANALYSIS FOR COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE STATE OF FISH RESOURCES IN FRESHWATER ECOSYSTEMS

### Abstract

Water resources, including rivers, lakes and reservoirs, play a key role in maintaining the ecological balance, developing fisheries and preserving biodiversity. To ensure effective management and rational use of water resources, scientific research is conducted annually, including control fishing, which is aimed at determining the permissible catch volumes and developing strategies for preserving the aquatic environment. Within the framework of such studies, special attention is paid to water quality, the state of the food supply and the analysis of fish populations, including species, numbers and age structure. This study uses a Bayesian approach that reveals complex patterns and dynamic changes in ecosystems that remain invisible when using traditional statistical methods. This approach contributes to a deeper understanding of processes occurring in water bodies and to the optimization of fisheries management. Bayesian analysis allows for more accurate predictions of changes in fish populations and their structures, which contributes to improved management of aquatic ecosystems and the conservation of biodiversity.

**Keywords:** Bayesian analysis, water resources management, monitoring, biodiversity, fisheries.

Қ.М. Шапен<sup>1</sup>, А. Ахмедов<sup>2</sup>, А.Т. Рахимова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

<sup>2</sup> Даллас колледжі, Даллас қ., АҚШ

## ТҰШЫ СУ ЭКОЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ БАЛЫҚ РЕСУРСТАРЫНЫҢ ЖАҒДАЙЫН КЕШЕНДІ БАҒАЛАУ ҮШІН БАЙЕС ТАЛДАУЫН ҚОЛДАНУ

### Аңдатпа

Су ресурстары, соның ішінде өзендер, көлдер мен су қоймалары экологиялық тепе-теңдікті сақтауда, балық шаруашылығын дамытуда және биологиялық әртүрлілікті сақтауда шешуші рөл атқарады. Су ресурстарын тиімді басқаруды және ұтымды пайдалануды қамтамасыз ету үшін жыл сайын балық аулаудың қолайлы көлемін анықтауға және су ортасын сақтау стратегиясын әзірлеуге бағытталған бақылау балық шаруашылығын қоса алғанда, ғылыми зерттеулер жүргізіледі. Мұндай зерттеулерде су сапасына, азық-түлікпен қамтамасыз ету жағдайына және балық популяциясының, оның ішінде түрлерінің, санының және жас құрылымының талдауына ерекше көңіл бөлінеді. Бұл зерттеу дәстүрлі статистикалық әдістерді қолдану арқылы көрінбейтін экожүйелердегі күрделі заңдылықтар мен динамикалық өзгерістерді ашу үшін Байес әдісін пайдаланады. Бұл тәсіл су объектілерінде болып жатқан процестерді тереңірек түсінуге және балық ресурстарын басқаруды оңтайландыруға ықпал етеді. Байес талдауы балықтар популяциясының және олардың заңдылықтарының өзгеруін дәлірек болжауға мүмкіндік береді, бұл су экожүйелерін басқаруды жақсартуға және биологиялық әртүрлілікті сақтауға әкеледі.

**Түйін сөздер:** Байес талдауы, су ресурстарын басқару, мониторинг, биоәртүрлілік, балық шаруашылығы.

К.М. Шапен<sup>1</sup>, А. Ахмедов<sup>2</sup>, А.Т. Рахымова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

<sup>2</sup> Даллас колледж, Даллас, США

## **ПРИМЕНЕНИЕ БАЙЕСОВСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ РЫБНЫХ РЕСУРСОВ В ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ**

### **Аннотация**

Водные ресурсы, включая реки, озера и водоемы, играют ключевую роль в поддержании экологического баланса, развитии рыболовства и сохранении биоразнообразия. Для обеспечения эффективного управления и рационального использования водных ресурсов ежегодно проводятся научные исследования, включающие контрольные ловы рыбы, которые направлены на определение допустимых объемов вылова и разработку стратегий сохранения водной среды. В рамках таких исследований особое внимание уделяется качеству воды, состоянию кормовой базы и анализу рыбных популяций, включая виды, численность и возрастную структуру. В данном исследовании используется байесовский подход, который позволяет выявить сложные закономерности и динамические изменения в экосистемах, которые остаются незаметными при применении традиционных методов статистики. Этот подход способствует более глубокому пониманию процессов, происходящих в водоемах, и оптимизации управления рыбными ресурсами. Байесовский анализ позволяет более точно прогнозировать изменения в популяциях рыб и их структурах, что способствует улучшению управления водными экосистемами и сохранению биоразнообразия.

**Ключевые слова:** Байесовский анализ, управление водными ресурсами, мониторинг, биоразнообразие, рыболовство.

### **Main provisions**

The study analyzes fish population dynamics in Kazakhstan using a Bayesian approach, which reveals hidden patterns that are difficult to detect with traditional methods. The results show changes in fish abundance and age, helping to assess population sustainability and improve water resource management. Special attention is given to monitoring the food base and water quality, which influence fish development. Bayesian analysis enhances predictions of changes and optimizes fishery management, contributing to the preservation of ecosystems and biodiversity.

### **Introduction**

The Republic of Kazakhstan possesses significant water resources, including more than 5,000 rivers, lakes, and other bodies of water, which play a crucial role in maintaining ecological balance, developing fisheries, and preserving biodiversity [1]. These aquatic ecosystems are not only vital natural resources but also play a decisive role in the sustainable socio-economic development of the region. They provide a variety of ecosystem services, such as water supply, maintenance of biological diversity, and play a central role in the fishing industry, which is an important sector of the economy [2, 3].

To ensure effective management and rational use of water resources, scientific research is conducted annually, including fish stock assessments, which allow for the evaluation of population status and resilience [4, 5]. These studies aim to establish permissible catch volumes and develop and implement strategies for the conservation of aquatic environments [6]. A crucial part of such research is the monitoring of fish populations, which provides data on species composition, abundance, and age structure, as well as identifying changes in their ecosystems. This data forms the basis for management decisions aimed at the conservation and sustainable use of water resources [7].

One of the important aspects of environmental monitoring is the use of modern statistical methods, including the Bayesian approach. Bayesian analysis is a contemporary method for statistical inference that allows combining prior information about a parameter with new data to obtain an updated understanding of the parameter's value. This method is particularly useful in conditions of uncertainty and complexity, as it allows for the consideration of both prior knowledge and newly acquired data.

The advantages of Bayesian analysis include the integration of prior knowledge, sequential learning, flexibility, and adaptability [8-10].

Bayesian analysis allows for modeling and accounting for uncertainties in data, which enables more accurate predictions of changes in fish populations and the identification of hidden patterns in the data that are not always apparent when using traditional statistical methods [11-13]. This method provides a more comprehensive understanding of potential changes in aquatic ecosystems and can become an important tool in fishery management. The use of the Bayesian approach also allows for the consideration of changes in population structure and more precise forecasting of their future development [11, 14].

The application of Bayesian analysis in assessing the dynamics of fish populations and their ecosystems improves long-term planning in water resource management and provides opportunities for optimizing fisheries and developing measures to conserve the biodiversity of water bodies. It also contributes to enhancing the quality of scientific forecasts and increasing the accuracy of management decisions in fisheries and ecology [9, 13]. Thus, the use of the Bayesian approach enhances the efficiency of monitoring, forecasting, and managing fish resources, promoting the sustainable development of aquatic ecosystems and ensuring the safety of fisheries in Kazakhstan.

### Research Methods

This study used a Bayesian approach to analyse data on fisheries catches and age structure of fish populations. Bayesian analysis was chosen as the main research tool due to its ability to account for uncertainty in the data and use prior knowledge, which allows for more accurate modeling of trends and forecasts. The basis of Bayesian statistics is the following formula

$$P(\theta|D) = \frac{P(\theta|D)P(\theta)}{P(D)},$$

where  $P(\theta|D)$  represents the posterior distribution of parameters  $\theta$  for given data  $D$ ,  $P(\theta|D)$  describes the likelihood of the data,  $P(\theta)$  is the prior distribution of the parameters, and  $P(D)$  acts as a normalization constant that ensures the correctness of the probability distribution.

To model the age structure of fish populations, a normal distribution was used, which allows for flexible description of variable indicators such as mean age:

$$Age \sim \mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$$

where  $\mu$  is the mean age value and  $\sigma^2$  is the variance characterizing the degree of variability.

The analysis of data on the proportions of different species in the test catches was carried out using a categorical distribution that can adequately account for the probabilities of proportional representation of species:

$$Share\ of\ fish\ species \sim Categorical(p_1, p_2, \dots, p_k)$$

where  $p = [p_1, p_2, \dots, p_k]$  are probabilities corresponding to  $k$  different fish species.

The Markov Chain Monte Carlo (MCMC) method was used to estimate the parameters, which allows iterative generation of samples from complex posterior distributions. The expected value of the parameter  $\theta$  was approximated based on the sample mean:

$$\mathbb{E}[\theta] \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \theta_i,$$

where  $N$  is the total number of samples and  $\theta_i$  are the individual parameter values obtained from the posterior distribution.

The main advantage of the Bayesian method lies in its ability to handle uncertainty, which is crucial when analyzing ecological data, where there can be various sources of errors and variability. Unlike classical methods such as linear regression, the Bayesian approach allows for the consideration of probabilistic distributions for all model parameters, providing a more comprehensive understanding of potential trends and changes in fish populations.

To analyze the collected data, a Python script was developed, which automated data processing and model building. The primary library used for Bayesian analysis was PyMC, which allows for the creation of complex statistical models and sampling from the posterior distribution of parameters using the Markov Chain Monte Carlo (MCMC) method [10].

The MCMC method allows for obtaining samples of model parameters and estimating their distributions. This is particularly important when data is limited and it is necessary to account for the variability of parameters in the model.

The main focus was on identifying trends based on two key indicators:

1. Average age of fish – an indicator reflecting the age structure of populations, allowing for the assessment of reproduction dynamics and generational turnover.
2. Proportion of a specific species in control catches – a relative indicator characterizing the distribution of populations and their dominant position in the ecosystem.

It should be noted that the indicators of average age and quantity in the control catch are independent and assess the state of fish resources indirectly. The coincidence of trends in changes in average age and the share of species in catches serves as an additional indicator of the state of fish resources. For example, an increase in average age combined with a decrease in the share of a specific fish species in the control catch may indicate a slowdown in population reproduction, while their opposite dynamics may indicate an improvement in environmental conditions or the effectiveness of regulatory measures.

The study is based on scientific fishing data conducted on the Yesil River from 2014 to 2023. The analysis included an assessment of the average age of fish in catches and the proportional distribution of the main species in control samples. The tabular materials contain information on such species as Roach, Bream, Pike, Common bass, and Tench (Tables 1-2). The presented data were used to perform analytical calculations and prepare reporting materials intended for submission to the LLP «Fisheries Research and Production Center».

Table 1. Average age of fish in the control catch, years

<i>Year</i>	<i>Roach</i>	<i>Bream</i>	<i>Pike</i>	<i>Common bass</i>	<i>Tench</i>
2014	3.98	4.67	3.41	3.80	5.92
2015	3.57	4.11	3.66	3.64	5.00
2016	2.93	3.73	2.87	3.09	6.67
2017	2.86	3.48	2.65	3.06	4.70
2018	2.94	2.53	2.40	2.76	3.37
2019	3.17	2.78	2.56	3.17	3.92
2020	3.75	3.67	3.17	3.43	4.07
2021	3.11	2.99	2.89	2.98	3.37
2022	4.13	3.91	2.88	4.36	5.30
2023	3.48	4.27	3.69	4.08	6.67

Table 2. Share of fish in the control catch, %

Year	Roach	Bream	Pike	Common bass	Tench	Total
2014	36.01	13.67	6.94	35.14	8.24	100.00
2015	41.80	15.17	5.88	32.51	4.64	100.00
2016	40.10	15.40	3.89	38.07	2.54	100.00
2017	35.92	24.35	3.45	34.54	1.73	100.00
2018	30.29	25.63	6.27	32.97	4.84	100.00
2019	37.48	21.26	6.29	31.70	3.27	100.00
2020	31.94	20.00	5.75	26.64	15.67	100.00
2021	28.38	19.03	7.03	29.26	16.30	100.00
2022	30.71	27.24	8.78	28.34	4.94	100.00
2023	45.39	21.05	4.28	28.29	0.99	100.00

### Results

The results of the analysis shown in Figures 1-10, conducted using a Bayesian approach, demonstrate changes in the average age of fish and the share of each species in the control catches from 2014 to 2023. These data allow for the identification of key trends in fish populations and the assessment of the impact of environmental factors on their distribution and age structure.

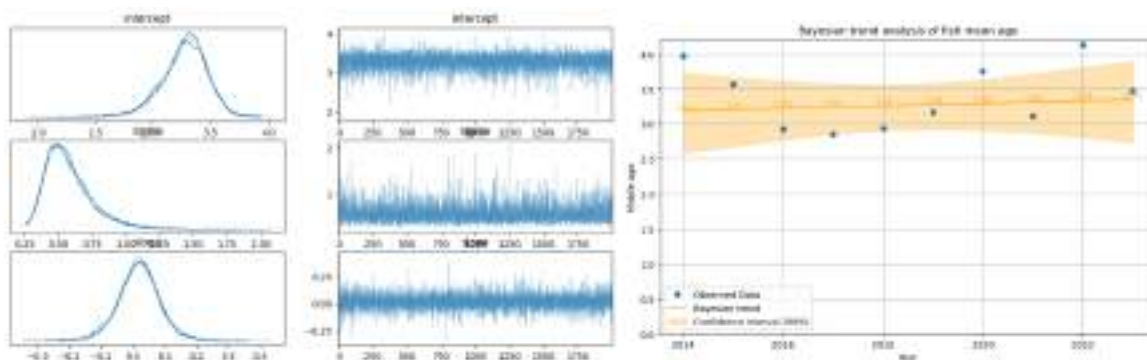


Figure 1. Roach: Trend of average age, years

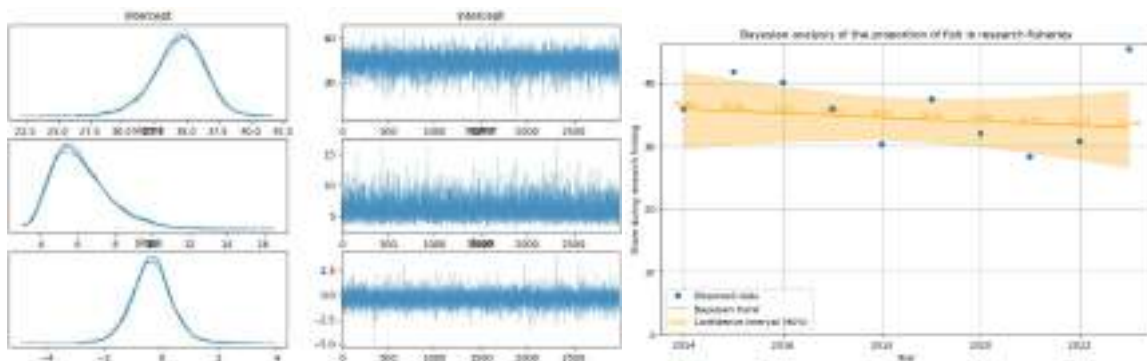


Figure 2. Roach: Trend of share in the control catch, %

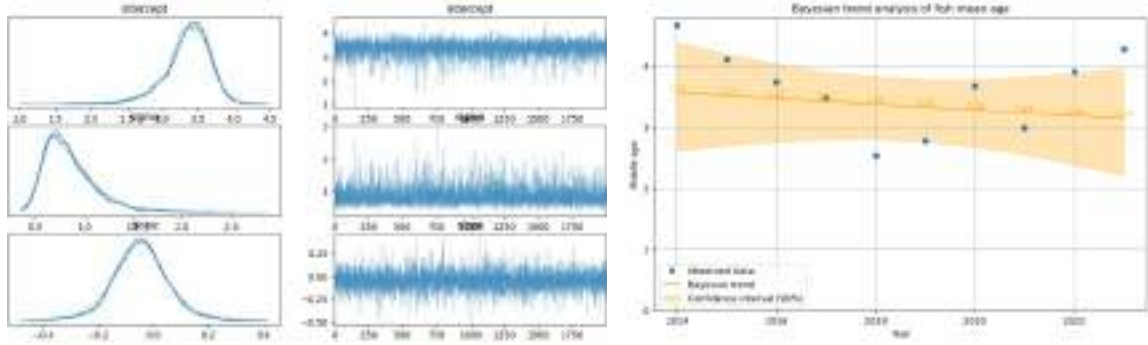


Figure3. Bream: Trend of average age, years

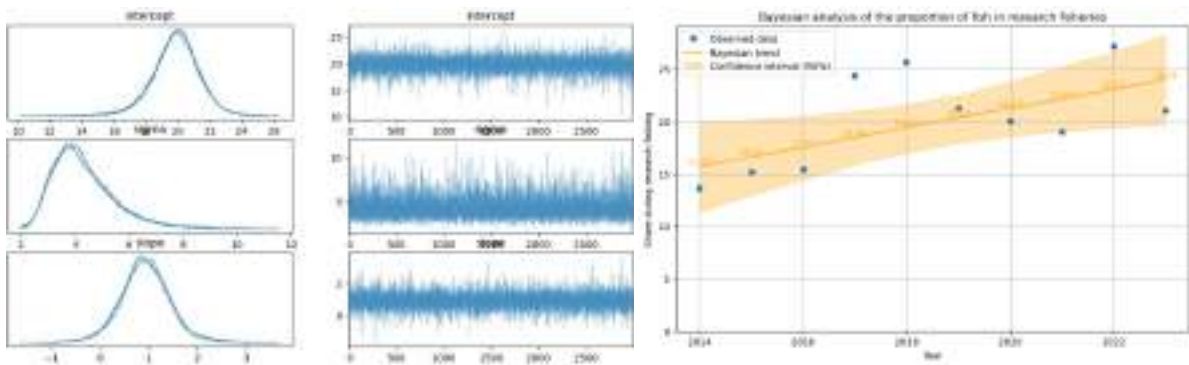


Figure 4. Bream: Trend of share in the control catch, %

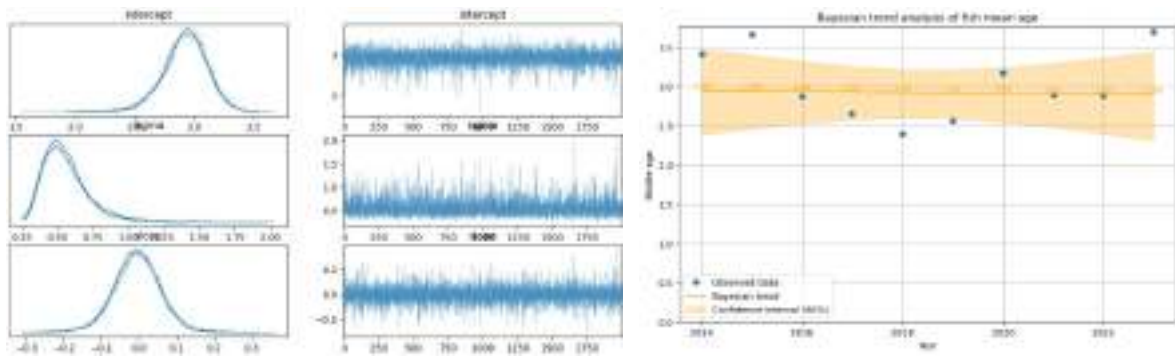


Figure 5. Pike: Trend of average age, years

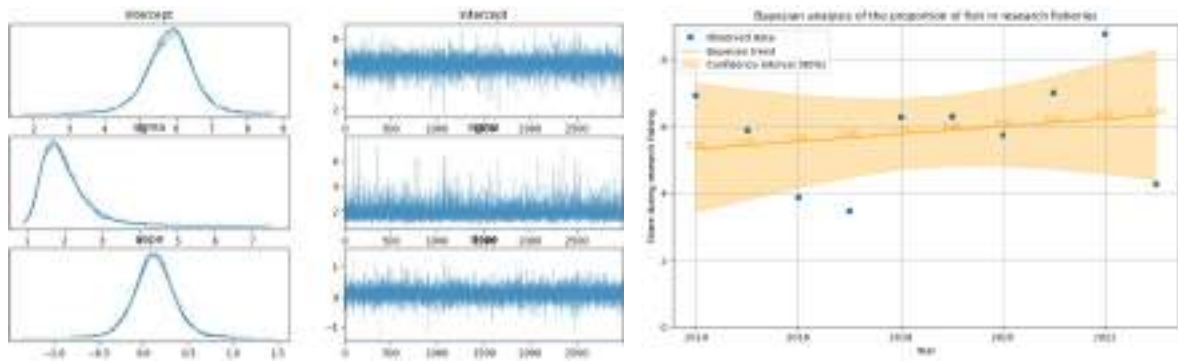


Figure 6. Pike: Trend of share in the control catch, %



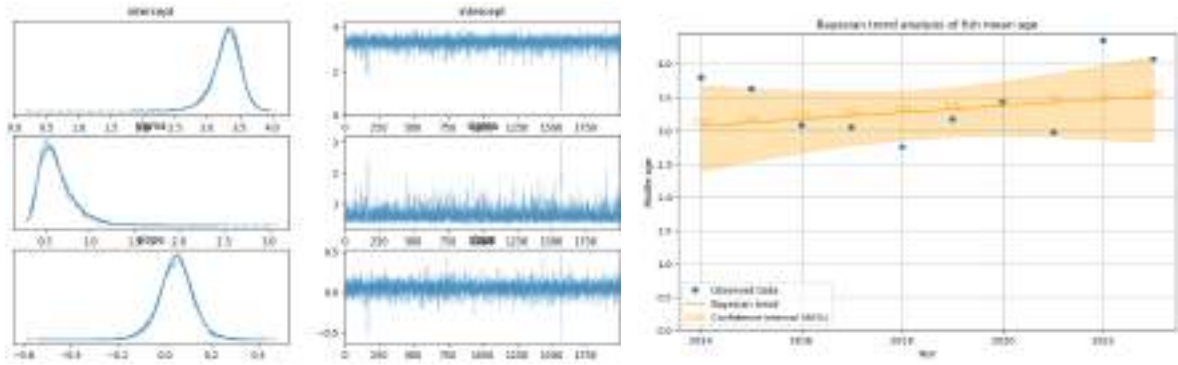


Figure 7. Common bass: Trend of average age, years

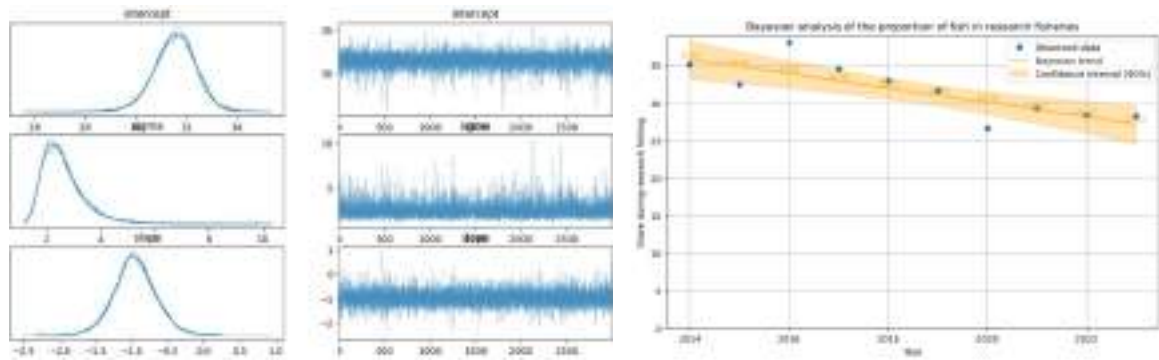


Figure 8. Common bass: Trend of share in the control catch, %

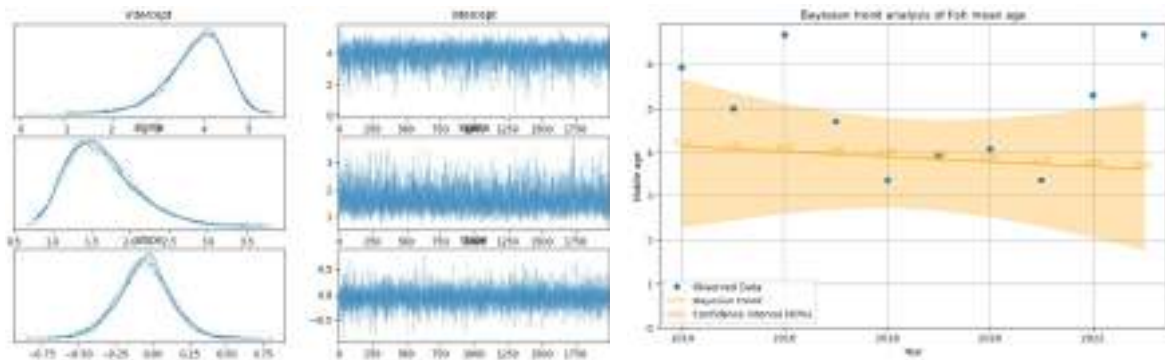


Figure 9. Tench: Trend of average age, years

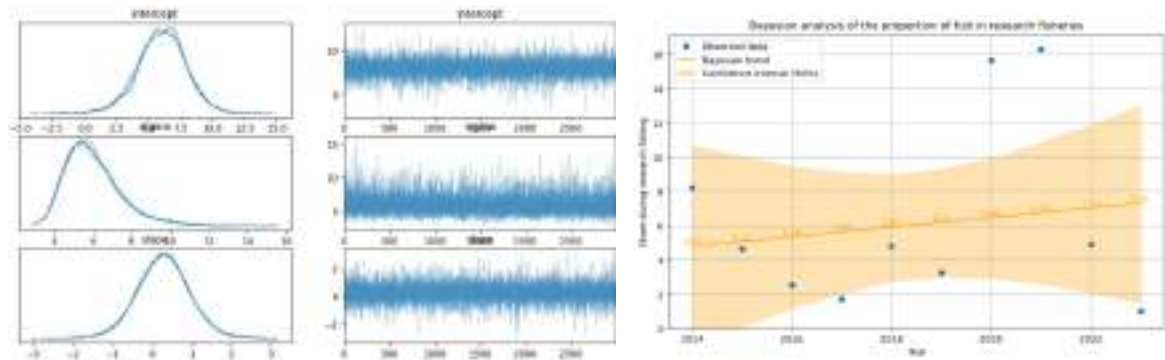


Figure 10. Tench: Trend of share in the control catch, %

The study produced regression lines that reflect the main trend in changes in the average age of fish and the share of each fish species in the control catches. These indicators are independent, and their mutual coincidence allows us to judge the consistency and accuracy of the control methods used to monitor the state of fish populations. Analyzing trends for each of these indicators allows for a deeper understanding of the dynamics of fish resources and the assessment of the effectiveness of catch management.

Additionally, it is important to consider changes in the average age of fish, which should be within the desired range to maintain ecosystem stability. This indicator also requires constant monitoring to promptly identify possible deviations and adjust fishery management measures.

Table 3. Changes in regression line values by year

Fish type	2014		2023		Difference	
	Age	Share %	Age	Share %	Age	Share %
Roach	3.19	36.01	3.55	32.88	0.36	-3.13
Bream	3.56	15.75	3.14	24.00	-0.42	8.25
Pike	2.95	5.31	2.89	6.35	-0.06	1.04
Common bass	3.07	35.82	3.52	27.21	0.45	-8.61
Tench	4.12	4.77	3.61	7.33	-0.51	2.56

In Table 3, a decrease in the share of roach and perch in the control catches can be observed, while their age has also increased. This may indicate a decline in the population of these species in the water body. At the same time, the indicators for bream, pike, and tench show a more positive trend: the share of these species in the catch has increased, and their age in the control catches has become younger. These changes may indicate improved conditions for these species in the water body and more effective reproduction.

### Discussion

The results of this study highlight the complexity of fisheries management, even with long-term monitoring data. One of the key problems is the poor quality and incompleteness of the information collected. Data on the abundance and age structure of fish populations often contain significant errors and omissions, which significantly limits the ability to conduct accurate analysis. This, in turn, makes it difficult to develop scientifically sound recommendations for catch management.

In addition, traditional methods of analysis are not effective enough to account for the complex relationships between environmental factors and fish population characteristics. High uncertainty and variability in natural conditions often mean that many key patterns remain hidden. For example, existing data rarely allow direct assessment of the total volume of fish in a water body, which requires more flexible approaches.

In this regard, the use of Bayesian analysis seems to be a promising method. This approach allows for both uncertainties and complex relationships between variables, making it particularly useful for assessing the state of fishery resources in conditions of incomplete data. The use of this method helps to obtain more accurate and reliable results, which can significantly improve the efficiency of fishery resource management.

### Conclusion

The study analyzed the dynamics of fish populations in the Yesil River based on long-term data on test catches and the age structure of fish. The Bayesian approach used allowed us to identify key patterns in changes in the state of fish resources, as well as to assess the impact of various factors on their numbers and age.



The results of the analysis showed that for some fish species, such as roach and perch, there is an increase in their age and a decrease in their share in catches, which may indicate a decrease in the number of these species in the reservoir. At the same time, the improvement in indicators for Bream, Pike and Tench, both in terms of share in catches and in age, indicates more favorable conditions for these species. These data are important for developing recommendations for sustainable fisheries and preserving water body ecosystems.

As part of the overall fisheries research in the Republic of Kazakhstan, it is necessary to determine the optimal average age for each fish species depending on the conditions of the water body.

Thus, Bayesian analysis has proven to be an effective tool for assessing the state of fish resources and monitoring their changes, as well as for identifying hidden patterns that would be difficult to notice using traditional methods. The application of such methods in the future will allow for more precise regulation of fish catches, which will contribute to maintaining the ecological balance in the water bodies of Kazakhstan.

### Acknowledgements

This research has been/was/is funded by the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR23591095)

#### Список использованных источников

[1] Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2023 год. <https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/documents/details/762991?lang=ru>

[2] Безмятежных Д.М. (2009). Водные экосистемы: состав, структура, функционирование и использование: учебное пособие. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та. 18(3), - 97 с. DOI: [10.13140/RG.2.1.1253.0727](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1253.0727)

[3] Исбеков К.Б. (2014). Устойчивое использование рыбных ресурсов и перспективы сохранения биологического разнообразия ихтиофауны в основных рыбохозяйственных водоемах Казахстана. Диссертация.

[4] Kurzhykayev, Z., Shutkarayev, A.V., Barinova, G.K., Assylbekova, A.S., Popov, V.A. (2023). Assessing the ecological and biological forage base of the Tobol river: Implications for planktonic and benthic communities // *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*. 18(3), P. 605–611. DOI: [10.18280/ij dne.180312](https://doi.org/10.18280/ij dne.180312)

[5] Kurzhykayev, Z., Syzdykov, K., Assylbekova, A., Sabdinova, D., Fefelov, V. (2019). Actual status of fishing reserves of the Yesil river // *Zoologia*. №36, e30437 DOI: [10.3897/zoologia.36.e30437](https://doi.org/10.3897/zoologia.36.e30437)

[6] Асылбекова С. Ж. Исбеков К. Б. Куликов Е. В. Критические значения водности для запасов рыб в водоемах Казахстана // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: рыбное хозяйство*. № 1, 2017. С. 9-18.

[7] Асылбекова С. Ж. Куликов Е. В. Исбеков К. Б., Кадимов Е. Л., Туменов А. Н. Разработка мер по сохранению биологического разнообразия рыб, предложений по организации системы мониторинга состояния популяций редких видов рыб западного региона республики Казахстан // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: рыбное хозяйство*. № 2, 2024. С. 23-31

[8] Gelman A., Carlin J. B., Stern H., Dunson D. B., Vehtari A., Rubin D. B. (2013). *Bayesian data analysis* (3rd ed.). CRC Press. DOI: [doi.org/10.1201/b16018](https://doi.org/10.1201/b16018)

[9] Doll J.C., Jacquemin S.J. (2019). Bayesian Model Selection in Fisheries Management and Ecology. *Journal of Fish and Wildlife Management*, 10(2), 691-707. DOI: [10.3996/042019-JFWM-024](https://doi.org/10.3996/042019-JFWM-024)

[10] Will Kurt. *Bayesian Statistics the Fun Way*. (2019). No Starch Press. -289 p.

[11] Noe'l Michael Andre' Holmgren, Niclas Norrstro, Robert Aps, Sakari Kuikka. (2014). A Concept of Bayesian Regulation in Fisheries Management. *PLOS ONE*, 9(11), 1-13. DOI: [10.1371/journal.pone.0111614](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111614)

[12] Renate Meyer, Russell B Millar. (1999). BUGS in Bayesian stock assessments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56(4), 666-676. DOI: [doi.org/10.1139/f99-043](https://doi.org/10.1139/f99-043)

[13] Walters C.J., Martell S.J.D. (2004). *Fisheries Ecology and Management*. Princeton University Press.

[14] Yan Jiao, Christopher Hayes, and Enric Corte's. (2008). Hierarchical Bayesian approach for population dynamics modelling of fish complexes without species-specific data. *ICES Journal of Marine Science* 66(2), 367-377. DOI: [10.1093/icesjms/fsn162](https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn162)

#### References

[1] National report on the state of the environment and the discovery of resources of the Republic of Kazakhstan for 2023. <https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/documents/details/762991?lang=ru>

[2] Bezmetyazhnykh, D. M. (2009). *Vodnye ekosistemy: sostav, struktura, funktsionirovaniye i ispol'zovaniye* [Aquatic Ecosystems: Composition, Structure, Functioning, and Utilization]. *Uchebnoye posobie* [Textbook]. Barnaul: Izd-vo Alt. un-ta. 18(3), 97 p. DOI: 10.13140/RG.2.1.1253.0727. (In Russian)

[3] Isbekov, K. B. (2014). *Ustoichivoe ispol'zovaniye rybnyykh resursov i perspektivy sokhraneniya biologicheskogo raznoobraziya ikhtiofauny v osnovnykh rybokhozyaystvennykh vodoemakh Kazakhstana* [Sustainable Use of Fish Resources and Prospects for the Conservation of Ichthyofauna Biodiversity in Major Fisheries of Kazakhstan]. Dissertation. (In Russian)

[4] Kurzhykayev, Z., Shutkarayev, A.V., Barinova, G.K., Assylbekova, A.S., Popov, V.A. (2023). Assessing the ecological and biological forage base of the Tobol river: Implications for planktonic and benthic communities // *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*. 18(3), P. 605–611. DOI: 10.18280/ijdne.180312

[5] Kurzhykayev, Z., Syzdykov, K., Assylbekova, A., Sabdinova, D., Fefelov, V. (2019). Actual status of fishing reserves of the Vesil river // *Zoologia*. №36, e30437 DOI: 10.3897/zoologia.36.e30437

[6] Assylbekova S. Zh., Isbekov K. B., Kulikov E. V. Critical values of water content for fish stocks in water bodies of Kazakhstan // *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: fisheries*. No. 1, 2017. P. 9-18. [In Russian]

[7] Assylbekova S. Zh., Kulikov E. V., Isbekov K. B., Kadimov E. L., Tumenov A. N. Development of measures to preserve the biological diversity of fish, proposals for organizing a system for monitoring the state of populations of rare fish species in the western region of the Republic of Kazakhstan // *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: fisheries*. No. 2, 2024. P. 23-31. [In Russian]

[8] Gelman A., Carlin J. B., Stern H., Dunson D. B., Vehtari A., Rubin D. B. (2013). *Bayesian data analysis* (3rd ed.). CRC Press. DOI: [doi.org/10.1201/b16018](https://doi.org/10.1201/b16018)

[9] Doll J.C., Jacquemin S.J. (2019). Bayesian Model Selection in Fisheries Management and Ecology. *Journal of Fish and Wildlife Management*, 10(2), 691-707. DOI: [10.3996/042019-JFWM-024](https://doi.org/10.3996/042019-JFWM-024)

[10] Will Kurt. *Bayesian Statistics the Fun Way*. (2019). No Starch Press. -289 p.

[11] Noe'l Michael Andre' Holmgren, Niclas Norrstro, Robert Aps, Sakari Kuikka. (2014). A Concept of Bayesian Regulation in Fisheries Management. *PLOS ONE*, 9(11), 1-13. DOI: [10.1371/journal.pone.0111614](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111614)

[12] Renate Meyer, Russell B Millar. (1999). BUGS in Bayesian stock assessments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56(4), 666-676. DOI: [doi.org/10.1139/f99-043](https://doi.org/10.1139/f99-043)

[13] Walters C.J., Martell S.J.D. (2004). *Fisheries Ecology and Management*. Princeton University Press.

[14] Yan Jiao, Christopher Hayes, and Enric Corte's. (2008). Hierarchical Bayesian approach for population dynamics modelling of fish complexes without species-specific data. *ICES Journal of Marine Science* 66(2), 367-377. DOI: [10.1093/icesjms/fsn162](https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn162)

## ФИЗИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР МЕН МЕХАНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

### MODELING OF PHYSICAL PROCESSES AND MECHANICAL SYSTEMS

ГТАХР 50.47.29

10.51889/2959-5894.2024.88.4.008

А.Қ. Жұмабаева<sup>\*1</sup>, Б.Т. Иманбек<sup>1</sup>, З.М. Абдияхметова<sup>1</sup>, Г.А. Тюлепбердинова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: [kalybaikyzy@inbox.ru](mailto:kalybaikyzy@inbox.ru)

### АНАЭРОБТЫ РЕКТОРЛАРДАҒЫ БИОГАЗ ӨНДІРУ ЖЫЛДАМДЫҒЫНЫҢ КВАНТТЫҚ РЕГРЕССИЯСЫНА АРНАЛҒАН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ

#### Аңдатпа

Анаэробты ашыту-тазартылмаған тұнбаны өңдеуге арналған ағынды суларды тазарту станцияларында жақсы қалыптасқан құрал; оны анаэробты реакторларда биогаз жинау арқылы жаңартылатын энергия үшін де пайдалануға болады. Температура сияқты жұмыс параметрлерін әдетте қондырғы операторлары сараптамалық білімге сәйкес белгілейді. Операциялық басқару әлеуетін толық пайдалану үшін бұл зерттеуде біз алты жылдық өмірдегі уақыт қатарының деректері, сондай-ақ мемлекеттік мерекелер сияқты категориялық сипаттамалар негізінде жаңа уақытша синтез түрлендіргішін калибрледік. Дәстүрлі деректерге негізделген әдістерден айырмашылығы, модель дизайны бірнеше факторларды есепке алу арқылы нәтижелердің өзара алмастырылуын қамтамасыз етеді. Биогаз өндірісінің орташа көрсеткіштерін алдағы жеті күнге болжаумен қатар, біздің модель сандық мәндерді де береді, бұл оны күшті ауытқуларға азырақ бейім етеді. Нұсқаулық ретінде біз белгілі үш статистикалық әдісті қолдандық. Біздің болжау тәсіліміздің орташа абсолютті пайыздық қателігі 8% - дан аз.

**Түйін сөздер:** Анаэробты ашыту, биореактор, уақытша біріктіру трансформаторы, машиналық оқыту.

А.Қ. Жұмабаева<sup>1</sup>, Б.Т. Иманбек<sup>1</sup>, З.М. Абдияхметова<sup>1</sup>, Г.А. Тюлепбердинова<sup>1</sup>  
Казахский национальный университет им.аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан  
**МАШИНОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ КВАНТИЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ СКОРОСТЕЙ  
ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА В АНАЭРОБНЫХ РЕАКТОРАХ**

#### Аннотация

В этой статье рассматривается применение машинного обучения к квантовой регрессии скорости производства биогаза в анаэробных реакторах. Анаэробная ферментация-это хорошо зарекомендовавший себя инструмент на очистных сооружениях для обработки сырого осадка. Его также можно использовать для возобновляемых источников энергии, собирая биогаз в анаэробных котлах. Операторы установки обычно устанавливают рабочие параметры, такие как температура, в соответствии с экспертными знаниями. Чтобы полностью использовать потенциал оперативного управления, в этом исследовании мы откалибровали новый темпоральный термоядерный трансформатор на основе данных временных рядов шкалы жизни за шесть лет вместе с категориальными признаками, такими как государственные праздники. Дизайн модели обеспечивает взаимозаменяемость выходных данных по сравнению с традиционными методами данных, которые

используют больше внимания. Помимо прогнозирования средних темпов производства биогаза в течение следующих семи дней, наша модель также дает квантили, что делает ее менее подверженной сильным колебаниям. В качестве руководства мы использовали три известных статистических метода. Средняя абсолютная процентная погрешность нашего прогнозируемого подхода составляет менее 8%.

**Ключевые слова:** анаэробное брожение, биореактор, темпоральный термонуклеарный трансформатор, машинное обучение.

A.K. Zhumabaeva, B.T. Imanbek, Z.M. Abdiakhmetova, G.A. Tyulepberdinova  
Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

## **MACHINE LEARNING FOR QUANTILE REGRESSION OF BIOGAS PRODUCTION RATES IN ANAEROBIC REACTORS**

### *Abstract*

This article discusses the application of machine learning to the quantum regression of biogas production rate in anaerobic reactors. Anaerobic fermentation is a well-proven tool in wastewater treatment plants for the treatment of raw sludge. It can also be used for renewable energy sources by collecting biogas in anaerobic boilers. Installation operators usually set operating parameters, such as temperature, according to expert knowledge. In order to fully exploit the potential of operational management, in this study we calibrated a new temporal thermonuclear transformer based on data from the time series of the life scale over six years, along with categorical features such as public holidays. The design of the model ensures the interchangeability of the output data compared to traditional data methods that use more attention. In addition to predicting average biogas production rates over the next seven days, our model also provides quantiles, which makes it less susceptible to strong fluctuations. We used three well-known statistical methods as a guide. The average absolute percentage error of our predicted approach is less than 8%.

**Keywords:** anaerobic fermentation, bioreactor, temporal thermonuclear transformer, machine learning.

### **Кіріспе**

Анаэробты ашыту (АА) көптеген Ағынды суларды тазарту қондырғыларында (АСТҚ) тұнбаны тазарту шеңберінде де, жаңартылатын энергия көзі ретінде де маңызды рөл атқарады. Алынған биогаз, аз мөлшерде қоспалардан басқа, екеуінің де тіркесімі болып табылады, мысалы, газ қозғалтқыштарындағы электр энергиясы түрінде энергия өндіру үшін пайдаланылуы мүмкін[1]. Алайда Ағынды суларды тазарту қондырғыларында жұмыс істейтін толық масштабты пештерде АА жұмыс параметрлерін тәжірибе жасауға және конфигурациялауға батылы бармайды. Жалпы шешім – модельдерді зертханада калибрлеу немесе нақты деректер жиынтығын пайдалану, содан кейін әртүрлі айнымалыларды түзету кезінде оларды бақылау. Зерттеу кезінде инженерлік қоғамдастықта кеңінен талқыланған және танымал көп қабатты жасанды нейрондық желілерді (ЖНЖ) қолдандық. Көп қабатты ЖНЖ көптеген АА жұмыс параметрлерін өңдей алады. Биохимиялық процестер, сыртқы параметрлер қатты әсер ететін әртүрлі шамалар арасындағы күрделі өзара әрекеттесулермен байланысты. Осылайша, бұл зерттеуде біз биогаз өндірісінің жылдамдығын болжау үшін уақытша біріктіру трансформаторы (УБТ) деп аталатын жаңа МО архитектурасын үйреттік. УБТ категориялық және үздіксіз айнымалыларды өңдей алады. Сондай - ақ назар аудару механизмі УБТ болжау кезінде ең көп сүйенетін жеке ерекшеліктерді көрсетуге мүмкіндік береді. УБТ кванттық жоғалту функциясы арқылы калибрленеді. Биогаз өндірісінің жылдамдығын нүктелік бағалау шығудың белгісіздігін көрсететін интервалдармен ауыстырылады.

### **Зерттеу әдіснамасы**

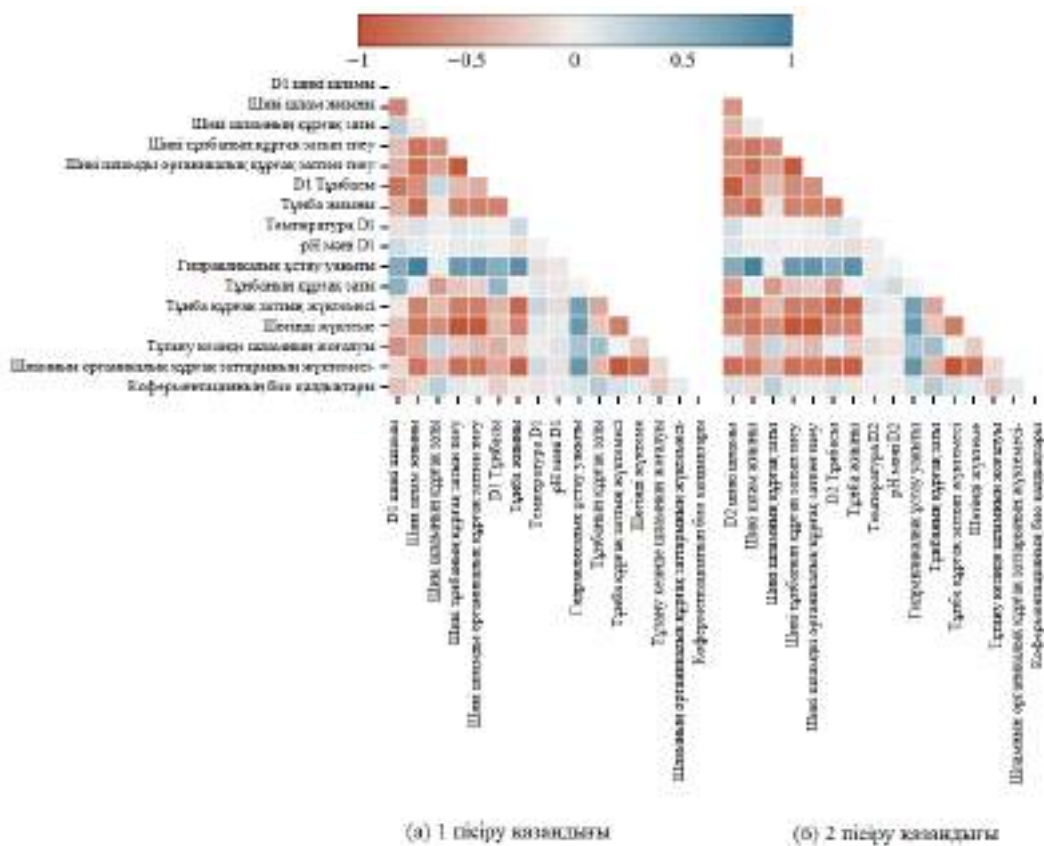
Бұл зерттеуде біз жасанды зертханалық деректер жинағын емес, нақты пештен алынған өнеркәсіптік деректер жинағын қолдандық. Әрі қарайғы қадамдар уақыт сериясының деректерін тазарту мен алдын-ала өңдеуді қамтыды. Машиналық оқыту (МО) моделінің архитектурасы және оның артықшылықтары сипатталған. Калибрлеуден кейін біз модель





Назар аударып қарасақ, әр нысанды  $\min$ - $\max$  масштабтағаннан кейін олар  $[0, 1]$  интервалында орналасады, бұл графиктерді жалпы X осі бойынша сәйкестендіруге мүмкіндік береді. Температура сипаттамасында сәйкесінше минималды және максималды мәндері  $22,41^\circ\text{C}$  және  $98,71^\circ\text{C}$  болатын шығарындылардың ең көп саны болды. Екі пештің де орташа жұмыс температурасы  $38,15^\circ\text{C}$  болғандықтан, біз бұл шығарындыларды қате өлшемдерге жатқыза аламыз.

Пайдалану параметрлерінің тәуелділіктерін табу үшін біз 2- суретте көрсетілгендей барлық жұптық корреляцияларды есептедік. Екі пештен де біз төрт бірдей оң және бір теріс корреляциялық жұп белгілерді таптық. Тұнба жүктемесі, сондай-ақ шикі тұнбаның органикалық құрғақ затының жүктемесі шикі тұнба құрғақ затымен өте оң корреляцияланды. Тұнба құрамындағы органикалық құрғақ заттардың мөлшері тұнба құрамындағы құрғақ заттармен тығыз байланысты болды. Ақырында, гидравликалық ұстау уақыты шикі тұнбаның жалпы мөлшерімен теріс корреляцияланды. Екі қатты теріс немесе оң корреляциялық белгілер болған кезде, олардың біреуін деректер жиынтығынан алып тастауға болады, өйткені қосымша ақпарат жоғалмайды және модельді калибрлеу жеделдетіледі. Осылайша, жоғарыда аталған функциялар оқыту, валидация және тестілік деректер жиынтығынан алынып тасталды.



Сурет 2. Корреляциялық матрица

Біз k-NN-де анаэробты реактордағы биогаз өндірісінің жылдамдығын болжау үшін негізгі негізді қамтамасыз ететін анықтамалық модельдер ретінде авторегрессиялық интеграцияланған жылжымалы орташа (ARIMA) және өзгертілген ЖНЖ шығардық.

k-NN бар регрессия - белгілі және жиі қолданылатын әдіс. Берілген деректер жиынтығы  $(x_j, y_j)$  кейбір  $y_j$  атрибуты бар  $x_j$  белгілері және евклидтік қашықтық сияқты метрика; k-NN сәйкестігі келесідегідей анықталады:

$$\hat{y}(x) = \frac{1}{k} \sum_{x_j \in N_k(x)} y_j \quad (1)$$

мұндағы  $N_k(x)$  - оқу деректерінің  $x$ -ге ең жақын  $k$  нүктелерінің жиынтығы.  $K$  гиперпараметрінің жоғарылауы мен төмендеуі сәйкесінше төмен және қайта оқытуға әкеледі, сондықтан  $k$  қолда бар деректерге сәйкес реттелуі керек. Біздің жағдайда біз  $K = 8$  шамадан тыс және жеткіліксіз дайындық арасындағы оңтайлы тепе-теңдік екенін анықтадық.

ARIMA-классикалық статистикадан алынған модель, көбінесе болжау мақсатында уақыт серияларының деректеріне қолданылады [5]. Модель бақылау мен кейбір алдын-ала анықталған артта қалған бақылаулар арасындағы тәуелді байланысты пайдаланады, оны уақыттың кешігуі деп те атайды. Ол уақыт қатарын тұрақты ету үшін шикі бақылауларды пайдаланады және қалдық қате мен бақылаулар арасындағы байланысты пайдаланады.  $P$ ,  $d$  және  $q$  айнымалылары сәйкесінше артта қалған бақылаулар санын, айырмашылық дәрежесін және жылжымалы орташа терезенің өлшемін білдіреді.

$$\left(1 - \sum_{j=1}^p \phi_j L^j\right) (1 - L)^d X_t = \delta + \left(1 + \sum_{j=1}^q \theta_j L^j\right) \varepsilon_t \quad (2)$$

Біз Дикки-Фуллердің кеңейтілген критерийін қолдана отырып, уақыт қатарының стационарлық екенін зерттедік және  $d = 0$  орнаттық. Бастапқы және сараланған уақыт қатарларының автокорреляциялық графиктеріне қарап, біз  $P = 5$  және  $q = 1$  екенін анықтадық, нәтижесінде  $Arima(5,0,1)$  моделі біздің жарнамалық деректер жиынтығымызға жақсы сәйкес келеді. ARIMA соңғы бақылауларды бастапқы деректер жинағында оқығанда ғана алға жылжытуды үйренгендіктен, біз қосымша алдын ала өңдеу қадамы ретінде дифференциацияны қостық.

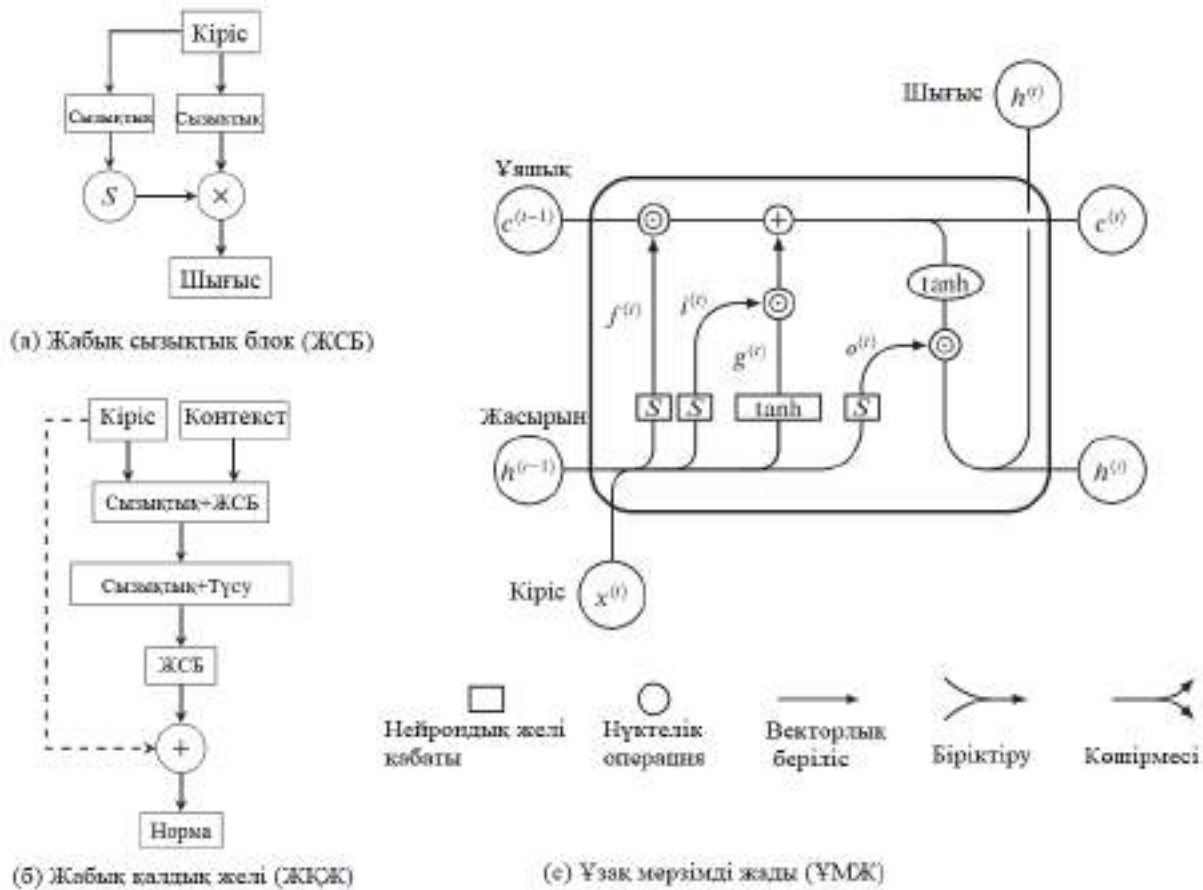
Лим Б., Арик С.О. интерпретацияланған көп көлденең уақыт сериясын болжауды орындау үшін трансформаторға негізделген УБТ әзірледі [10]. Соңғы энергетикалық зерттеулер УБТ-ді күн сәулесінен фотоэлектрлік энергияны бір күн бұрын немесе желдің жылдамдығын болжау үшін пайдаланады.

УБТ категориялық айнымалыларды, сондай-ақ статикалық метадеректерді ендіруде қолданады. Әрбір объект  $a$ -да көрсетіледі  $D$ -өлшемді вектор, мұндағы  $d = 8$  біздің жағдайда жеткілікті үлкен. Осыдан кейін кірістірілген сандық емес деректер де, тұрақты уақыт қатарлары да біріктіріліп, УБТ-ге жіберіледі. Біз жаттығу кезінде осы ендіру функциясының параметрлерін УБТ салмағымен бірге калибрледік.

Кіріс векторының барлық элементтері бірдей маңызды емес. Демек, УБТ 3(a)- суретте көрсетілгендей ақпарат ағынын басқаратын сызықтық блоктар сүйенеді. Вектор көшірілген, сызықтық қабат арқылы жіберілген және  $[0, 1]$  интервалында жату үшін  $S(x) = (1 + \exp(-x))^{-1}$  сигма тәрізді функциясымен қалыпқа келтірілген. Нөлге жақын мәндер маңызды емес бөліктерді білдіреді және керісінше болуы мүмкін. Нүктелік көбейту УБТ-дің кішігірім кіріс сипаттамаларын одан әрі өңдеуге жол бермейді, оларды нөлге орнатады.

Кіріс және қосымша контекстік вектор сызықтық емес түрлендіріліп, сызықтық блоктарға жіберіледі. Содан кейін нәтиже бастапқы кіріс векторына қосылады. Уақыт қатарының күрделілігі одан әрі сызықтық емес өңдеуді қажет етпейді деп есептесек, сызықтық блоктардың шығыстары нөлге жақын және сызықтық қабаттарды өшіреді. Осылайша, УБТ әртүрлі деректер жиынтығына бейімделеді және модельдің өзіндік күрделілігін реттейді, бұл оны қайта оқытуға төзімді етеді.

УБТ дизайны  $\text{softmax}$  функциясын статикалық метадеректерге де, айнымалылардың шағын таңдау желілері ішіндегі уақыт қатарының деректеріне де қолдана отырып, әр уақыт қадамында сәйкес функцияларды таңдауға мүмкіндік береді [7].



Сурет 3. УТТ құрылыс блоктары

Бұл вектор бірлікпен жинақталады және оны барлық ковариаттардың маңыздылық шкаласы ретінде түсіндіруге болады.

$$\sigma: IR^K \rightarrow [0,1]^K: z \mapsto \sigma(z)_j = \frac{e^{z_j}}{\sum_{k=1}^K e^{z_k}}, j=1, \dots, K \quad (3)$$

Жақында Васвани трансформаторды МО архитектурасын енгізді, ол назар аудару механизміне толығымен сүйене отырып, қайталанатын қатынастардан аулақ болады[8]. Назар аудару модельге қажет болған жағдайда кіріс тізбегінің тиісті бөліктеріне назар аударуға мүмкіндік береді. Ол маңызды функцияларды қолдайтын және кішігірім функцияларды таң қалдыратын фильтр ретінде әрекет етеді. Тарихи коварианттық деректердің  $x$  массивін ескере отырып, біз  $Q = XW_1$ ,  $sұрауын$ ,  $K = XW_2$  кілтін және  $V = XW_3$  мәндерінің матрицасын есептейміз.  $W_j$  матрицалары реттелетін параметрлер болып табылады және оларды оқу деректер жиынтығы негізінде калибрлеу керек. SoftMax (1) функциясын қолдану зейін ұпайларын береді, олардың мәндері келесідегідей өлшенеді:

$$\text{Attention}(Q, K, V) = \sigma\left(\frac{QK^T}{\sqrt{n}}\right)V, \quad (4)$$

Біз осы мақалада келтірілген сандық нәтижелерді жасау үшін Python 3.10.8-де МО құбырын орнаттық. УБТ оңтайландырудың негізгі кітапханалары PyTorch 1.12.1 және PyTorch Forecasting 0.10.3 болды. Бастапқы код ашық қол жетімді.

УБТ гиперпараметрлерін орнату үшін біз Акиба Т., Сано С.-дың «Ortuna» атты еңбегіне сүйендік, бұл Машиналық оқыту үшін арнайы жасалған гиперпараметрлерді



оңтайландырудың автоматты бағдарламалық платформасы. Ол жоғары модульділікпен ерекшеленеді, бұл бізге гиперпараметрлерді іздеу кеңістігін динамикалық түрде құруға мүмкіндік берді [9]. Барлығы біз торлы іздеу әдісімен гиперпараметрлердің әртүрлі комбинацияларын сынау арқылы 200-ден астам УБТ үйреттік. 1-кестеде біз жеке параметрлерге арналған диапазондарды, сондай-ақ соңғы УБТ моделін оқыту үшін пайдаланылған ең тиімдісін тізімдейміз.

Кесте 1. Оқытылған УТТ болжау көрсеткіштерін үш анықтамалық модельдің көрсеткіштерімен салыстыру

Гиперпараметр	Рейтинг		Үздік
	Қайдан	Қай жаққа	
Партия мөлшері	1	2048	128
Жасырын өлшем	2	12	12
Жасырын үздіксіз өлшем	2	12	10
Бас көлеміне назар	1	4	1
Түсу	0.0	0.1	0.006
Оқу жылдамдығы	0.001	0.1	0.001
LSTM қабаттары	1	4	1
Болжамдар тарихы	7	14	14

Валидация жоғалуы 16 дәуірден аспаған кезде оқу жылдамдығы бақыланды және он есе төмендеді. Партияның мөлшері 128-ге тең деп белгіленді, өйткені оның ұлғаюы да, азаюы да шығындарға айтарлықтай оң әсер еткен жоқ. Дәуірлердің максималды саны 256 деп белгіленді, бірақ біз валидация шығындары бұдан былай жақсармаған немесе тіпті қайта даярлау нәтижесінде көбейген кезде 32 шыдамдылықпен ерте тоқтауды қолдандық. Біз ең жақсы УБТ жасырын өлшемі он екі, жасырын үздіксіз өлшемі он, назар аударатын бас өлшемі бір, 0,006, бір LSTM қабаты, 14 ретроспективалық қадам және 0,001 оқу жылдамдығы бар екенін анықтадық. Модельді оқыту үшін көп басты назар аударатын параллелизацияның жоғары дәрежесіне байланысты бар болғаны 1 мин және 20 сек қажет болды.

### Зерттеу нәтижелері

Жоғарғы бөлімде сипатталған модель УБТ-ге деген көзқарасымызға негіз болды. Біз продукт-момент Пирсон корреляциясы арқылы модель шығысы мен мақсатты мәндердің корреляциясын есептедік. УБТ үшін барлық анықтамалық модельдер сияқты, Р-мәні  $p < 0,05$ -ке сәйкес келді, бұл нөлдік сынақ гипотезасын жоққа шығарды. Біз есептелген корреляция барлық төрт модель үшін 95% сенімділік интервалында екенін анықтадық. Кез келген модель өте жақсы жұмыс істей алады деп болжау шындыққа жанаспайтындықтан, әсіресе жарнамалық деректермен жұмыс істегенде, біз оңтайлы нәтижеден  $\pm 10\%$  және  $\pm 25\%$  ауытқуларды көрсетеміз. ARIMA алгоритмі ең төменгі балл жинады, нәтижелердегі ауытқулар күтілетін өндіріс жылдамдығының теріс 25% сызығынан едәуір төмен болды. Қарапайым k-NN тәсілі тарихи деректерді орташаландыру қабілетінің арқасында ARIMA-дан асып түсті. Біз декодер- ЖНЖ ды неғұрлым күрделі градиентті оңтайландыру схемасына және УБТ сияқты кіріс сипаттамаларына үйреткенімізге қарамастан, нәтижелер бұрын хабарланғаннан да нашар болды. УБТ 0,91-ге тең  $r^2$  анықтау коэффициенті 2-кестеде келтірілген көрсеткіштерді көрсетеді. 2 минуттан аз уақыт ішінде УБТ маңызды экзогендік айнымалыларды, олардың арасындағы уақыттық қатынастарды табуды және биогаз өндірісінің жылдамдығы үшін маңызды квантильдерді шығаруды үйренді.

Кесте 2. Біздің оқытылған УБТ болжау көрсеткіштерін үш анықтамалық модельдің көрсеткіштерімен салыстыру

Үлгі	MAE		MAPE		SMAPE		RMSE
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	
<i>к-ең жақын көрші</i>	339.58	252.98	0.17	0.14	0.16	0.12	423.42
<i>Арима</i>	420.13	384.81	0.15	0.12	0.17	0.12	569.67
<i>Декодер-ЖНЖ</i>	272.17	211.60	0.12	0.10	0.12	0.09	344.72
<i>Уақытша біріктіру трансформаторы</i>	189.55	157.10	0.08	0.07	0.08	0.06	246.17

### Дискуссия

Калибрлеуден кейін біздің болашақ биогаз өндірісінің ең ықпалды көрсеткіші соңғы екі аптадағы тарихи көрсеткіш болып табылады. УБТ маңызды деп санайтын шикі тұнбаның құрғақ затпен жүктелуі және тұтану кезінде тұнбаның жоғалуы ас қорыту үшін қол жетімді органикалық заттардың мөлшеріне тікелей байланысты. Олардың жиынтық әсері шамамен 25 % құрайды, бұл ақылға қонымды болып табылады, өйткені биогаз мөлшері бастапқы шикізат мөлшеріне тура пропорционалды. Әсіресе қыста және мереке күндері аймақта туристік ағын жоғары болады, бұл түнеу санының артуына, сондай-ақ ағынды сулардың көбеюіне және биогаз өндірісінің артуына әкеледі. УБТ сонымен қатар анаэробты реактор ішіндегі температураны маңызды кіріс ретінде қарастырады. Бұл маңызды кіріс айнымалысы ретінде болуы мүмкін, өйткені кенеттен болатын өзгерістер ең төтенше жағдайларда биогаз өндірісінің толық тоқтауына әкелуі мүмкін. Нұсқаулық ретінде біз рейтинг айнымалыларын Ван Л., Лонг Ф. «Анаэробты ашыту тиімділігін болжау және машиналық оқыту алгоритмдерін қолдана отырып, маңызды пайдалану параметрлерін анықтау» атты еңбегінің нәтижелерімен салыстырамыз [6]. Олар АА үшін маңызды жұмыс параметрлерін табу үшін әртүрлі МО алгоритмдерін талдады. Метан өндірісінің ең ықпалды екі сипаттамасы-жалпы көміртегі жүктемесі және температура болып табылады. Шикі шламның құрғақ затының жүктемесі де, тұтану кезіндегі шламның жоғалуы да негізінен көміртектен тұратын органикалық заттармен байланысты. УБТ моделінде температура да өте маңызды. Осылайша, олардың нәтижелері маңызды кіріс параметрлерін анықтаудың ішкі қабілеттілігінен алынған УБТ рейтингімен жақсы сәйкес келеді.

### Қорытынды

Зерттеу кезінде УТТ әртүрлі көрсеткіштері бар анықтамалық модельмен салыстырғанда жақсы нәтиже көрсетті. 0,91-ге тең  $r^2$  ЖНЖ, k-NN және ARIMA тәсілдерімен салыстырғанда болжаудың жоғары нәтижелерін көрсетті.

УБТ жаңалықтары үш есе. Тек сандық емес, сонымен қатар категориялық және реттік белгілерді қосу арқылы біртұтас тәсілді қолдануға болады. УБТ-ны мемлекеттік мерекелер мен түндермен қамтамасыз ету жүктеменің орташа деңгейінен асатын жауын-шашынның биогаз өндірісінің жылдамдығына қалай әсер ететінін жақсы түсінуге әкелді. Екіншіден, кванттық шығын функциясы болжамдардың белгісіздігінің қосымша өлшемін қамтамасыз етеді. Үшіншіден, УБТ-ге тән айнымалыларды бақылаусыз автоматты түрде рейтингтеу мүмкіндігі және оның түсіндірілетін нәтижелері бұл үшін өте қажет құралды қамтамасыз етті.

Оқытылған УТТ туралы қосымша ақпарат сезімталдықты талдау және ішінара тәуелділік графиктеріндегі нәтижелерді визуализациялау арқылы алынды. Біз температураны немесе рН-ны оңтайлы мезофильді диапазоннан тыс реттегенде биогаз өндірісінің төмендеуін байқауға болатынын анықтадық. Бұл УБТ негізгі биохимиялық процестерді және химиялық компоненттер арасындағы байланысты мұра ете алатындығын көрсететін сенімді нәтиже. Осы мақалада келтірілген нәтижелер мәліметтер негізінде АА-ны одан әрі зерттеудің бастапқы нүктесі болып табылады.

### References

- [1] *Analysis of accidents in biogas production and upgrading* / V. C. Moreno u др. *Renewable Energy*. - 2016. - m. 96. - c. 1127-1134.
- [2] Jardine A. K., Lin D., Banjevic D. *A review on machinery diagnostics and prognostics implement condition-based maintenance Mechanical systems and signal processing*. - 2006. - r. 20, 7. - c.
- [3] Rafal Figaj. *Energy and Economic Sustainability of a Small-Scale Hybrid Renewable Energy System Powered by Biogas, Solar Energy, and Wind*.
- [4] Kairbekov ZH.K., Emelyanova V.C., Shakieva T.N., Mylytkbayeva Zh.K., Baisynbayeva R. *Kataliticheskoe anaerobnoe sbrazhivanie biomassy// International Journal of Applied and Fundamental Research*.-2013. – № 10-2. – С. 243-243;
- [5] Abu Qdais, H., Bani Hani, K., Shatnawi, N., 2010. *Modeling and optimization of biogas production from a waste digester using artificial neural network and genetic algorithm*. *Resour. Conserv. Recycl.* 54, 359–363. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.08.012>.
- [6] Wang, L., Long, F., Liao, W., Liu, H., 2020. *Prediction of anaerobic digestion performance and identification of critical operational parameters using machine learning algorithms*. *Bioresour. Technol.* 298, 122495. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122495>
- [7] *Machine learning methods for the modelling and optimisation of biogas production from anaerobic digestion: a review* . Jordan Yao Xing Ling, Yi Jing Chen, Jiawen Chen, Daniel Jia Sheng Chong, Angelina Lin Li Tan, Senthil Kumar Arumugasamy & Phei Li Lau 7. T.Pajak. *Systemy termicheskoi obrabotki bytovyx otxodov v Kazakhstane- uslovia, plany, realizhatsya*, *New Energy*, 1, 2008,2-10.
- [8] Tufaner, F., Demirci, Y., 2020. *Prediction of biogas production rate from anaerobic hybrid reactor by artificial neural network and nonlinear regressions models*. *Clean Techn. Environ. Policy* 22, 713–724.
- [9] Renisha Karki, Wachiranon Chuenchart, K.C. Surendra, Shiva Shrestha, Lutgarde Raskin, Shihwu Sung, Andrew Hashimoto, Samir Kumar Khanal. *Anaerobic co-digestion: current status and perspectives*, *Bioresour. Technol.*, 330 (2021), Article 125001
- [10] 10 Chekalkin A. Mokrushin S., *automation of the process of anaerobic fermentation of organic waste*, 2015 - AiP No. 1 - 39b.

**B.R. Ismailov<sup>1</sup>, R.P. Babakhodzhaev<sup>2</sup>, Zh.T. Aimenov<sup>1</sup>, Kh.B. Ismailov<sup>1\*</sup>, A.S. Shambilova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

<sup>2</sup> Tashkent State Technical University named after I. Karimov, Tashkent, Republic of Uzbekistan

\*e-mail: ismailovkhh@mail.ru

## **MODELING HYDRODYNAMICS AND HEAT TRANSFER IN HEAT EXCHANGERS WITH TURBULATORS**

### *Abstract*

Within the framework of the theory of turbulent gas flows, the most frequently used mathematical models of gas dynamics and heat exchange in the heat exchanger of power plants have been analyzed. The Navier-Stokes equations in Helmholtz variables describing the plane flow of incompressible Newtonian viscous fluid with constant properties in the absence of external forces are taken as a basis for calculating the dynamics of gases in recuperative heat exchangers. In order to systematize the analysis of the process of distribution of hydrodynamic parameters of gas in the inner tube, oscillations of nozzle elements and their influence on heat transfer, the problem is considered under conditions of gas flow turbulence. The nozzle elements are connected by an elastic wire through a certain distance. Due to the kinetic energy of the gas flow, the elements of the nozzle are driven in the longitudinal and transverse directions. At such problem statement, for physical interpretation of dynamics and heat exchange of gases, data on geometry of flow area, pipe dimensions, gas flow rate, temperature, physical and chemical parameters, elasticity of wire and oscillation (vibrability) of nozzle elements are required. Under the assumption that the temperature depends only on time and longitudinal coordinate, taking into account the heat transfer from the pipe wall to the gas, a simplified heat transfer equation is formulated. Possibilities of realization of the proposed model using computer mathematical systems of different levels are discussed.

**Keywords:** mathematical model, gas dynamics, local turbulizer, recuperative heat exchanger, computer models.

Б.Р. Исмаилов<sup>1</sup>, Р.П. Бабаходжаев<sup>2</sup>, Ж.Т. Айменов<sup>1</sup>, Х.Б. Исмаилов<sup>1</sup>, А.С. Шамбилова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

<sup>2</sup> Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова, г.Ташкент, Республика Узбекистан

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА В ТЕПЛООБМЕННИКАХ С ТУРБУЛИЗАТОРАМИ**

### *Аннотация*

В рамках теории турбулентных газовых потоков проведен анализ наиболее часто применяемых математических моделей динамики газов и теплообмена в теплообменном устройстве энергетических установок. В качестве основы для расчета динамики газов в рекуперативных теплообменниках приняты уравнения Навье-Стокса в переменных Гельмгольца, описывающие плоское течение несжимаемой ньютоновской вязкой жидкости с постоянными свойствами при отсутствии внешних сил. С целью систематизации анализа процесса распределения гидродинамических параметров газа во внутренней трубе, колебания элементов насадок и влияния их на теплопередачу, поставленная задача рассматривается в условиях турбулентности газового потока. Элементы насадки соединены между собою упругой проволокой через определенное расстояние. За счет кинетической энергии потока газа, элементы насадки приводятся в движения по продольному и по поперечному направлениям. При такой постановке задачи, для физической интерпретации динамики и теплообмена газов, необходимы данные по геометрии области течения, размерам труб, расходу газа, температуре, физико-химические параметры, упругости проволоки и колебательности (вибрируемости) элементов насадок. При допущении, что температура зависит только от времени и продольной координаты, с учетом теплопередачи от стенки трубы к газу, составлено упрощенное уравнение теплопередачи. Обсуждены

возможности реализации предлагаемой модели с использованием компьютерных математических систем разного уровня.

**Ключевые слова:** математическая модель, динамика газов, локальный турбулизатор, рекуперативный теплообменник, компьютерные модели.

Б.Р. Исмаилов<sup>1</sup>, Р.П. Бабаходжаев<sup>2</sup>, Ж.Т. Айменов<sup>1</sup>, Х.Б. Исмаилов<sup>1</sup>, А.С. Шамбилова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан Республикасы

<sup>2</sup> И. Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, Ташкент қ.,  
Өзбекстан Республикасы

## **ТУРБУЛИЗАТОРЛАРЫ БАР ЖЫЛУ АЛМАСТЫРҒЫШТАРДАҒЫ ГИДРОДИНАМИКА МЕН ЖЫЛУ АЛМАСУДЫ МОДЕЛЬДЕУ**

### *Аңдатпа*

Турбулентті газ ағындары теориясы аясында энергетикалық қондырғылардың жылу алмасу құрылысында газ динамикасы мен жылу алмасудың ең көп қолданылатын математикалық модельдеріне талдау жасалды. Регенеративті жылу алмастырғыштардағы газдардың динамикасын есептеу үшін негіз ретінде сыртқы күштер болмаған кезде тұрақты қасиеттері бар сығылмайтын ньютондық тұтқыр сұйықтықтың жазық ағынын сипаттайтын Гельмгольц айнымалыларындағы Навье-Стокс теңдеулері қабылданды. Ішкі құбырдағы газдың гидродинамикалық параметрлерінің таралу процесін, саптамалардың тербелісін және олардың жылу берілуіне әсерін талдауды жүйелеу үшін қойылған міндет газ ағынының турбуленттілігі жағдайында қарастырылады. Саптама элементтері белгілі бір қашықтық арқылы серпімді сыммен өзара байланысты. Газ ағынының кинетикалық энергиясы есебінен саптама элементтері бойлық және көлденең бағыттар бойынша қозғалысқа келтіріледі. Мұндай тапсырманы қою кезінде газдардың динамикасы мен жылу алмасуын физикалық түсіндіру үшін ағын аймағының геометриясы, құбырлардың мөлшері, газ шығыны, температура, физикалық-химиялық параметрлер, сымның серпімділігі және саптама элементтерінің тербелісі (дірілділігі) туралы мәліметтер қажет. Температура тек уақыт пен бойлық координатаға байланысты деп есептегенде, құбыр қабырғасынан газға жылу беруді ескере отырып, жылу берудің жеңілдетілген теңдеуі жасалады. Ұсынылған модельді әртүрлі деңгейдегі компьютерлік математикалық жүйелерді қолдана отырып жүзеге асыру мүмкіндіктері талқыланды.

**Түйін сөздер:** математикалық модель, газ динамикасы, жергілікті турбулизатор, рекуперативті жылу алмастырғыш, компьютерлік модельдер.

### **Introduction**

The problem of rational and efficient use of fuel and energy resources is one of the most important tasks of the fuel and energy complex of the Republic of Kazakhstan. With the growth of energy capacities and production volume the dimensions of heat exchangers used are increasing. Creation of more efficient and compact heat exchangers provides significant savings of fuel, metals and labor costs. A significant role in solving these problems can be played by the wide introduction of effective methods of heat exchange intensification in channels in the design and manufacturing of heat-exchange apparatuses and devices.

In contact devices (CD) of thermal power plants (TPP) complex dynamic and stationary processes of interaction of phases at different values of mode, geometric and technological parameters are realized. At long-term operation of CDs there is a deviation of parameter values due to corrosion and erosion of their elements, growth of scale and sediments on their surfaces, which leads to a decrease in the efficiency of the whole technological line of heat and electric energy production.

One of the solutions to this problem is the intensification of hydrodynamic and thermal processes with the improvement of the design of recuperative heat exchanger and the development of a mathematical model of heat energy transfer from one coolant to another through the separating wall of the apparatus, as well as computer modeling and numerical study, which represents the relevance of the issue under consideration.

Taking into account the scale of the industry, it can be concluded that there are great reserves for increasing the saving of fuel and energy resources and reducing the negative impact on the environmental situation in industrial regions and in the country.

At present, researchers have quite clearly formulated two main approaches to the realization of the created mathematical models of physical problems arising in finding the dynamic and heat exchange characteristics of CD of TPP:

- 1) development of own numerical algorithms and programs for their implementation;
- 2) use of computer mathematical systems created by well-known developers.

Each of these approaches is characterized by certain advantages and disadvantages. The first approach analyzes the issues of existence and uniqueness of the solution of differential equations, convergence, stability and accuracy of the applied numerical algorithms. The mesh design is a labor-intensive process, especially when solving problems in the complex region of phase motion. In the second approach, numerical solutions are presented in an easy-to-visualize form, the grid area is created by the computer program itself.

The application of both methods should be justified by establishing the adequacy of the solution, for example, by comparison with experimental data and /or/ statistical methods. The aim of the study is to develop a mathematical model, numerical algorithms and computer programs for their implementation, used to analyze the dynamics of heat transfer fluid parameters in recuperative heat exchangers with turbulizing devices.

### **Research methodology**

To achieve the goal of the study, the most effective methods of heat transfer intensification in CD of TPP were analyzed according to the publications on problems close to the problem formulation. In work [1] devices for intensification of heat transfer in the form of primary and secondary corrugated channels are proposed and it is shown that gas flow in them is unsteady. In works [2-5] different designs of turbulizers in the form of nozzles (cavities), recesses, wells and metal inserts were proposed. The characteristics of flow and heat transfer in a slotted jet flow limited by inclined plates and hitting a flat surface have been studied. The effect of Reynolds number and the angle of inclination of the retaining plate and the distance between the plates on the pressure distribution is determined. It is also observed that although the pressure distribution is independent of the Reynolds number, it is affected by the angle of inclination of the holding plate and the distance between the plates. The standard k- $\epsilon$  turbulence model used predicts results closer to the experimental data. The thermal and hydraulic characteristics in a tube with ball turbulators are calculated in [6]. However, in this work, the theoretical and computational results are not compared with experimental data, which narrows the application of the created models of balloon nozzle flow with gas flow. In work [7] numerical experiments were performed and optimal characteristics of heat transfer and pressure field distribution in a shell-and-tube heat exchanger were determined. Depending on the velocity of gas supplied to the heat exchanger, laminar, transient and turbulent modes can be realized, and modeling of each of these flows involves the use of appropriate mathematical apparatus [7-8]. Works [9-11] present the results of a comprehensive approach to the creation of shell-and-tube heat exchangers with surface intensification of heat transfer. In [12], an original method utilizing the radiation-turbulent component inside the wedge-shaped channel was developed. A mathematical model was created and the coolant flow and heat transfer were numerically investigated for four-channel configurations. The results show that the total Nusselt number of the channel using the radiative-turbulent component increased by more than 48 %. This is due to the expansion of cold surfaces to improve radiative heat transfer and the change in the distribution of flow perturbations to improve the homogeneity of convective heat transfer, both of which are induced using the radiative-turbulent component.

In this paper, the problem of modeling the dynamics of gas flow and heat distribution in a channel with turbulators consisting of hollow elements with different geometric configurations (ball, oval, prism, etc.) and strung on elastic wires at a certain distance is posed. The model is based on the

Navier-Stokes equations describing the flow process of gas and liquid flows averaged over the Reynolds principle and convective heat transfer. The aim of the study is to find the distribution of dynamic characteristics of gas (velocity, swirl, kinetic energy and local scale of turbulence) and temperature change of heat flow in a pipe with turbulators of different shapes.

The principles of derivation of the Navier-Stokes equations (NSE) and their application, numerical solution and related issues are considered quite comprehensively in work [13]. It should be noted that only in simple cases it is possible to obtain exact analytical solutions of the NSE (e.g., in works [14-15]), but even in these cases there is a need to use numerical methods to calculate the applied integral relations. It is known that when bodies are streamlined by a gas flow, especially in the presence of sharp edges on the surface of bodies, breakaway flows with predominantly unsteady characteristics arise. In the breakaway zones, as it was shown in [16-17], the intensity of heat and mass transfer increases significantly and this fact should be taken into account when modeling and calculating the flow of nozzles with gas flow. It should be noted that in column apparatuses of chemical technology also widely used periodically arranged nozzles of different shapes (balls, cylinders, plates, etc.), installed to intensify the interaction of the treated phases [18]. In such cases, the NSE are nonlinear, and the systems approximating them, consisting of finite-difference equations, are also nonlinear. For their solution, iterative methods [19] are used to achieve the required accuracy at large system dimensions.

Various types of external and internal fins are used in industrial power plants to turbulize flows and increase the efficiency of heat transfer. As internal finning various inserts are applied or diaphragm tubes are used. The experience of creation and operation of various heat-exchange devices has shown that the methods of intensification of heat exchange in channels developed in the research cycle provide reduction of dimensions and weight of these devices in 1,5-2 and more times in comparison with similar serially produced devices at the same thermal power and power for pumping of heat carriers, as well as a significant reduction of clogging and salt deposition in their channels. This reduces costs and labor intensity of operation 2-3 times, increases resource and reliability. The proposed methods of intensification are technological in production and assembly of heat-exchange apparatuses, convenient in operation. Below we will consider some methods of heat exchange intensification: method of purposeful artificial turbulization of flow in the near-wall zone, based on periodic creation of small vortex zones near the wall, which are the source of additional turbulization of the flow. This method is realized for tubular and plate-and-ribbed heat exchangers. The numerical study was carried out using the COMSOL Multiphysics software package. Characteristic dimensions of tubes: inner diameter - 20 mm; length - 400 mm. The ratio of tube length to diameter  $L/d_i = 20$ . At the inlet of the tubes the flow velocity is equal to 0.01 m/s. Different types of local turbulators of four types are installed in the middle of the tube. In the calculations a model was used, which is designed to simulate the flow of gas (liquid) at large (turbulent) Reynolds numbers and at small density changes.

The model of turbulent heat and mass transfer in this pipe-in-pipe type problem includes:

- Navier-Stokes equations (momentum conservation law);
- the equation of continuity (law of conservation of fluid mass);
- the law of conservation of energy;
- scalar diffusive transport equation (law of conservation of mass);
- $k - \omega$  turbulence model.

The turbulent incompressible fluid model is based on the standard turbulence model consisting of the following system of equations:

$$\rho(u \cdot \nabla)u = \nabla \cdot \left[ -\rho l + (\mu + \mu_T)(\nabla u + (\nabla u)^T) - \frac{2}{3}(\mu + \mu_T)(\nabla \cdot u)l - \frac{2}{3}\rho k l \right] + F, \\ \nabla \cdot (\rho u) = 0,$$

$$\rho(u \cdot \nabla)k = \nabla \cdot [(\mu + \mu_T \sigma_\omega)\nabla \omega] + \alpha \frac{\omega}{k} \rho k - \rho \beta_0 \omega^2, \quad (1)$$

$$\mu_T = \rho \frac{k}{\omega}$$

$$P_k = \mu_T \left[ \nabla \mathbf{u} : (\nabla \mathbf{u})^T - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \mathbf{u})^2 \right] - \frac{2}{3} \rho k \nabla \cdot \mathbf{u}$$

$$\rho c_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q + Q_{vh} + W_p$$

where  $k$  - kinetic turbulent energy;  $\mathbf{u}$  - velocity of dissipation of turbulent energy;  $\rho$  - density,  $T$  - temperature, and  $P$  - pressure.

In works [17-18], system (1) is solved numerically for the case of flowing of periodically arranged nozzles in a multistage channel by the establishment method. Under the assumption that the temperature depends only on time and longitudinal coordinate, taking into account heat transfer from the pipe wall to the gas, the heat transfer equation can be written as follows [12]:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + h_{out} (T_{wall} - T), \quad (2)$$

where  $T$  - gas temperature;  $t$  - time;  $x$  - longitudinal coordinate;  $\rho$  - gas density;  $c_p$  - gas specific heat capacity;  $k$  - gas heat transfer coefficient;  $h_{out}$  - heat transfer coefficient between the pipe wall and gas;  $T_{wall}$  - pipe wall temperature.

The heat transfer coefficient between the pipe wall and gas depends on a number of factors and is usually determined experimentally or on the basis of empirical correlations. Important parameters affecting the heat transfer coefficient are gas velocity, gas properties, pipe geometry and other factors. One way to determine the heat transfer coefficient is to use correlations such as the Nusselt-Numann equation (Nu-Re-correlation). This equation relates the Reynolds number (Re) and the Nusselt number (Nu):

$$Nu = C Re^m Pr^n \quad (3)$$

where  $Re = \frac{uL\rho}{\mu}$  - Reynolds criterion,  $\rho$  - density of liquid or gas;  $u$  - average flow velocity;  $\mu$  - dynamic viscosity of the medium.  $Pr = \frac{c_p \mu}{\alpha}$  - Prandtl criterion,  $\alpha$  - heat transfer coefficient of the medium;  $C, m, n$  - coefficients depending on the specific geometry and the considered flow regime.  $Nu = \frac{hL}{k}$  - Nusselt criterion,  $h$  - heat transfer coefficient;  $L$  - characteristic size of the object or distance through which heat exchange occurs;  $k$  - heat transfer coefficient of the medium.

The value of Nusselt number can be different depending on conditions and systems, so its value is not fixed and requires calculations or experimental data for a particular problem.

All the above physical quantities in the criteria are determined during problem formulation and are input data for the computer program. There are different correlations  $C, m, n$  for different flow regimes and pipe configurations.

The information on methods for modeling turbulent flow is based on general knowledge of CFD (Computational Fluid Dynamics). To date, various methods have been used to model turbulent flow in channels of different shapes, each of which has its own advantages and limitations. The most popular approaches are: RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) models. These models average the turbulent flows over time, which reduces the computational cost. Among the RANS models, the best known are:  $k$ - $\epsilon$  model;  $k$ - $\omega$  model; SST (Shear Stress Transport) model. They are suitable for a wide range of problems, but may not accurately reproduce some turbulent flows, especially in complex geometries CFD: The Basics with Applications, and LES (Large Eddy Simulation) models. LES models require more computational resources than RANS, but provide more accurate modeling of complex flows. DNS (Direct Numerical Simulation) modeling solves the Navier-Stokes equations without any approximation or simulation. This method requires huge computational power and is mainly used for research purposes to gain a detailed understanding of turbulent flows. Hybrid



approaches: There are hybrid methods such as Detached Eddy Simulation (DES) that combine elements of RANS and LES to balance accuracy and computational cost.

### Results of the study

In this paper, the problem of modeling the dynamics of gas flow and heat distribution in a channel with turbulators has been solved completely enough, and the advantages and disadvantages of modern approaches to modeling complex physical problems have been shown.

Figures 1-2 show plots of temperature and pressure distribution for four types of turbulators obtained by realization of model (1) using COMSOL Multiphysics package. Figure 1 shows that for all types of turbulators the maximum flow velocities are concentrated near the boundary, which is an important factor for intensification of heat exchange between the elements of the pipe system. In the space between the turbulators the velocities are small, especially for turbulators of the 4th type (lower garland).

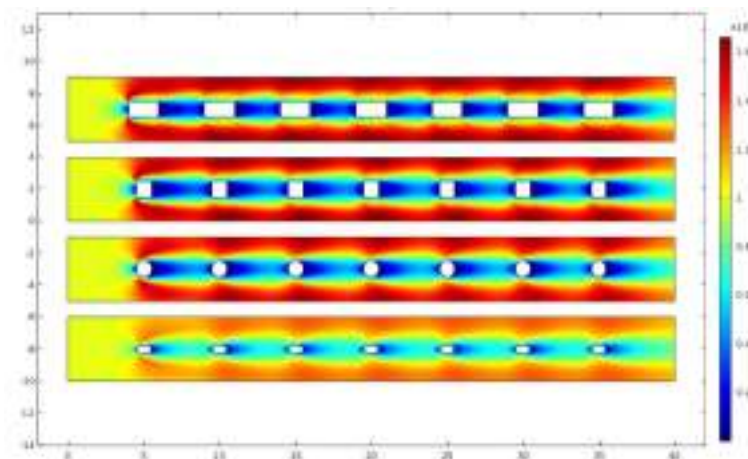


Figure 1. Distribution of flow velocity in a pipe with turbulators of different shapes of different shapes, m/s

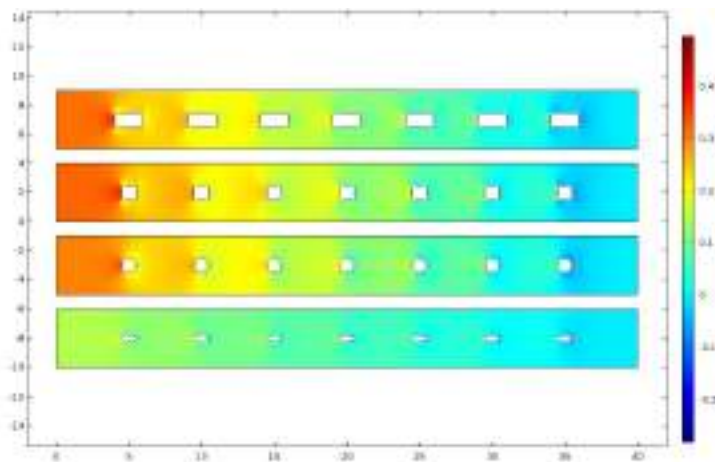


Figure 2. Distribution of flow pressure field in a pipe with turbulators of different shapes,  $\Delta$  Pa.

Figure 2 shows that the highest pressure values for turbulators of types 1-3 are achieved at the inlet (initial) sections of the pipe, due to a rather fast establishment of the pressure field.

Figure 3 shows the distribution of gas velocity at the flow around the turbulizer elements obtained by direct implementation of the turbulence model according to the Patankar model [20], using Reynolds averaging, compiling a program in an algorithmic language. This approach is more labor-intensive, but allows obtaining numerical values of hydrodynamic parameters. It can also be observed (similar to Figure 1) the increase in velocity in the boundary region of the channel, which ensures

efficient heat transfer. In the future, we plan to continue our research on this topic, by including in the model (1) equations to describe the oscillation of turbulizing elements, in order to optimize the whole process of regenerative heat exchange. Visual observations of the flow of the nozzle system in the pipe showed their oscillations with a small amplitude. To account for this effect, as part of the model development, in future works the oscillation equations will be included in model (1), where the physical parameters of the elastic wire and other input data of the whole system will be taken into account.

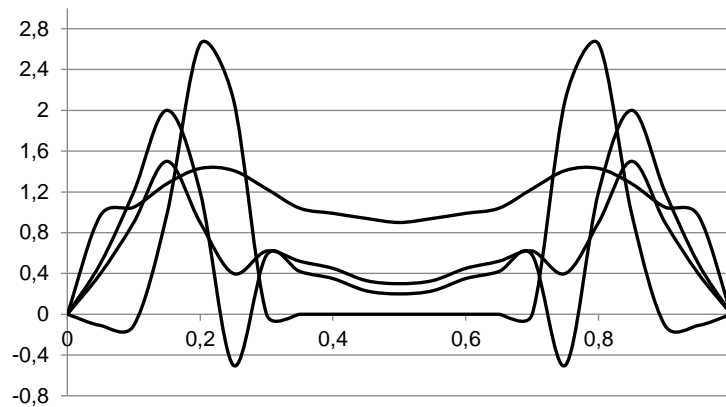


Figure 3. Profiles of the longitudinal gas velocity at the plate streamline,  $Re = 2500$ .  $x$  is the distance from the channel entrance, 1-  $x = 0.3$ ; 2 -  $x = 0.5$ ; 3 -  $x = 0.6$ ; 4 -  $x = 0.8$ .

The analysis of numerical values of dynamic flow characteristics shows dynamic establishment (stabilization) of body streamline: as the flow develops, from nozzle to nozzle, through a certain number of contact stages, the values of velocity and pressure can be considered to be approximately the same for subsequent stages. This fact can be used to save calculation time: given a permissible error, we finish the calculation if the values of dynamic parameters in the region of two neighboring nozzles become the same.

## Conclusion

In this paper, the problem of modeling the dynamics of gas flow and heat distribution in a channel with turbulators has been solved, and the advantages and disadvantages of modern approaches to modeling complex physical problems have been shown. Model (1) is realized using the COMSOL Multiphysics software package. Quantitative and qualitative picture of dynamics and heat exchange in the considered problem formulation; distribution of flow velocity value in a pipe with turbulators of different shapes, m/s; distribution of flow pressure field in a pipe with turbulators of different shapes are obtained. The possibility of conducting systematic numerical experiments with input data in a wide range, to optimize geometric and mode-technological parameters of local turbulizer operation is evaluated. Using the turbulence model, the computational system allows predicting the structure of flow in the pipe channel, resolving the details of secondary currents quite precisely.

## Список использованных источников

- [1] S. Harikrishnan, Shaligram Tiwari. *Unsteady Flow and Heat Transfer Characteristics of Primary and Secondary Corrugated Channels*. *J. Heat Transfer*. – 2020. – Vol. 142(3), № 031803. <https://doi.org/10.1115/1.4045751>.
- [2] Babakhodjaev R., Tashbaev N and Mirzaev D. *Use of kinetic flow energy liquids for vibration of local turbulizers in pipe heat exchangers*. *E3S Web of Conf.* – 2020. – Vol. 216, № 0108. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601081>.
- [3] Халатов А.А. *Теплообмен и гидродинамика около поверхностных углублений (лунок)*. - Киев: ИТФ НАН Украины, 2005. – 140 с.

- [4] L. Vafajoo, K.Moradifar, S. M. Hosseini, B.H. Salman. *Mathematical modelling of turbulent flow for flue gas–air Chevron type plate heat exchangers. International Journal of Heat and Mass Transfer.* – 2016. – Vol. 97. Pp. 596-602. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.02.035>.
- [5] Amit Bartwal, Abhishek Gautam, Manoj Kumar, Chidanand K. Mangrulkar, Sunil Chamoli. *Thermal performance intensification of a circular heat exchanger tube integrated with compound circular ring metal wire net inserts. Chemical Engineering and Processing - Process Intensification.* – 2018. – Vol. 124. Pp. 50-70. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2017.12.002>.
- [6] Piotr Boguslaw Jasiński. *Numerical study of thermo-hydraulic characteristics in a circular tube with ball turbulators. Part 3: Thermal performance analysis. International Journal of Heat and Mass Transfer.* – 2017. – Vol. 107. Pp. 1138-1147. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.11.017.
- [7] Moosavi A., Abbasalizadeh M., Dizaji H.S. *Optimization of heat transfer and pressure drop characteristics via air bubble injection inside a shell and coiled tube heat exchanger. Experimental Thermal and Fluid Science.* – 2016. – Vol. 78. – Pp.1-9. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2016.05.011>.
- [8] Devendra K. Vishwakarma, Suwanjan Bhattacharyya, Manoj K. Soni, John P. Abraham. *Thermal and Flow Analysis of Air in a Uniformly Heated Circular Channel with an Inlet Flap Obstruction in Laminar, Transitional, and Turbulent Flow Regimes. Heat Transfer Engineering.* 2023. <https://doi.org/10.1080/01457632.2023.2275235>.
- [9] Дилевская Е.В., Гортышов Ю.Ф., Леонтьев А.И. и др. *Разработка фундаментальных основ создания прототипов энергоэффективных теплообменников с поверхностной интенсификацией теплообмена //Труды Четвертой Российской национальной конференции по теплообмену. М.: МЭИ, 2006. - Т.1. - С. 253-257.*
- [10] Kushchev L.A., Nikulin N.Yu., Alifanova A.I. *Modern methods of investigation of heat transfer enhancement in shell-and-tube heat exchangers. International Science and Technology Conference «EastConf».* – 2019. - № 1. - Pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/EastConf.2019.8725336>.
- [11] Гортышов Ю.Ф., Попов И.А. *Научные основы расчета и создания высокоэффективных компактных теплообменных аппаратов с рациональными интенсификаторами теплоотдачи // Теплоэнергетика, 2006, №4, с.2-13.*
- [12] Kun Yang, Jie Liu, Jiabing Wang. *Heat transfer enhancement by inserting a radiation-turbulence component in a wedge channel. International Journal of Heat and Mass Transfer.* - 2024. - Vol. 219, № 124907. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2023.124907>.
- [13] Р. Темам. *Уравнения Навье-Стокса. Теория и численный анализ.* - М.: Мир, 1981. – 408 с.
- [14] Просвиряков Е.Ю. *Новый класс точных решений уравнений Навье-Стокса со степенной зависимостью скоростей от двух пространственных координат // Теоретические основы химической технологии. – 2019. – Т. 53, № 1. - С. 112-120. DOI: 10.1134/S0040357118060118.*
- [15] Aristov S.N., Knyazev D.V., Polyenin A.D. *Exact Solutions of the Navier–Stokes Equations with the Linear Dependence of Velocity Components on Two Space Variables. Theoretical Foundations of Chemical Engineering.* - 2009. - Vol. 43, № 5. - P. 642-662. DOI: 10.1134/S0040579509050066.
- [16] Редчиц Д.А. *Математическое моделирование отрывных течений на основе нестационарных уравнений Навье-Стокса // Научные ведомости БелГУ. Сер. Математика. Физика. 2009. - №13(68), - С. 118-146.*
- [17] B. Ismailov, L. Musabekova, Zh. Umarova, Kh. Ismailov, K. Arystanbayev. *Mathematical and computer simulation of particle redistribution and inertial swarming in dispersed systems. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science.* 2022. - Vol. 28, No. 2. - Pp. 909-917. <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v28.i2.pp909-917>.
- [18] Ismailov B., Urmatova A., Ismailov Kh. *Mathematical modelling and calculation of dynamic characteristics of gas in multistage channels. Applied Mathematical Sciences.* – 2013. - Vol. 7, № 132. – Pp. 6571-6582. <http://dx.doi.org/10.12988/ams.2013.310561>.
- [19] Утеуова Н., Шияпов К., Бекбауова А., Шарипова Б. *Решение нелинейных краевых задач приближенным методом // Вестник КазНПУ им. Абая. - 2023. - Т.84, №4. - С. 46-54. DOI: 10.51889/2959-5894.2023.84.4.005.*
- [20] Patankar S. *Numerical heat transfer and fluid flow.* - New York: Hemisphere Publishing Corporation. - 1980. – Pp. 214. DOI <https://doi.org/10.1201/9781482234213>.

#### References

- [1] S. Harikrishnan, Shaligram Tiwari. *Unsteady Flow and Heat Transfer Characteristics of Primary and Secondary Corrugated Channels. J. Heat Transfer.* 2020. Vol. 142(3), № 031803. <https://doi.org/10.1115/1.4045751>.
- [2] Babakhodjaev R., Tashbaev N and Mirzaev D. *Use of kinetic flow energy liquids for vibration of local turbulizers in pipe heat exchangers. E3S Web of Conf.* – 2020. – Vol. 216, № 0108. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601081>.

- [3] Halatov A.A. (2005) *Teploobmen i gidrodinamika okolo poverhnostnyh uglubljenij (lunok)*. [Heat transfer and hydrodynamics near surface depressions (wells)]. Kiev: ITF HAN Ukraine. 140 s. (in Russian)
- [4] L. Vafajoo, K.Moradifar, S. M. Hosseini, B.H. Salman. *Mathematical modelling of turbulent flow for flue gas–air Chevron type plate heat exchangers*. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2016. – Vol. 97. Pp. 596-602. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.02.035>.
- [5] Amit Bartwal, Abhishek Gautam, Manoj Kumar, Chidanand K. Mangrulkar, Sunil Chamoli. *Thermal performance intensification of a circular heat exchanger tube integrated with compound circular ring metal wire net inserts*. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*. – 2018. – Vol. 124. Pp. 50-70. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2017.12.002>.
- [6] Piotr Boguslaw Jasiński. *Numerical study of thermo-hydraulic characteristics in a circular tube with ball turbulators. Part 3: Thermal performance analysis*. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2017. – Vol. 107. Pp. 1138-1147. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.11.017.
- [7] Moosavi A., Abbasalizadeh M., Dizaji H.S. *Optimization of heat transfer and pressure drop characteristics via air bubble injection inside a shell and coiled tube heat exchanger*. *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2016. – Vol. 78. – Pp.1-9. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2016.05.011>.
- [8] Devendra K. Vishwakarma, Suvanjan Bhattacharyya, Manoj K. Soni, John P. Abraham. *Thermal and Flow Analysis of Air in a Uniformly Heated Circular Channel with an Inlet Flap Obstruction in Laminar, Transitional, and Turbulent Flow Regimes*. *Heat Transfer Engineering*. – 2023. <https://doi.org/10.1080/01457632.2023.2275235>.
- [9] Dilevskaja E.V., Gortyshev Ju.F., Leont'ev A.I. et al. (2006) *Razrabotka fundamental'nyh osnov sozdaniya prototipov jenergojeffektivnyh teploobmennikov s poverhnostnoj intensivkaciej teploobmena* [Development of the fundamental principles for prototyping energy-efficient heat exchangers with surface heat exchange intensification]. Tr. IV-Ross. nacional'noj konferencii po teploobmenu. T.1. 253-257. (in Russian)
- [10] Kushchev L.A., Nikulin N.Yu., Alifanova A.I. *Modern methods of investigation of heat transfer enhancement in shell-and-tube heat exchangers*. *International Science and Technology Conference «EastConf»*. – 2019. - № 1. - Pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/EastConf.2019.8725336>.
- [11] Gortyshev Ju.F., Popov I.A. (2006) *Nauchnye osnovy rascheta i sozdaniya vysokoeffektivnyh kompaktnykh teploobmennyykh apparatov s racional'nymi intensivkatorami teplootdachi* [Scientific foundations for the calculation and creation of highly efficient compact heat exchangers with rational heat transfer intensifiers]. *Teplojenergetika*. No 4. 2-13. (in Russian)
- [12] Kun Yang, Jie Liu, Jiabing Wang. *Heat transfer enhancement by inserting a radiation-turbulence component in a wedge channel*. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. - 2024. - Vol. 219, № 124907. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2023.124907>.
- [13] R. Temam. (1981) *Uravenija Nav'e-Stoksa. Teorija i chislennyj analiz* [The Navier-Stokes equations. Theory and numerical analysis]. M.: Mir. 408 s. (in Russian)
- [14] Prosvirjakov E.Ju. (2019) *Novyj klass tochnykh reshenij uravnenij Nav'e-Stoksa so stepennoj zavisimost'ju skorostej ot dvuh prostranstvennykh koordinat* [A new class of exact solutions to the Navier-Stokes equations with a power-law dependence of velocities on two spatial coordinates]. *Teoreticheskie osnovy himicheskoj tehnologii*. T. 53, № 1. 112-120. DOI: 10.1134/S0040357118060118. (in Russian)
- [15] Aristov S.N., Knyazev D.V., Polyanin A.D. *Exact Solutions of the Navier–Stokes Equations with the Linear Dependence of Velocity Components on Two Space Variables*. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. - 2009. - Vol. 43, № 5. - P. 642-662. DOI: 10.1134/S0040579509050066.
- [16] Redchic D.A. (2009) *Matematicheskoe modelirovanie otryvnyh techenij na osnove nestacionarnykh uravnenij Nav'e-Stoksa* [Mathematical modeling of separation flows based on nonstationary Navier-Stokes equations]. *Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Matematika. Fizika*. №13(68). 118-146. (in Russian)
- [17] B. Ismailov, L. Musabekova, Zh. Umarova, Kh. Ismailov, K. Arystanbayev. *Mathematical and computer simulation of particle redistribution and inertial swarming in dispersed systems*. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. – 2022. - Vol. 28, No. 2. - Pp. 909-917. <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v28.i2.pp909-917>.
- [18] Ismailov B., Urmatova A., Ismailov Kh. *Mathematical modelling and calculation of dynamic characteristics of gas in multistage channels*. *Applied Mathematical Sciences*. – 2013. - Vol. 7, № 132. – Pp. 6571-6582. <http://dx.doi.org/10.12988/ams.2013.310561>.
- [19] Uteuova N., Shijapov K., Bekbauova A., Sharipova B. (2023) *Reshenie nelinejnykh kraevykh zadach priblizhennym metodom* [Solving nonlinear boundary value problems by the approximate method] *Vestnik KazNPU named Abaja*. T.84. №4. 46-54. DOI: 10.51889/2959-5894.2023.84.4.005. (in Russian)
- [20] Patankar S. *Numerical heat transfer and fluid flow*. - New York: Hemisphere Publishing Corporation. - 1980. – Pp. 214. <https://doi.org/10.1201/9781482234213>.



**МАТЕМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ**  
**МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ**  
**METHODS OF TEACHING MATHEMATICS**

FTAXP 14.01.85

10.51889/2959-5894.2024.88.4.010

**М.Т.Искакова<sup>1\*</sup>** , **А. Каржаубай<sup>1</sup>**, **Л.Д. Диярова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup> Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov, Aktau, Kazakhstan

\*e-mail: [makpalsemey@mail.ru](mailto:makpalsemey@mail.ru)

**USE OF EXCEL IN TEACHING ELEMENTS OF STATISTICS IN SCHOOL  
MATHEMATICS COURSE**

*Abstract*

This study examined using Excel spreadsheets to teach statistics elements in a school mathematics course. Compared to other software packages, the advantages of using Excel in school mathematics have been determined. Basic information about Excel was shown, and information was given about its current use in teaching statistics. The school mathematics course determined the kind of statistical calculations that can be made. Statistics have a special place in school mathematics. It is covered in the mathematics textbooks of grades 5-11 of the general education school. In grades 5-6, they are given subtopics as an introduction to statistics; in grades 7-11, they are considered a separate section. The issue of digital technologies in teaching statistics is often discussed in textbooks. The digital tool MS Excel is used in mathematics textbooks for the 7th grade, 8th grade, and 11th grade of general education schools in the Republic of Kazakhstan to make statistical reports. 11th grade in elementary schools of algebra and analysis in the subject: main and sample sets, basic statistical means (sample mean, arithmetic mean, median, mode), discrete and interval frequency tables, statistical diagrams (frequency polygon, histogram), and discrete get acquainted with the concepts of quantitative characteristics of the selection of random variables. In this article, we have given tasks and instructions for making calculations using the Excel spreadsheet for the topics mentioned in the 11th-grade Algebra and Analysis Beginnings textbook. It has been shown that all statistical reports at the school level can be produced using Excel. MS Excel was used to create a frequency table, calculate fundamental statistical mean values, and create a frequency polygon, and a histogram was shown with concrete examples.

**Keywords:** school mathematics, elements of statistics, MS Excel, digital program.

М.Т. Искакова<sup>1</sup>, А. Каржаубай<sup>1</sup>, Л.Д. Диярова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Ш.Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау қ., Қазақстан

**МЕКТЕП МАТЕМАТИКА КУРСЫНДА СТАТИСТИКА ЭЛЕМЕНТТЕРІН ОҚЫТУДА EXCEL  
БАҒДАРЛАМАСЫН ПАЙДАЛАНУ**

*Аңдатпа*

Бұл зерттеуде мектеп математика курсына статистика элементтерін оқытуда Excel кестелік процессорын қолдану жағдайы қарастырылды. Басқа программалық пакеттермен салыстырғанда Excel программалық жасақтамасының мектеп математикасында пайдаланудың артықшылықтары анықталды. Excel жайлы негізгі ақпарат көрсетіліп, қазіргі уақытта оның статистика элементтерін оқытуда пайдаланылуы туралы ақпарат берілді. Мектеп математика курсына статистиканың қандай есептерін шығаруға болатыны анықталды. Мектеп математикасында статистиканың алатын орны ерекше. Ол жалпы білім беретін мектептің 5-11 сыныптарының математика оқулықтарының

эрқайсысында қамтылған. 5-6-сыныптарда олар статистикаға кіріспе ретінде ішкі тақырыптар ретінде берілсе, 7-11 сыныптарда жеке тарау ретінде қарастырылады. Оқулықтарда статистиканы оқытудағы цифрлық технологиялар мәселесі жиі айтылады. MS Excel цифрлық құралы Қазақстан Республикасы жалпы білім беретін мектептердің 7-сынып, 8-сынып және 11-сыныбына арналған математика оқулықтарында статистикалық есептерді шығаруда қолданылады. Жалпы білім беретін мектептерінде 11-сынып алгебра және анализ бастамалары пәнінде: басты және таңдалым жиынтықтарын, негізгі статистикалық орта мәндер (таңдалым құлашы, арифметикалық орта, медиана, мода), дискретті және интервалдық жиілік кестелері, статистикалық диаграммалар (жиілік полигоны, гистограмма) және дискретті кездейсоқ шамалар таңдалымының сандық сипаттамалары түсініктерімен танысады. Осы мақаламызда 11-сынып алгебра және анализ бастамалары оқулығында аталған тақырыптарға Excel кестелік процессорын пайдаланып, есептер шығаруға тапсырмалар және нұсқаулықтар бердік. Мектеп деңгейіндегі статистикалық есептердің барлығын Excel көмегімен шығаруға болатыны көрсетілді. MS Excel көмегімен жиілік кестесін құруға, негізгі статистикалық орта мәндерді есептеуге, жиіліктер полигонын және гистограммасын құруға нақты мысалдармен көрсетілді.

**Түйін сөздер:** мектеп математикасы, статистика элементтері, MS Excel, цифрлық бағдарлама.

М.Т. Искакова<sup>1</sup>, А. Каржаубай<sup>1</sup>, Л.Д. Диярова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казахский Национальный педагогический университет имени Абая, г.Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Каспийский университет технологий и инженерии имени Ш. Есенова, г.Ақтау, Казахстан

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ EXCEL ПРИ ОБУЧЕНИИ ЭЛЕМЕНТАМ СТАТИСТИКИ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ МАТЕМАТИКИ**

### *Аннотация*

В этом исследовании изучалось использование электронной таблицы Excel при обучении элементам статистики в школьном курсе математики. Определены преимущества использования программ Excel в школьной математике по сравнению с другими пакетами программ. Была показана основная информация об Excel и дана информация о его текущем использовании в обучении статистике. В школьном курсе математики было определено, какие статистические расчеты можно производить. Статистика занимает особое место в школьной математике. Ей посвящен каждый из учебников математики для 5-11 классов общеобразовательной школы. В 5-6 классах они даются как подтемы как введение в статистику, а в 7-11 классах рассматриваются как отдельный раздел. Вопрос о цифровых технологиях в обучении статистике часто обсуждается в учебниках. MS Excel используется как цифровой инструмент в учебниках по математике для 7, 8 и 11 классов общеобразовательных школ Республики Казахстан при решении статистических задач. В общеобразовательных школах в 11 классе по предмету алгебра и начало анализа проходят темы: главные и выборочные совокупности, основные статистические средства (выборочное среднее, среднее арифметическое, медиана, мода), дискретные и интервальные таблицы частот, статистические диаграммы (полигон частот, гистограмма) и дискретный прием. Ознакомятся с понятиями о количественных характеристиках выборки случайных величин. В этой статье мы дали задания и инструкции по проведению расчетов с использованием электронной таблицы Excel по темам, упомянутым в учебнике «Алгебра и начало анализа» для 11 класса. Почти все статистические расчеты школьной программы могут быть составлены с использованием Excel. Использование MS Excel для создания таблицы частот, расчета основных статистических средних значений, построения полигона частот и гистограммы было показано на конкретных примерах.

**Ключевые слова:** школьная математика, элементы статистики, MS Excel, цифровая программа.

### **Main provisions**

Statistics is a branch of mathematics that describes the general problems of collecting, measuring, and analyzing quantitative or qualitative data. Thanks to these data, it is possible to analyze the activities and work of any economic sector. In the current development of society, interest in statistics as a science and its widespread use in practical activities has grown significantly.

## **Introduction**

Statistical data can give a clear picture of the current state of production and economy. Thanks to this, any deviations or inconsistencies can be detected, several corrective measures can be taken in time, and the situation can be significantly improved [1].

As the importance of statistics increased, the demand for statisticians increased. Also, in today's society, everyone should be competent in statistics because statistical data (average, median, mode, etc.) can be found in every activity of everyday life. This means that the teaching of statistics has become an actual issue in the field of education, that is, in the methodology of teaching mathematics.

Using digital technologies in teaching statistics is advisable because applied statistical analyses are performed on large amounts of data. When performing statistical analysis of big data on paper, you can face problems such as data confusion and calculation duration. Digital technologies can solve such a gap in statistics education. Excel is the most widely used statistical software package in production. The issue of using digital technologies such as Excel in teaching statistics has not been fully explored, and collecting information on this issue is becoming urgent.

## **Research methodology**

The purpose of the study is to review the use of the Excel program in teaching statistics in school mathematics courses and determine its differences from other software packages [2].

Research methods: theoretical review, comparison, induction.

The study's objectives are to determine the use of digital technologies in teaching statistics elements in a general education school and the extent to which teachers master them.

Hypotheses

H1: enables students to use knowledge through digital technologies effectively;

H2: helps students to be sociable;

H3: Helps students make quick and correct decisions [3].

## **Results of the study**

*Literature review. MS Excel.* Excel, the leading spreadsheet program, is a vital tool for professionals across various fields [4]. Business people, scientists, accountants, and journalists rely on its versatile capabilities. They use it to manage lists, create catalogs and tables, generate financial and statistical reports, analyze survey data and trade enterprise status, process scientific experiment results, and prepare presentation materials. Excel can calculate sums across table columns and rows, calculate percentages, and calculate the arithmetic mean, bank rate, or variance. The Excel software package has many financial, mathematical, logical, and statistical standard functions [5].

In the Excel spreadsheet, you can change the design of the cells in different ways. As in powerful word processors, Excel can change fonts, letters' color, background, etc., and functions. In addition, it allows you to create graphs and charts and insert pictures into the table. The Excel software package can perform about 400 standard functions of mathematical, logical, accounting, and statistical functions. Therefore, using Excel to teach mathematics is very effective and provides many opportunities for the subject teacher. In the process of teaching mathematics, Excel can be used to study many topics: solving equations; solve the system of equations; function study; draw a graph of the function; solving statistical problems.

*Comparison of Excel with other statistical software packages.* In addition to the Excel table processor, powerful software packages, such as Minitab, STATISTICA, COMSOL, Matlab, and SPSS Statistics, generate statistical reports (<https://www.minitab.com/>).

Using the Minitab software package, you can visualize, analyze, and compare data to implement business tasks (<https://www.statistica.com/en>). The program offers all the possibilities for creating reports, has many tools for statistical analysis, and allows you to format tables and graphs conveniently for a report or a scientific article. The Minitab package includes a large selection of statistical tools. The program will be helpful for specialists in various fields of activity. For example, accountants, financiers, and analysts use large data sets for analysis, macros for process automation,

and graphical elements for reports. This program is often used during scientific research among teachers, students, and research workers in higher educational institutions.

StatSoft manufacturer STATISTICA is known for creating robust programs for statistical and graphic analysis (<https://www.statistica.com/en/>). This software package's set of tools allows prediction and data mining. This program enables users to create applications, install integrations, and organize Internet access. The user can customize the STATISTICA interface according to their tasks and needs. The analysis process proceeds interactively by gradually opening dialog windows. The first tab always contains the most used functions, while the others contain specialized methods and functions. Therefore, it will be convenient for both beginners and advanced users. The graphics block contains a set of tools for visualization and graphic design. You have over 10,000 graph types to edit, interactively rotate, zoom, and control transparency. The main advantages of the STATISTICA package are its high speed and accuracy of calculations. All calculations are fast, although applications are massive and database requests are frequent. The program uses proprietary performance improvement technologies. Initially, StatSoft products were designed with maximum optimization in mind when working with complex predictive models. In STATISTICA programs, you can perform exploratory data analysis, determine correlation, create scatter diagrams, calculate the T-criterion, create frequency tables, and create themes. The program also allows you to define probability distributions in an interactive calculator. The programs are intended for both private and corporate users.

COMSOL software products are tools for creating numerical models in various design fields (<https://www.comsol.com/>). COMSOL Multiphysics is a universal platform used in production, scientific research, and engineering. This software environment allows us to analyze physical processes and manage models and applications. The program has tools for creating geometric models, assigning properties to materials, and visualizing the final modeling project. All developed models are stored in the database. The COMSOL software package has extension modules. COMSOL Multiphysics includes core functionality such as model creation, application development, and model management. You can group geometric models into patterns by creating geometric models. The appendix contains interfaces for forming characteristics of models based on mathematical equations. The COMSOL component is also an application development environment based on computational models.

Matrix Laboratory, or Matlab for short, is a set of tools for programming, mathematical calculations, and computer modeling (<https://www.mathworks.com/>). With the help of this software, data processing is carried out quickly and qualitatively. Matlab products are represented as functions or scripts. Modeling for data analysis allows the use of matrices, linear equations, and vectors. The program has a built-in graph gallery for monitoring patterns. All graphical visualizations can be annotated, and graphs can be manipulated. The application allows you to perform tasks of various levels, from executing simple interactive commands to building large-scale programs. Differential equations, partial derivatives, and linear and non-linear equations can be created.

IBM SPSS Statistics is a software package for complex statistical analysis, planning, and business accounting (<https://www.ibm.com/products/spss-statistics>) [6]. SPSS Statistics has a convenient user interface that does not require programming. There are various management functions, statistical commands, and reporting tools. All IBM SPSS products are integrated into a single system, so switching from one program to another will not be difficult. Built-in Modules increase analytical capabilities. IBM SPSS works on all operating systems – Windows, MacOS, Linux, Android, and iOS. Often, this software is used in medicine, marketing, government, and educational institutions. The software package includes a metadata dictionary, which makes it easier to work with the documentation. With SPSS, you can measure frequencies, correlations, regressions, and other statistical products.

Most of the powerful statistical software packages are industrial. There is no specific statistical software product aimed at education. However, the teacher can use the abovementioned programs to teach statistics depending on his skills. Besides these, Excel spreadsheets have several advantages.



Almost all statistical calculations in other software products can be performed in Excel [7]. Students are familiar with the Excel spreadsheet as it is a component of Microsoft Office. Excel is accessible, and its interface is intuitive. In many works, Excel has been used in mathematics courses in higher educational institutions and schools [8].

*MS Excel in teaching elements of statistics.* The Excel digital tool can be a powerful learning tool for elementary and middle school students. Excel provides concrete ways to explore abstract concepts in math and other subjects. This program contains various formulas that can be used in teaching mathematics. In addition to using ready-made formulas, students can create formulas to work with quantities. This paper proposes the use of MS Excel in the teaching and learning of statistics in secondary schools. This document demonstrates the ability of MS Excel to teach almost all high school statistics topics. Using Microsoft Excel, you can generate the following types of statistical elements in a school mathematics course: Creating diagrams and tables; Calculation of central tendency values (mode, median, arithmetic mean, geometric mean); Construction of frequency range and polygon; Creating a graphic image of a random variable; Calculation of variance and standard deviation. Because Microsoft Windows is the standard operating system in many countries worldwide, most teachers already own Microsoft Office, including Excel. Thus, when using the Excel software package, an important criterion should be that it is widely available. Despite these advantages, some scholars recommend the appropriate use of Excel in teaching statistics for several reasons. For example, they consider some Excel functions complicated, inappropriate, or inaccurate [9]. For example, in the general education schools of the Republic of Kazakhstan, students of the 11th grade, within the subject of beginning algebra and analysis, pass the chapter on basic concepts of mathematical statistics. In this chapter, the main and sample sets, the main statistical average values (sample interval, arithmetic mean, median, mode), discrete and interval frequency tables, statistical diagrams (frequency polygon, histogram), and numerical characteristics of discrete random variables are introduced in the chapter. The 11th-grade Algebra and Analysis Beginnings textbook has tasks and instructions for calculating these topics using the Excel spreadsheet [10, 11]. The following report is given in the textbook. The number of grains in a wheat ear obtained from a field without fertilizer application is given.

Based on these data, create a frequency table, calculate the slope, mode, median, and arithmetic mean, and create a frequency polygon and a histogram. First, we enter the data into a table (Figure 1) and create a frequency table (Figure 2).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1															
2	The number of grains in a wheat ear obtained from an unfertilized field														
3	4	6	5	6	5	6	4	6	4	9	5	3	6	8	5
4	4	6	8	6	5	6	7	4	6	5	2	8	6	5	6
5	5	5	5	4	4	4	6	7	5	6	7	5	5	6	4
6	8	5	3	7	5	3	6	4	7	5	6	5	7	5	7
7	6	7	5	4	7	5	5	5	6	6	5	6	7	5	8
8	6	8	6	7	6	6	3	7	6	8	3	3	4	4	7
9	6	5	6	4	5	7	3	7	7	6	7	7	4	6	6
10	5	6	7	6	3	4	6	6	3	7	6	7	6	8	6
11	6	6	6	4	7	6	6	5	3	8	6	7	6	8	6
12	7	6	6	6	8	4	4	8	6	6	2	6	5	7	3

Figure 1. Entering data into an Excel spreadsheet

When creating a frequency table, you need functions to count and find the maximum and minimum values. Fundamental statistical mean values can be calculated using standard functions or formulas (Figure 2). To create a polygon of frequencies, we select a table of frequencies and draw a graph (Figure 3). To create a histogram, you must determine the number and length of intervals. After deciding these, we determine the frequency of each interval. Then, select intervals and frequencies and create a histogram (Figure 4).

Frequency table of the number of grains in a wheat ear obtained from an unfertilized field										
X	2	3	4	5	6	7	8	9		
n	2	11	19	29	51	25	12	1	Σ	150
w, %	1,3	7,3	12,7	19,3	34	16,7	8	0,7	Σ	100
Basic statistical characteristics										
Min	2									
Max	9									
Change	7									
AVG	5,627									
Mode	6									
Median	6									

Figure 2. Calculation of the table of frequencies and basic statistical values using Excel

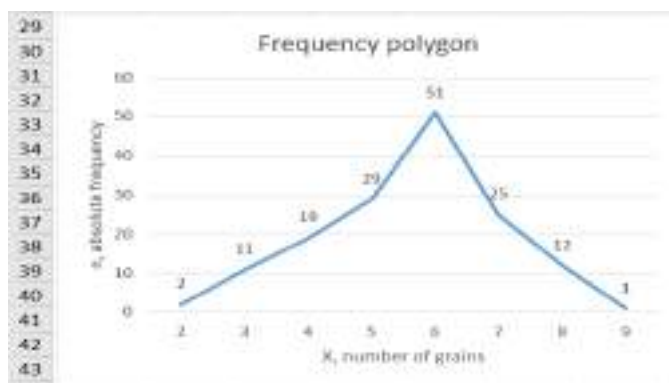


Figure 3. Building a frequency polygon using Excel

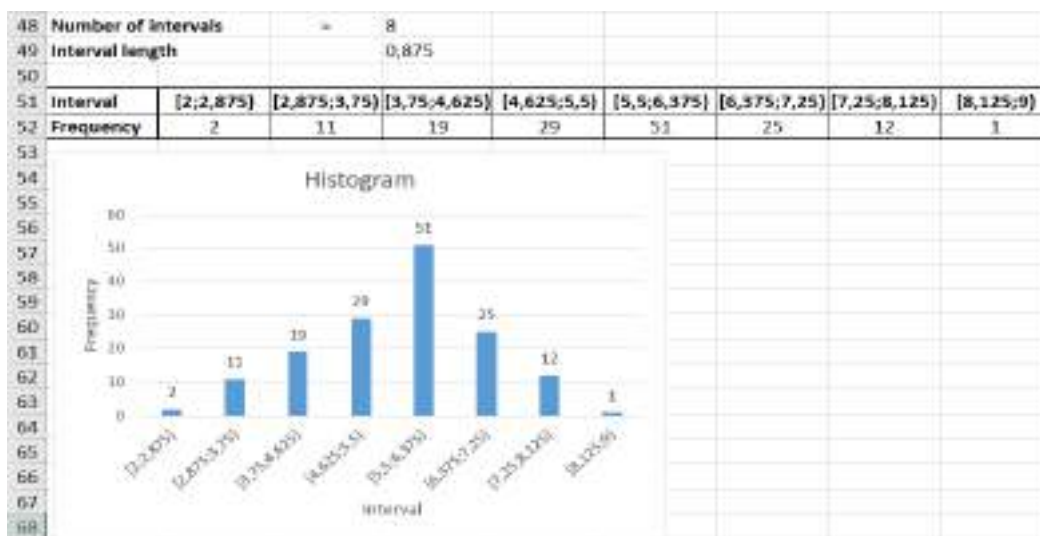


Figure 4. Building a histogram using Excel

## Discussion

Within the framework of the study, basic information about Excel was provided. Details on using the Excel table processor in teaching statistics elements in the school mathematics course were presented. The advantages of using Excel over other statistical software packages have been identified. Most statistical software packages are not intended for educational use. Because of its popularity, accessibility, and simplicity, Excel helps teach statistics. Excel is used to teach statistics in school mathematics courses in many countries. It has been shown that all statistical problems at the school level can be solved using Excel.

An example of creating a frequency table, calculating fundamental statistical mean values, and creating a frequency polygon and histogram was shown using MS Excel. This study will help mathematics teachers teach the elements of statistics.

## Conclusion

This work showed that the Excel software package can teach statistics elements in school mathematics courses. Researchers agree that using Excel spreadsheets to teach statistics elements helps students learn the subject easily. MS Excel has advantages over other digital tools in that it is affordable and relatively easy to use. The importance of using digital technologies such as Excel to teach the elements of statistics in school mathematics has been revealed.

## References

- [1] Sushkova, M.V. *Statistics and its role in the development of modern society* / M.V. Sushkova. – // *Novainfo*, 2017. – No. 58. – P. 210-213. – URL: <https://novainfo.ru/article/10848>
- [2] Karzhaubai A., Iskakova M. *Application of digital technologies in teaching elements of statistics in school mathematics course, International University of Information Technologies DTESI 2022*, P.93-100. <https://dtesi.iitu.edu.kz/documents/Section6.pdf>
- [3] M.Iskakova, S.Toleugaliyeva, A.Kaliyeva, L.D.Diyarova, A.Karatayev. *An Effective Way to Detect the Sum of the First N Term of an Arithmetic Progression. 41st World Conference on Applied Science, Engineering & Technology. WCASET-2022*, P.8-11. <https://iferp-in-docs.s3.ap-south-1.amazonaws.com/conf-proceedings/2022/41-wcaset-Book.pdf>
- [4] Neil J. Salkind. *Excel Statistics: A Quick Guide*. SAGE Publications, Inc; Third edition. – 2015. – 168p. <https://books.google.kz/books?id=MuhKvnXfL0EC&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false>
- [5] Hackl, Peter. (2021). *Statistics Software in Teaching*. [https://www.researchgate.net/publication/356791666\\_Statistics\\_Software\\_in\\_Teaching](https://www.researchgate.net/publication/356791666_Statistics_Software_in_Teaching)
- [6] Martin Lee Abbott. *Understanding Educational Statistics Using Microsoft Excel and SPSS*. John Wiley & Sons. – 2014. – 552p. ISBN 1118627180, 9781118627181
- [7] Gómez-Blancarte, Ana. (2022). *An Overview of the Use of Technology for Teaching Statistics by Mexican High School Teachers*. 10.52041/iase.icots11.T10F1. [https://iase-web.org/icots/11/proceedings/pdfs/ICOTS11\\_298\\_GMEZBLAN.pdf?1669865552](https://iase-web.org/icots/11/proceedings/pdfs/ICOTS11_298_GMEZBLAN.pdf?1669865552)
- [8] Chaamwe, Nchimunya & Shumba, Langstone. (2016). *ICT Integrated Learning: Using Spreadsheets as Tools for e-Learning, A Case of Statistics in Microsoft Excel*. *International Journal of Information and Education Technology*. 6. 435-440. 10.7763/IJiet.2016.V6.728. <https://www.ijiet.org/vol6/728-E205.pdf>
- [9] Aydın, Serhat. (2016). *Using Excel in Teacher Education for Sustainability*. *Journal of Teacher Education for Sustainability*. 18. 89-104. 10.1515/jtes-2016-0017. <https://sciendo.com/downloadpdf/journals/jtes/18/2/article-p89.pdf>
- [10] *10-Lushih program i instrumentov dlia statistici v 2022 godu*. <https://softlist.com.ua/ru/news/10-luchshikh-programm-i-instrumentov-dlia-statisiki-v-2022-godu>
- [11] *Algebra and beginnings of analysis: a textbook for the 11th grade of a general education school in the direction of science and mathematics* / A. N. Shinybekov, D. A. Shinybekov, R. N. Zhumabayev. - Almaty: Atamura, 2020. - 192 p.

М.М. Нұрахметова<sup>1</sup>, Д.Б. Нұрахметов<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Астана халықаралық университеті, Астана қ., Қазақстан

\*e-mail: [daulet.nurakhmetov2023@gmail.com](mailto:daulet.nurakhmetov2023@gmail.com)

## «ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕНДЕУЛЕР ТЕОРИЯСЫ» ПӘНІНЕН СТУДЕНТТЕРДІҢ ӨЗДІК ЖҰМЫСТАРЫН ҰЙЫМДАСТЫРУ ТУРАЛЫ

### Аңдатпа

Бұл жұмыстың басты мақсаты студенттерге жай дифференциалдық тендеулер теориясынан екінші ретті тұрақты коэффициентті біртекті және біртекті емес дифференциалдық тендеулерге қойылған бастапқы есептердің дербес шешімдеріне анализ жасап үйрету. Жұмыста студенттердің оқытушымен өздік жұмысында қарастырылған жаттығулар тізімі берілген. Талқыланған жаттығулар тізімінің шешімі мен анализі келтірілген. Қарастырылған тақырып бойынша студенттердің өздік жұмысына ұсынылған тапсырмалар тізімі ұсынылған. Сондай-ақ, студенттердің тапсырмаларды орындаулары бойынша қорытынды жасалған. Өздік жұмыстарда студенттің белсенділік танытуы білім алушы бойында ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізуге деген қызығушылығын арттырады. Ғылыми зерттеулерде есептің шешіміне анализ жүргізу мен болашаққа болжам жасай алу жоғары бағаланатын қабілет екендігі белгілі. Білім алушылардың өздік жұмысын орындау барысында алған білімдері мен тәжірибелері олардың кәсіби маман болып қалыптасуына айтарлықтай әсер етеді деп сенеміз.

**Түйін сөздер:** Дифференциалдық тендеулер, біртекті, біртекті емес, өздік жұмыстар, шешімнің қалпы, дербес шешім, бастапқы есеп, жалпы шешім.

М.М. Нұрахметова<sup>1</sup>, Д.Б. Нұрахметов<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Международный университет Астана, г. Астана, Казахстан

## ОБ ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПО ПРЕДМЕТУ «ТЕОРИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ»

### Аннотация

Основная цель данной работы – научить студентов анализировать частные решения начальных задач для однородных и неоднородных дифференциальных уравнений с постоянным коэффициентом второго порядка теории обыкновенных дифференциальных уравнений. Работа содержит перечень упражнений, рассматриваемых учащимися в самостоятельной работе с преподавателем. Дано решение и анализ перечня обсуждаемых упражнений. Представлен перечень заданий, предлагаемых для самостоятельной работы студентов по рассматриваемой теме. Также был сделан вывод о выполнении заданий студентами. Активность студента в самостоятельных работах повышает интерес студента к проведению научных исследований. Известно, что умение анализировать решение проблемы и прогнозировать будущее является высоко ценным навыком в научных исследованиях. Мы верим, что знания и опыт, полученные студентами в ходе самостоятельной работы, окажут существенное влияние на их профессиональное развитие.

**Ключевые слова:** Дифференциальные уравнения, однородные, неоднородные, самостоятельная работа, поведения решений, частное решение, начальная задача, общее решение.

M.M. Nurakhmetova<sup>1</sup>, D.B. Nurakhmetov<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Astana International University, Astana, Kazakhstan

## ON ORGANISING INDIVIDUAL WORK OF STUDENTS ON THE SUBJECT "THEORY OF DIFFERENTIAL EQUATIONS"

### Abstract

The main objective of this work is to teach students to analyse particular solutions of initial value problems for homogeneous and inhomogeneous differential equations of the second order with a constant coefficient from the theory of ordinary differential equations. The work contains a list of exercises considered by the

students in independent work with the teacher. A solution and analysis of the list of exercises discussed is given. A list of tasks offered for students' independent work on the topic under consideration is presented. It was also concluded about the performance of the students' assignments. Student's activity in independent works increases student's interest in conducting scientific research. It is known that in scientific research, the ability to analyze the solution of a problem and make predictions about the future is a highly valued skill. We believe that the knowledge and experience gained by students through independent work will have a significant impact on their professional development.

**Keywords:** Differential equations, homogeneous, inhomogeneous, independent work, behavior of solutions, particular solution, initial problem, general solution.

### **Негізгі ережелер**

Мақала «дифференциалдық теңдеулер теориясы» пәнінен студенттердің өздік жұмыстарын ұйымдастыруға арналған. Қолданылатын негізгі әдіс «зерттеуге негізделген оқыту» болып табылады. Зерттеу барысында білім алушылардың алған білімдерін жетілдіре отырып, жаңа тақырыпты жан-жақты меңгеру жолы ұсынылады. Бұл үшін арнайы әзірлеген жаттығулар мен тапсырмалар тізімі әзірленген. Зерттеу нәтижесінде «БВ01506 Математика» білім беру бағдарламасы бойынша оқитын 3-курс студенттері тұрақты коэффициентті біртекті және біртекті емес екінші ретті дифференциалдық теңдеуге қойылған бастапқы есептің шешіміне анализ жасауды үйренеді. Сондай-ақ, бастапқы есептің шешімінің қалпына дифференциалдық теңдеудің коэффициенттері мен сыртқы күштің әсерінің ерекшелігін және шешімнің қалпын өзгерту үшін бастапқы шарттарға арнайы таңдау жасауға болатындығын практикалық тұрғыдан меңгереді. Практика барысында компьютерлік алгебра жүйесімен танысады.

### **Кіріспе**

Жай дифференциалдық теңдеулер теориясы жаратылыстану бағытындағы болашақ мамандар үшін негізгі пәндердің бірі болып саналады. Мұндағы қарастырылатын сұрақтар білім алушының осы пәнді меңгергенге дейінгі математикалық талдау, аналитикалық геометрия, сызықтық алгебра, физика және информатика сияқты пәндерімен тығыз байланыста дамиды. Пәндегі қарастырылатын негізгі сұрақтарды меңгеру дәріс, практикалық сабақ, студенттің оқытушымен өздік жұмысы және студенттің жеке өздік жұмысы сияқты жұмыс түрлерімен іске асады. Қарастырылатын сұрақтардың негізгі легі бірінші ретті сызықты және сызықты емес теңдеулер және оларға қойылған бастапқы есептің шешімінің бар және жалғыз болуы туралы теорема, тұрақты немесе айнымалы коэффициентті біртекті немесе біртекті емес жоғары ретті жай дифференциалдық теңдеулерге қойылған бастапқы және шекаралық есептер, дифференциалдық теңдеулер жүйесі және бірінші ретті дербес туындылы дифференциалдық теңдеулермен беріледі [1-7]. Осы тұста білім алушылардың алған білімдерін жүйелеп, кәсіби тұрғыдан маман ретінде қалыптасуы үшін студенттің өздік жұмысының атқаратын рөлі ерекше. Өйткені білім алушы дәрістен алған теориялық білімін, практикалық сабақтан алған тәжірибесі мен оқытушымен өткізген өздік жұмысы барысындағы оқытушы кеңесін өздік жұмыс ретінде ұсынылған есептерді шешуге қолдана алу дағдысын қалыптастыруы қажет. Ал бұл есептердің нақты пратикалық қолданысының бар болуының тақырыптың маңыздылығын арттырады. Екінші ретті тұрақты коэффициентті біртекті емес дифференциалдық теңдеулерге қойылған бастапқы есептердің тербелмелі жүйелерді модельдеудегі қолданысы осыған бір жақсы мысал [8].

Біріншіден, жоғары ретті тұрақты коэффициентті біртекті дифференциалдық теңдеулерге қойылған бастапқы есепті шешу біртекті емес дифференциалдық теңдеуге қойылған бастапқы есепті шешуге қолданылады. Сондықтан алдымен біртекті дифференциалдық теңдеуге қойылған бастапқы есепті шығарып үйрену маңызды болып табылады [2-7]. Жоғары ретті дифференциалдық теңдеу екінші ретті болғанда, серіппеге ілінген қосарланған массаның тербелісін сипаттайды [2-4]. Сондықтан екінші ретті дифференциалдық теңдеулерге қойылған бастапқы есептерді қарастыру теориялық және практикалық тұрғыдан да маңызды болып



табылады. Практикалық сабақтарда кеңінен қолданылатын [9, Б. 74-79 ] жұжыстағы есептердің көпшілігі бастапқы есептің шешімін табумен және бекітілген бастапқы шарттарымен дифференциалдық теңдеудің коэффициенттеріне есептің шешімінің қалпының өзгеруіне қатысты қандай да бір шарт табуға байланысты ұсынылған. Сондай-ақ, басқа ғылым саласымен байланысты пәнаралық есептер кеңінен қамтылған. [4] жұмыста бастапқы есептің шешімін тауып қана қоймай, оған әртүрлі талдау жасау ұсынылған. «Бұндай есептер білім алушының аналитикалық қабілетін дамытып, өткен тақырыпты тереңірек меңгеруіне мүмкіндік береді және зерттеушілік қабілетін оятуға түрткі болады» деп *бірінші болжам* жасаймыз. Осыған байланысты оқытушымен студенттің өздік жұмысын ұйымдастыру барысында «Дискуссия» бөлімде бірнеше жаттығу жан-жақты талқыланып, толықтай шығарылды. Сонымен қатар білім алушыларға өздік жұмысы ретінде ұсынылған есептердің шығарылу үлгісі ұсынылады. Білім алушылардың өздік жұмысын орындауы бойынша жұмыстарына талқылау келтіріледі.

Екіншіден, тұрақты коэффициентті бнртексті және біртекті емес екінші ретті дифференциалдық теңдеуге қойылған бастапқы есептердің шешімінің қалпын зерттеу барсыныда студенттерге әртүрлі ақпараттық және коммуникациялық технологияларға (АКТ) негізделген әдістер таныстырылып, зерттеуге оларды қолдану ұсынылған. Оқытушының студенттермен өздік жұмысында шешімдерді талдауға Maple компьютерлік пакеті қолданылады [10]. Алайда басқа да компьютерлік алгебра жүйелерін немесе АКТ қолдануға шектеу жоқ екендігі студенттерге ескертіліп, Maple calculator, GeoGebra, wolfram alpha немесе desmos графикалық калькуляторын қолдануға ұсыныс берілді. Осы бағытта «студенттер бастапқы есептердің шешімдерінің қалпын толықтай зерттеу үшін АКТ-ға негізделген әдістерді жетік меңгерулері қажет» деген *екінші болжам* жасаймыз.

### **Зерттеу әдіснамасы**

Зерттеу 2024-2025 оқу жылының 1-семестрінде Астана халықаралық университетіндегі педагогикалық институтының «БВ01506 Математика» білім беру бағдарламасы бойынша оқитын 3-курстың 40 студентіне жүргізілді. Зерттеу «зерттеуге негізделген оқыту» әдісіне негізделген. Бұл әдістің дифференциалдық теңдеулер теориясын оқытудағы қолданысы туралы халықаралық басылымдардағы зерттеулерге толықтай шолуды оқырман [11] жұмыстан оқып таныса алады. Зерттеу барысында тұрақты коэффициентті біртекті және біртекті емес екінші ретті дифференциалдық теңдеуге қойылған бастапқы есептің шешімінің қалпын зерттеу тақырыбына арналған өздік жұмысының кейбір өзекті сұрақтары бойынша талдау жасалды.

### **Зерттеу нәтижелері**

Студенттердің өздік тапсырмаларын орындау мерзімі 1 аптаны қамтыды. Жалпы студенттер саны 40, ал тапсырмаларды уақытында орындаған студенттер саны 36 болды. Олардың ішінде 12 ұл, 24 қыз. 60-65 пайыз аралығында баға алған студенттер саны 4, 70-85 пайыз аралығында баға алған студенттер саны 28, 90-95 пайыз аралығында баға алған студенттер саны 4. Білім алушылардың білім деңгейі келесі критерийлерге қатысты бағаланды:

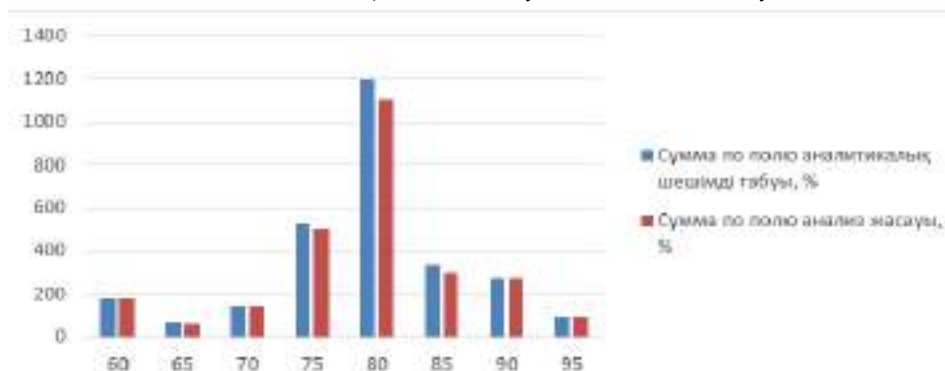
1. Аналитикалық шешімді таба алуы;
2. Анализ жасай алуы.
3. Анализ жасауға және график салуға жаңа технологияларды пайдалана алуы.

Анализ жасау барысында білім алушылар алынған аналитикалық шешімнің негізінде немесе жаңа технологиялардың көмегімен шешімнің қалпын графиктерді пайдаланып зерттеу арқылы жеткен. Енді соларға кеңірек тоқталайық.

Аналитикалық шешім табу мен анализ жасау арасындағы корреляциялық коэффициент 0,83-ті көрсетті. Яғни, бұл критерийлер арасындағы корреляцияның жоғары екенін білдіреді. 1-суреттен көріп отырғанымыздай 60-70 пайыз бен 90-95 пайыз арасында баға алған

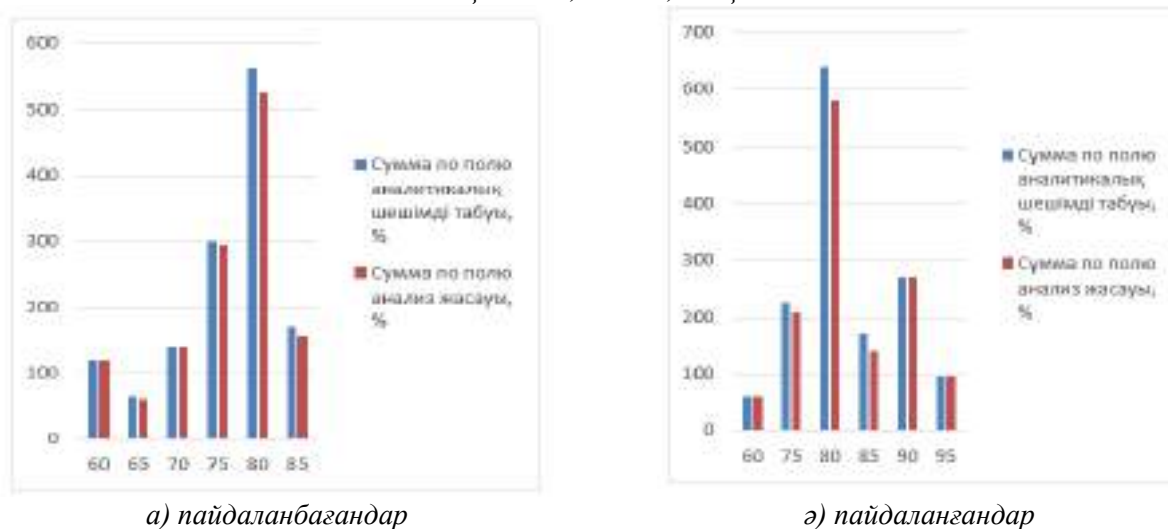
студенттердің арасында аналитикалық шешім табу мен анализ жасау шамалас, ал 75-85 пайыз баға алғандарда аналитикалық шешім табу сәл басымырақ болып келген. Бұдан біздің бірінші болжамымыздың дұрыс екенін байқаймыз. Алынған дербес шешімге анализ жасауда барлық білім алушылар жаңа технологияларды пайдаланбаған. Алайда, пайдаланбаса да, жақсы анализ жасай білген студенттер де бар. Жоғары баға алған студенттердің басым көпшілігі жаңа технологияларды пайдалана отырып, күрделі талдау жүргізе алған, 2-суретті қараңыз. Бұл біздің екінші болжамымыздың дұрыс екенін көрсетеді.

Аналитикалық шешім табу мен анализ жасау



Сурет 1. Аналитикалық шешімді таба алуы

Аналитикалық шешім, анализ, жаңа технология



Сурет 2. Жаңа технологияны қолдану туралы ақпарат

### Дискуссия

Бұл бөлімді білім алушылармен студенттердің өздік жұмысына ұсынылған есептерді шығаруға дейінгі оқытушымен жүргізілген өздік жұмысында қарастырылған жаттығулар тізімін келтірумен бастайық. Білім алушылар тұрақты коэффициентті біртекті және біртекті емес жоғары ретті қарапайым дифференциалдық теңдеулерге қойылған бастапқы есепті шешудің екі әдісі бойынша толық дәріс алып, [9, Б. 74-79 ] есептер жинағы бойынша 2 сағаттық практикалық жұмыс жасап келді. Меңгерген әдістері: анықталмаған коэффициенттер мен тұрақтыны вариациялау. Осыған дейінгі дағдыларын жетілдіру мақсатында келесі жаттығулар тізімі ұсынылып, талқыланды.

1-жаптызу.  $0 < t < 10$  аралығында

$$y'' + y' - 6y = 0 \quad (1)$$

теңдеуі мен келесі бастапқы шарттарды

$$y(0) = 5, y'(0) = 0 \quad (2)$$

қанағаттандыратын Коши есебінің дербес шешімін табыңыз. Сондай-ақ, шешімнің қалпын зерттеңіз.

*Шешуі.* Алдымен (1)-теңдеуге қатысты сипаттамалық теңдеуін жазайық:

$$\lambda^2 + \lambda - 6 = 0. \quad (3)$$

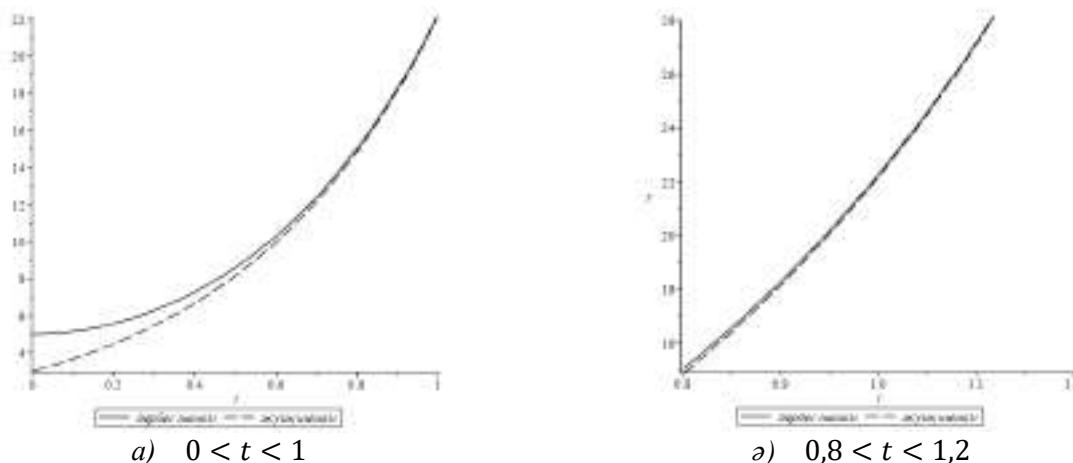
(3)-сипаттамалық теңдеудің түбірлері  $\lambda_1 = -3, \lambda_2 = 2$ . Сәйкесінше, (1)-теңдеудің жалпы шешімі

$$y(t) = c_1 e^{-3t} + c_2 e^{2t}. \quad (4)$$

(4)-жалпы шешімде (2)-бастапқы шарттарды ескерсек, (1)-теңдеуге қойылған (2)-бастапқы шартпен Коши есебінің дербес шешімі келесі түрге ие болады

$$y(t) = 2e^{-3t} + 3e^{2t}. \quad (5)$$

Енді шешімнің қалпын зерттеу үшін (5)-формуламен анықталған дербес шешімнің графигін салайық, 3-суретті қараңыз. Алдымен  $0 < t < 10$  аралығында  $y(t)$  дербес шешімнің қалпын қарастырсақ, онда уақыт өткен сайын бірінші қосылғыштың нөлге ұмтылатынын байқаймыз. Ендеше бұл дербес шешім мен оның жуықтауы болып келетін  $y_{ж}(t) \approx 3e^{2t}$  тек екінші қосылғыштан тұратын бөлігі қай уақыттан бастап бір-біріне жуық болатынын зерттейік.



Сурет 3. (5)-дербес шешімнің қалпы

Дербес шешім  $y(t)$  мен  $y_{ж}(t)$  жуық шешімнің графигін  $0 < t < 1$  аралығында салайық, 1 а) суретті қараңыз. Бұл суреттен байқайтынымыз, дербес шешім мен жуық шешім  $0 < t < 0,8$  аралығында бір-бірінен алшақ орналасқан, сонымен қатар нөлдің маңайында бастапқы шарттың жуық шешім үшін орындалмай тұрғанын көреміз. Алайда уақыт өткен сайын, жуық шешім мен дербес шешімнің қалпы бірдей бола түсетінін 1, ә) суреттен көреміз. Ол дегеніміз  $1,2 < t < 10$  уақыт аралығында дербес шешімнің орнына жуық шешімді алуға болатынын көрсетеді. Ал жуық шешім бізге кейбір есеп-қисаптарды жүргізуге ыңғайлылығымен маңызды. Сондықтан, әрбір бастапқы есепті шығарып, дербес табумен қатар біздер оның



қалпын да қатар зерттей білуіміз керек. Бұндай талдаулар кейбір кезде практикалық тұрғыдан уақыт үнемдеуге мүмкіндік беретінімен құнды болып саналады.

2-жаттығу.  $1 < t < 3$  аралығында

$$y'' + 5y' + 4y = 0 \quad (6)$$

теңдеуі мен келесі бастапқы шарттарды

$$y(1) = 1, y'(1) = 1 \quad (7)$$

қанағаттандыратын Коши есебінің дербес шешімін табыңыз. Сондай-ақ, шешімнің максимум мәнін есептеңіз.

Шешуі. Алдымен (6)-теңдеуге

$$\lambda^2 + \lambda - 6 = 0. \quad (8)$$

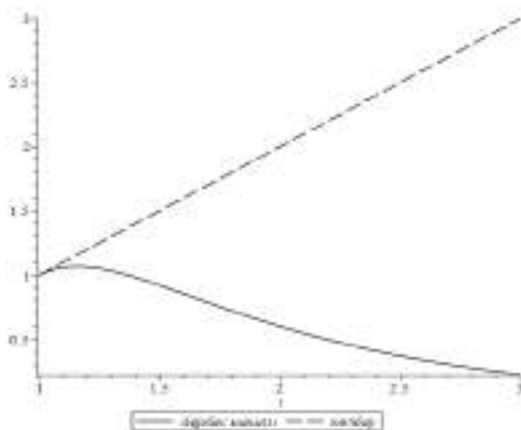
(8)-сипаттамалық теңдеудің түбірлері  $\lambda_1 = -4, \lambda_2 = -1$ . Сәйкесінше, (6)-теңдеудің жалпы шешімі

$$y(t) = c_1 e^{-4t} + c_2 e^{-t}. \quad (9)$$

(9)-жалпы шешімде (7)-бастапқы шарттарды ескерсек, (6)-теңдеуге қойылған (7)-бастапқы шартпен Коши есебінің дербес шешімі келесі түрге ие болады

$$y(t) = -\frac{2}{3} e^{-4(t-1)} + \frac{5}{3} e^{-(t-1)}. \quad (10)$$

Коши есебінің (10)-дербес шешімі бастапқыда артады, себебі оның бастапқы көлбеуі оң екенін (7)-бастапқы шарттың екіншісінен көреміз, яғни  $y'(1) = 1$ . Алайда уақыт өскен сайын оның нөлге ұмтылатынын байқаймыз, себебі дербес шешімнің екі қосылғышы да теріс экспоненциалды функциялар болып тұр. Сондықтан дербес шешімнің максимум нүктесі болуы керек және 2-суреттегі дербес шешімнің графигі мұны растайды.



Сурет 4. (10)-дербес шешімнің қалпы

4-суретте көлбеудің графигін салу үшін біз берілген Коши есебіндегі бастапқы шарттарды пайдаланамыз, мұнда көлбеудің теңдеуі

$$y_{\text{көлбеу}}(t) = y'(1)(t - 1) + y(1)$$

формуласына сәйкес. Ендеше дербес шешімге сәйкес көлбеу

$$y_{\text{көлбеу}}(t) = t$$

формуласымен анықталады.

Максимум нүктенің координаталарын 2-суреттегі графиктен бағалауға болады, бірақ оларды дәлірек табу үшін шешімге көлденең жанама түзу жүргізілетін нүктені іздейміз. (10)-дербес шешімді  $t$ -ға қатысты дифференциалдау арқылы, біз мынаны аламыз:

$$y'(t) = \frac{8}{3}e^{-4(t-1)} - \frac{5}{3}e^{-(t-1)}.$$

$y'$  мәнін нөлге тең етіп,  $e^{t-1}$  көбейтсек,  $t_m$  кризистік мәні  $e^{-3(t-1)} = \frac{5}{8}$  мәнін қанағаттандыратынын көреміз; демек

$$t_m = -\frac{1}{3} \ln \frac{5}{8} + 1 \approx 1,157$$

Сәйкесінше  $y_m$  максимум мәні

$$y_m = \frac{8}{3}e^{-4(t_m-1)} - \frac{5}{3}e^{-(t_m-1)} \approx 1,069$$

Сонымен, берілген Коши есебінің дербес шешімінің максимум мәні 1,069-ға тең екенін таптық.

*3-жаттығу.*  $0 < t < 60$  аралығында

$$y'' + a^2y = b \sin \omega x \quad (11)$$

теңдеуі мен келесі бастапқы шарттарды

$$y(0) = 0, y'(0) = 0 \quad (12)$$

қанағаттандыратын Коши есебінің  $\omega \neq a$  болғанда және  $\omega = a$  болғанда дербес шешімін тауып,  $a$  мен  $b$ -ның әртүрлі мәндеріндегі графиктерін салыңыз.

*Шешуі.* Алдымен (11)-теңдеудің шешімі берілген дифференциалдық теңдеуге сәйкес біртекті теңдеудің

$$y'' + a^2y = 0 \quad (13)$$

жалпы шешімі мен біртекті емес (11)-теңдеудің бір дербес шешімінің қосындысынан тұратынын ескереміз. Ендеше (13)-ші теңдеудің сипаттамалық теңдеуі

$$\lambda^2 + a^2 = 0. \quad (14)$$

(14)-сипаттамалық теңдеудің түбірлері  $\lambda_1 = -ai, \lambda_2 = ai$ . Сәйкесінше, (13)-теңдеудің жалпы шешімі

$$y_0(t) = c_1 \cos at + c_2 \sin at. \quad (15)$$

Енді (11)-теңдеудің бір дербес шешімін табу қажет. Бұл жерде екі жағдайды қарастырамыз.

*1-жағдай.* Алдымен  $\omega \neq a$  жағдайды қарастырайық. Ол кезде (11)-теңдеудің бір дербес шешімі

$$y_1(t) = A \cos \omega t + B \sin \omega t. \quad (16)$$

(16)-функцияны (11)-теңдеуге қойып,  $A = 0, B = \frac{b}{a^2 - \omega^2}$  табамыз [2]. Сәйкесінше,

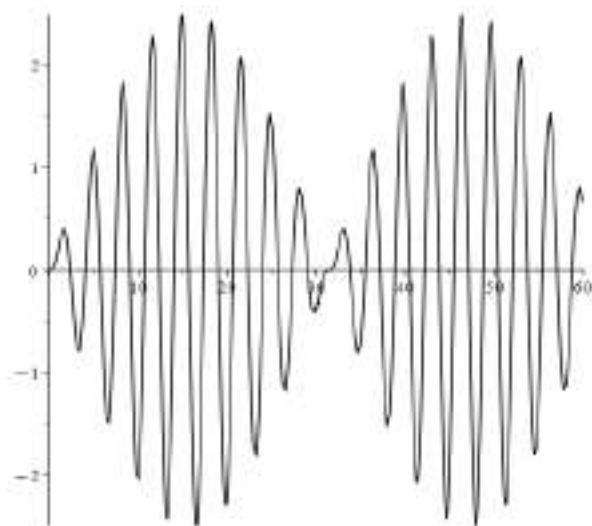
$$y_1(t) = \frac{b}{a^2 - \omega^2} \sin \omega t.$$

(11)-теңдеуінің жалпы шешімі

$$y(t) = y_0(t) + y_1(t) = c_1 \cos at + c_2 \sin at + \frac{b}{a^2 - \omega^2} \sin \omega t. \quad (17)$$

(17)-жалпы шешімдегі белгісіз  $c_1$  және  $c_2$  коэффициенттерін табу үшін (12)-бастапқы шарттарды пайдаланмыз. Сонда (11), (12)-бастапқы есептің дербес шешімі келесі түрге ие болады

$$y(t) = -\frac{b\omega \sin at}{a(a^2 - \omega^2)} + \frac{b \sin \omega t}{a^2 - \omega^2}. \quad (18)$$



Сурет 5. (18)-дербес шешімнің қалпы,  $a = 2, b = 1, \omega = 1.8$

Енді (18)-дербес шешімді әртүрлі  $a, b$  және  $\omega$  мәндері үшін зерттеуге болады. Айталық,  $a = 2, b = 1, \omega = 1.8$  болсын. Бұл кезде дербес шешімнің графигі 5-суретте көрсетілген. Біртекті емес теңдеудің оң жағындағы функция механикалық жүйелерде сыртқы күшті сипаттайды. Егер ол нөлге тең болса, онда механикалық жүйеге ешқандай сыртқы күш әсер етпегенін білдіреді. Бұл кезде оны еркін тербеліс деп атайды, ал оның меншікті дөңгелек жиілігі  $a$ -ға тең болады. Ал егер сыртқы күштің жиілігі  $\omega$ -ға мейілінше жақындайтын болса, онда дербес шешімнің амплитудасы да мейілінше өсетінін көреміз.

2-жағдай. Енді  $\omega = a$  жағдайды қарастырайық. Ол кезде (11)-теңдеудің бір дербес шешімі

$$y_1(t) = t(A \cos at + B \sin at). \quad (19)$$

(19)-функцияны (11)-теңдеуге қойып,  $A = -\frac{b}{2a}, B = 0$  табамыз [2]. Сәйкесінше,

$$y_1(t) = -\frac{bt}{2a} \cos at.$$

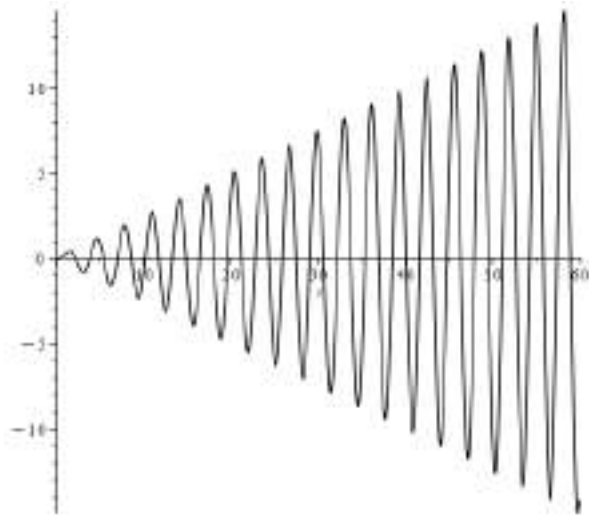
(11)-теңдеуінің жалпы шешімі

$$y(t) = y_0(t) + y_1(t) = c_1 \cos at + c_2 \sin at - \frac{bt}{2a} \cos at. \quad (20)$$

(20)-жалпы шешімдегі белгісіз  $c_1$  және  $c_2$  коэффициенттерін табу үшін (12)-бастапқы шарттарды пайдаланмыз. Сонда (11), (12)-бастапқы есептің дербес шешімі келесі түрге ие болады

$$y(t) = \frac{b \sin at}{2a^2} - \frac{bt \cos at}{2a}. \quad (21)$$

(21)-дербес шешімдегі екінші қосылғыш тербеліс амплитудасы шексіз өсетінін көрсетеді. Бұны ғылымда резонанс құбылысы дейді. Бұл кезде жүйенің тербеліс жиілігі сырттан әсер ететін күштің жиілігімен бірдей болып қалады.



Сурет 6. (21)-дербес шешімнің қалпы,  $a = \omega = 1.8$ ,  $b = 1$

Енді (21)-дербес шешімді әртүрлі  $a, b$  және  $\omega$  мәндері үшін зерттеуге болады. Айталық,  $b = 1$ ,  $a = \omega = 1.8$  болсын. Бұл кезде (11), (12) Коши есебінің шешімі уақыт өткен сайын шексіз өсетінін 6-суреттен көруге болады.

Төменде студенттердің өздік жұмысына ұсынылған есептер тізімін келтіреміз [4]:

1.  $4y'' - 8y' + 3y = 0$ ,  $0 < x < 2$ ,  $y(0) = 2$ ,  $y'(0) = \frac{1}{2}$  бастапқы есебін шеш.  $[0; 2]$

аралығында есептің шешімінің ең үлкен мәнін табыңыз.

2. 2.1.-2.3. есептерде берілген Коши есептерінің шешімдерін табыңыз. Графиктерін сызып,  $t$  уақыт өткен сайын  $y(t)$  шешімінің қалпын сипаттаңыз.

2.1.  $y'' + y' - 2y = 0$ ,  $y(0) = 1$ ,  $y'(0) = 1$

2.2.  $y'' + 4y' + 3y = 0$ ,  $y(0) = 2$ ,  $y'(0) = -1$

2.3.  $y'' + 8y' - 9y = 0$ ,  $y(1) = 1$ ,  $y'(1) = 0$

3. Берілген  $y'' - y = 0$ ,  $y(0) = \frac{5}{4}$ ,  $y'(0) = -\frac{3}{4}$  бастапқы есебін шешіңіз.  $0 \leq t \leq 2$  аралығында шешімін сызып, оның минимум мәнін табыңыз.

4.  $y'' - y' - 2y = 0$ ,  $y(0) = \alpha$ ,  $y'(0) = 2$  бастапқы есебін шешіңіз.  $t \rightarrow \infty$ -да шешім нөлге ұмтылатындай  $\alpha$ - ны табыңыз.

5. Тербелмелі жүйені сипаттайтын келесі бастапқы есепті қарастырыңыз:

5.1.  $u'' + u' = 3\cos\omega t$ ,  $u(0) = 0$ ,  $u'(0) = 0$

5.2.  $u'' + u' = 3\cos\omega t$ ,  $u(0) = 1$ ,  $u'(0) = 1$

а)  $\omega \neq 1$  үшін шешімді табыңыз.

б)  $\omega = 0,7$ ;  $\omega = 0,8$ ;  $\omega = 0,9$ ; болғанда  $u(t)$  шешімін сызыңыз.

Студенттер өздік жұмысын орындау барысында аналитикалық шешімді табуды үйреніп қана қоймай, оған анализ жасауды меңгерді. Бұл студенттердің математикалық білімін жетілдіру бойынша мақсатына жеткендігімен құнды. Анализ барысында аналитикалық шешімге АКТ-ның әртүрлі әдістерін қолдана білуі білім алушылардың технологияны

қолдана алу құзіреттілігі мен сапалы анализ жүргізу дағдысын арттырды. 1-3-ші топтағы есептермен жақсы шұғылданған студентке 4-есепті шығару аса қиындық туғызбағанын байқадық. Бұл есептің маңыздылығы білім алушыға бастапқы шарттарды өзгерту арқылы бастапқы есептің шешімінің қалпын басқартуды үйрету болды. Бұл нәтижелер кейінгі жылдары жүргізілген зерттеу жұмыстарымен үйлеседі [11]-[13].

### Қорытынды

Жұмыста «6B01506 Математика» білім беру бағдарламасы бойынша оқитын 3-курс студенттеріне ұсынылған тұрақты коэффициентті біртекті және біртекті емес екінші ретті дифференциалдық теңдеуге қойылған бастапқы есептің шешімінің қалпын зерттеу тақырыбына арналған өздік жұмысын ұйымдастыру жолы ұсынылған. Өздік жұмысының алдында студенттердің оқытушымен өздік жұмысында қарастыратын жаттығулар тізімі мен талқылауы келтірілген.

Сондай-ақ, екінші ретті тұрақты коэффициентті дифференциалдық теңдеулерге қойылған бастапқы есептің тербелмелі жүйені модельдеуде қолданылатын жолы мен анализ жасауы жан-жақты қарастырылған. Студенттердің осындай өздік жұмыстарымен шұғылдануы болашақта олардың ғылыми-зерттеу жұмыстарымен айналысуына негіз болуы да мүмкін.

### Алғыс

Зерттеу нәтижелерін талдау барысында пайдалы пікірлер айтып, құнды кеңестерімен бөліскені үшін профессор Джумабаев Серик Асетовичке авторлар алғыс айтады. Екінші автор Maplesoft компаниясына Maple-2024 компьютерлік пакетімен қамтамасыз еткені үшін алғыс білдіреді.

**Қаржылық қолдау.** Зерттеу жұмысы ешбір қаржылық қолдаудың көмегінсіз орындалды.

#### Пайдаланылған дереккөздер тізімі

- [1] Жаутыков О.А. Жай дифференциалдық теңдеулер. I бөлім. - Алматы, 1950. – 52б.
- [2] Степанов В.В. Курс дифференциальных уравнений. – М.: Леннанд, 2022. – 512 с. <http://urss.ru>
- [3] Федорюк М.В. Обыкновенные дифференциальные уравнения. – М.: Ленанд, 2023. - 448с. <http://urss.ru>
- [4] Boyce W.E., DiPrima R.C. Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems. 10<sup>th</sup> Edition. USA 2012 Wiley. – 833 p. <https://www.imsc.res.in/~pralay/diprima.pdf>
- [5] Петровский И.Г. Лекции по теории обыкновенных дифференциальных уравнений. – М.: Наука, 1964. – 272 с. <https://csc-knu.github.io/de/book/petrovsky-2009.pdf>
- [6] Көлекеев К. Д., Назарова К. Ж. Дифференциалдық теңдеулер: Оқулығы. - Алматы: ЖШС РПБК “Дәуір”, 2012. - 216 б. <https://rmebrk.kz/bilim/kolekeev-differencialdyk.pdf>
- [7] Байарыстанов А.О., Қошанов Б.Д. Дифференциалдық теңдеулер және қатарлар теориясы мен есептері: оқулық. – Алматы, Альманахъ, 2022. – 210 б. <https://almanah-library.kz/>
- [8] Wei, D., Nurakhmetov, D., Aniyarov, A., Zhang, D., Spitas, C. Lumped-parameter model for dynamic monolayer graphene sheets (Article). Vol. 534, No. 117062, 1 – 9. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2022.117062>
- [9] Филиппов А.Ф. Сборник задач по дифференциальным уравнениям. Изд. 9-е. М.: Ленанд, 2022. – 240 с. <http://urss.ru>
- [10] Hunt, B.R.; Lardy, L.J.; Lipsman, R.L.; Osborn, J.E.; Rosenberg, J.M. Differential Equations with Maple, 3rd ed.; John Wiley & Sons, 235 Inc., 2009; p.264 <https://jp.maplesoft.com/books/details.aspx?id=288>
- [11] Lozada E.; Guerrero-Ortiz C.; Coronel A.; Medina R. (2021) Classroom Methodologies for Teaching and Learning Ordinary Differential Equations: A Systemic Literature Review and Bibliometric Analysis. Mathematics. Vol. 9, No. 7, 745, 1-40 <https://doi.org/10.3390/math9070745>
- [12] Habre S. (2019) Inquiry-oriented differential equations: A guided journey of learning // Teach. Math. Its Appl. Vol. 39, No.3, 201–212 <http://dx.doi.org/10.1093/teamat/hrz015>
- [13] Maat S.M., Zakaria E. (2011) Exploring students' understanding of ordinary differential equations using computer algebraic system (cas). TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology. Vol. 10, No. 3, 1-6. <https://eric.ed.gov/?id=EJ944949>

References

- [1] Zhautykov O.A. *Zhaj differencialdyқ теңдеuler. I bөlim [Ordinary differential equations. Part I]* Almaty, 1950. – 52b. (in Kazakh)
- [2] Stepanov V.V. *Kurs differencial'nyh uravnenij [Course of differential equations]* – M.: Lennand, 2022. – 512 s. <http://urss.ru> (In Russian)
- [3] Fedorjuk M.V. *Obyknovnyye differencial'nye uravnenija [Ordinary differential equations]* – M.: Lenand, 2023. - 448s. <http://urss.ru> (In Russian)
- [4] Boyce W.E., DiPrima R.C. *Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems. 10<sup>th</sup> Edition.* USA 2012 Wiley. – 833 p. <https://www.imsc.res.in/~pralay/diprima.pdf>
- [5] Petrovkij I.G. *Lekcii po teorii obyknovennyh differencial'nyh uravnenij [Lectures on the theory of ordinary differential equations]* – M.: Nauka, 1964. 272 s. <https://csc-knu.github.io/de/book/petrovsky-2009.pdf> (In Russian)
- [6] Kөlekeev K. D., Nazarova K. Zh. *Differencialdyқ теңдеuler: Оқулық [Differential Equations: Textbook]* - Almaty: ZhShS RPBK “Dәuir”, 2012. - 216 b. <https://rmebrk.kz/bilim/kolekeev-differencialdyk.pdf> (in Kazakh)
- [7] Bajarystanov A.O., Koshanov B.D. *Differencialdyқ теңдеuler zhәne қатарlar teorijasy men esepteri: оқулық [Differential equations and series theory and problems: textbook]* – Almaty, Al'manah, 2022. – 210 b. <https://almanah-library.kz/> (in Kazakh)
- [8] Wei D., Nurakhmetov D., Aniyarov A., Zhang D., Spitas C. (2022) *Lumped-parameter model for dynamic monolayer graphene sheets.* Vol. 534, No. 117062, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2022.117062>
- [9] Filippov A.F. *Sbornik zadach po differencial'nym uravnenijam. Izd. 9-e. [Collection of problems on differential equations]* - M.: Lenand, 2022. – 240 s. <http://urss.ru> (In Russian)
- [10] Hunt, B.R.; Lardy, L.J.; Lipsman, R.L.; Osborn, J.E.; Rosenberg, J.M. *Differential Equations with Maple, 3rd ed.*; John Wiley & Sons, 235 Inc., 2009; p.264 <https://jp.maplesoft.com/books/details.aspx?id=288>
- [11] Lozada E.; Guerrero-Ortiz C.; Coronel A.; Medina R. (2021) *Classroom Methodologies for Teaching and Learning Ordinary Differential Equations: A Systemic Literature Review and Bibliometric Analysis.* Mathematics. Vol. 9, No. 7, 745, 1-40 <https://doi.org/10.3390/math9070745>
- [12] Habre S. (2019) *Inquiry-oriented differential equations: A guided journey of learning* // Teach. Math. Its Appl. Vol. 39, No.3, 201–212 <http://dx.doi.org/10.1093/teamat/hrz015>
- [13] Maat S.M., Zakaria E. (2011) *Exploring students' understanding of ordinary differential equations using computer algebraic system (cas).* TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology. Vol. 10, No. 3, 1-6. <https://eric.ed.gov/?id=EJ944949>

Д.М. Нурбаева<sup>1\*</sup>, Ж.М. Нурмухамедова<sup>1</sup>, Б.М. Косанов<sup>1</sup>, Л.У. Жадраева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г.Алматы, Казахстан

\*e-mail: nur\_dilara@mail.ru

## О РАЗВИТИИ ЛОГИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ МАТЕМАТИКИ В ПРОЦЕССЕ РЕШЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

### Аннотация

Обучение геометрии сталкивается с такими проблемами, как недостаток квалифицированных учителей, отсутствие современных методик и материалов для обучения геометрии. Для решения этих проблем необходимо улучшить подготовку учителей математики еще в стенах педвуза. В данной статье обсуждены основные навыки решения геометрических задач, которые играют важную роль не только в обучении математике, но и в общем развитии. Мы хотим привлечь внимание к тому, как правильное оформление решений и доказательств задач по геометрии может помочь учащимся развить аналитическое, логическое и критическое мышление. Здесь требуется точность, последовательность и ясность в выражении мыслей. В ходе исследования были привлечены студенты – будущие учителя математики, к решениям геометрических задач которых были предъявлены строгие требования по оформлению. В итоге студенты научились корректно оформлять решения и доказательства геометрических задач, что послужило хорошим подспорьем для развития их умений в будущей профессиональной деятельности, навыков анализа, логического и критического мышления, а также развитию коммуникативных умений и способностей командной работы.

**Ключевые слова:** развитие логического мышления, обучение решению геометрических задач, доказательство геометрических задач.

Д.М. Нурбаева<sup>1</sup>, Ж.М. Нурмухамедова<sup>1</sup>, Б.М. Косанов<sup>1</sup>, Л.У. Жадраева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

## ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ЕСЕПТЕРДІ ШЕШУ ПРОЦЕСІНДЕ БОЛАШАҚ МАТЕМАТИКА МҰҒАЛІМДЕРІНІҢ ЛОГИКАЛЫҚ ОЙЛАУЫН ДАМУЫ

### Аңдатпа

Геометрияны оқытуда кәсіби мұғалімдердің жетіспеушілігі, геометрияны оқытудың заманауи әдістері мен материалдарының болмауы сынды мәселелер кездеседі. Осы мәселелерді шешу үшін математика мұғалімдерінің дайындығын педагогикалық ЖОО-дарының қабырғасында жетілдіру қажет. Бұл мақалада математиканы оқытуда ғана емес, жалпы дамуда да маңызды рөл атқаратын геометриялық есептерді шешудің негізгі дағдылары талқыланады. Біз геометрия есептерінің шешімдері мен дәлелдерін дұрыс жобалау студенттерге аналитикалық, логикалық және сыни ойлауды дамытуға қалай көмектесетініне назар аударғымыз келеді. Мұнда ойды жеткізуге дәлдік, дәйектілік және айқындылық қажет. Зерттеу барысында болашақ математика мұғалімдері-студенттер қатыстырылды, олардың геометриялық есептерін шешуді рәсімдеу бойынша қатаң талаптар қойылды. Нәтижесінде студенттер геометриялық есептердің шешімдері мен дәлелдерін дұрыс рәсімдеуді үйренді, бұл олардың болашақ кәсіби қызметі мен талдау дағдыларын, логикалық және сыни ойлауды дамытуға, сондай-ақ коммуникативті дағдылары мен топпен жұмыс жасау қабілеттерін дамытуға жақсы көмек болды.

**Түйін сөздер:** логикалық ойлауды дамыту, геометриялық есептер шешуді оқыту, геометриялық есептерді дәлелдеу.

D.M. Nurbayeva<sup>1</sup>, J.M. Nurmukhamedova<sup>1</sup>, B.M. Kosanov<sup>1</sup>, L.U. Zhadraeva<sup>1</sup>  
Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

## ON THE DEVELOPMENT OF LOGICAL THINKING OF FUTURE MATHEMATICS TEACHERS IN SOLVING GEOMETRIC TASKS

### *Abstract*

Teaching geometry faces such problems as a lack of qualified teachers, the lack of modern methods and materials for teaching geometry. To solve these problems, it is necessary to improve the training of mathematics teachers even within the walls of the pedagogical university. This article discusses the basic skills of solving geometric tasks, which play an important role not only in teaching mathematics, but also in general development. We want to draw attention to how the correct design of solutions and proofs of geometry tasks can help students develop analytical, logical and critical thinking. It requires precision, consistency and clarity in the expression of thoughts. In the course of the study, students were involved – future teachers of mathematics, to the solutions of geometric tasks of which strict design requirements were imposed. As a result, students learned how to correctly formalize solutions and proofs of geometric tasks, which served as a good help for the development of their skills in future professional activities, skills of analysis, logical and critical thinking, as well as the development of communication skills and teamwork abilities.

**Keywords:** development of logical thinking, learning to solve geometric problems, proof of geometric problems.

### **Основные положения**

Актуальность темы статьи обоснована современным состоянием обучения геометрии в общеобразовательных школах Казахстана, а именно недостаточной методической подготовки учителей. Целью и задачами исследования являются разработать рекомендации по обучению решения и доказательства геометрических задач. Методика, предлагаемая в статье, основана на необходимости правильного оформления решений и доказательств задач по геометрии. Основными выводами являются необходимость улучшения квалификации преподавателей, разработки современных методических пособий и увеличения практических занятий для эффективного освоения материала студентами. Также подчеркнута важность акцента на оформлении решений и доказательств геометрических задач, что способствует развитию логического и критического мышления обучающихся.

### **Введение**

Современное состояние обучения курсу геометрии в общеобразовательных школах Казахстана имеет свои особенности. Сейчас введена новая программа для начальной, средней и старшей школы, где геометрия занимает важное место. Она включает в себя как основные геометрические понятия и теоремы, так и пространственное мышление, решение геометрических задач и работу с геометрическими фигурами. Однако есть некоторые проблемы в обучении геометрии, с которыми сталкиваются учителя математики.

Во-первых, недостаточное количество квалифицированных учителей, способных эффективно преподавать геометрию. Это связано с тем, что подготовка учителей математики в стране имеет свои проблемы.

Во-вторых, отсутствие современных методик и пособий для преподавания геометрии. Важно поддерживать учителей в актуальности методов преподавания и использования новых технологий в обучении геометрии, чтобы ученики были заинтересованы и могли лучше усваивать материал [1-4].

Для решения этих проблем необходимо улучшить подготовку учителей математики. Учителям нужно предоставлять возможность профессионального развития, посещения семинаров и тренингов, где они смогут узнавать о новейших методах обучения геометрии и обмениваться опытом с коллегами. Также важно разрабатывать и распространять современные методические пособия и материалы для обучения геометрии.



В целом, современное обучение геометрии в общеобразовательных школах Казахстана требует внимания и улучшения. Стране необходимы хорошо подготовленные учителя, современные методики преподавания и достаточное количество практических занятий, чтобы обучаемые могли лучше освоить этот предмет [5-7].

Развитие логического мышления у учащихся является одной из ключевых задач современного образования, особенно в контексте математического обучения. Важным инструментом для достижения этой цели является решение геометрических задач, которое способствует не только приобретению знаний в области геометрии, но и формированию умения логически и последовательно излагать свои мысли, строить доказательства и делать обоснованные выводы. Однако на практике учащиеся часто сталкиваются с трудностями при оформлении решений геометрических задач, что приводит к снижению качества их логической аргументации.

Целью данного исследования является разработка и апробация методики, направленной на развитие логического мышления обучающихся через правильное оформление решений геометрических задач. В рамках исследования мы предлагаем структуру решений задач, которая включает логически выстроенные этапы доказательства и последовательное изложение ключевых утверждений. Особое внимание уделяется формированию навыков четкости и логичности изложения, что способствует их лучшему пониманию и освоению материала.

Оформление решений и доказательств геометрических задач помогает студентам улучшить свои навыки анализа, логического мышления и критического мышления. Это требует точности, последовательности и ясности в выражении мыслей.

Отсутствие универсальных методов для эффективного формирования у учащихся навыков грамотного оформления решений задач затрудняет процесс развития их логического мышления и ведет к снижению качества усвоения математических понятий. Несмотря на наличие различных подходов в обучении математике, недостаточное внимание уделяется именно оформлению решений и правильному построению доказательств.

Результаты педагогической практики, проведенной с использованием предложенной методики, показали, что учащиеся продемонстрировали значительный прогресс в развитии логического мышления, а также улучшение качества решения геометрических задач. Учащиеся уверенно применяли наученную структуру и последовательность при оформлении решений, что позволило им успешно справляться с задачами и показывать высокие результаты в ходе педагогической практики.

### **Методология исследования**

В рамках данного исследования нами был выбран комплекс методов, направленных на развитие логического мышления студентов через решение геометрических задач с правильным оформлением решений. Основным методом исследования является педагогический эксперимент, который позволяет объективно оценить эффективность предложенной методики в реальных условиях учебного процесса.

Исследования проводились среди студентов Казахского национального педагогического университета имени Абая, обучающихся по образовательной программе «БВ01501 – Математика». Эксперимент был реализован в ходе занятий по дисциплине «Элементарная математика (геометрия)», где студенты познакомились с основами геометрии и работали над решением задач. На этом этапе исследования анализировались исходные проблемы студентов при оформлении решений геометрических задач и разрабатывалась методика для их преодоления. Основной этап исследования проходил во время дисциплины «Практикум по решению математических задач - 2» у тех же студентов на 3-ем курсе, где они уже применяли разработанную методику и решали задачи, оформляя их в соответствии с логической структурой и последовательностью доказательств. На этом этапе проводилось наблюдение за результатами работы студентов и анализ ошибок, а также оценка их прогресса.

Дополнительным методом исследования является анализ результатов педагогической практики студентов. Этот этап позволил оценить, насколько успешно студенты применяют полученные навыки при обучении математики в школе, а также насколько развилось их логическое мышление и способность к построению логически последовательных решений геометрических задач.

Таким образом, исследование было организовано в несколько этапов, включая анализ проблем, разработку методики, её апробацию, экспериментальную проверку, а также обобщение полученных результатов, что позволило достичь целей исследования и предложить практические рекомендации для образовательного процесса

Студентам – будущим учителям математики 1 года обучения была предложена задача 7 класса, для которой они должны были оформить решение.

Задача 1.

$$\triangle ABD = \triangle CDB,$$

$$\angle FAB = 160^\circ.$$

Найдите  $\angle BCD$ . [8]

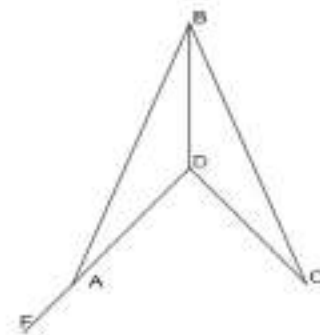


Рисунок 1. Рисунок к задаче 1

Вашему вниманию представлены 2 работы (Рис. 2, Рис. 3), которые мы посчитали более близкими к грамотному оформлению решения. Остальные работы были написаны без каких-либо объяснений и доводов.



Рисунок 2. Записи из тетради студента

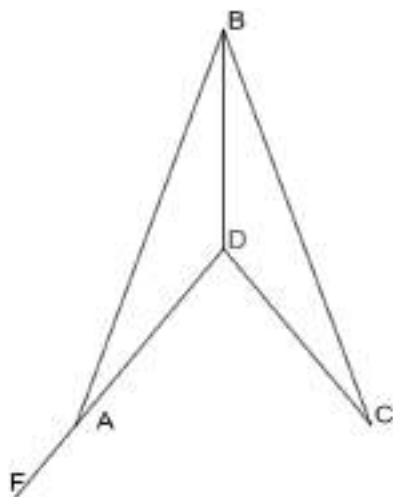


Рисунок 3. Записи из тетради студента

Как видно, даже в отобранных работах решения оставляют желать лучшего. Для решения данной проблемы, на каждом практическом занятии для студентов 1-го года обучения по элементарной математике (геометрии) была поставлена цель не только решить задачу, но и оформить ее правильно. Процесс решения должен быть следующим: внимательно прочитать условие задачи, выполнить правильный чертеж.

В ходе решения или доказательства геометрической задачи необходимо правильно сделать чертеж к задаче, извлечь данные из условия задачи и записать «Дано», далее записать что требуется найти или доказать. Переходя к решению задачи, во-первых, проанализировать ее условие, и по ее данным сделать выбор подходящего метода (необходимые теоремы, аксиомы и свойства). Применяв в решении выбранный метод, произвести необходимые вычисления (если требуется) и записать ответ.

Итак, как же должно выглядеть решение вышеуказанной задачи? Конечно, в первую очередь должен быть правильно выполнен рисунок, но так как в этой задаче рисунок предлагается, можно его просто перерисовать себе в тетрадь (Рис.4).



Дано:

$$\triangle ABD = \triangle CDB$$

$$\angle FAB = 160^\circ$$

Найдите  $\angle BCD$ .

Решение:

$$1. \angle FAB \text{ и } \angle BAD - \text{смежные углы} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \angle FAB + \angle BAD = 180^\circ.$$

$$\text{Тогда: } \angle BAD = 180^\circ - \angle FAB = 180^\circ - 160^\circ = 20^\circ$$

$$2. \begin{array}{l} \triangle ABD = \triangle CDB \\ \angle BAD = 20^\circ \end{array} \Bigg| \Rightarrow \angle BAD = \angle BCD = 20^\circ$$

Ответ:  $20^\circ$

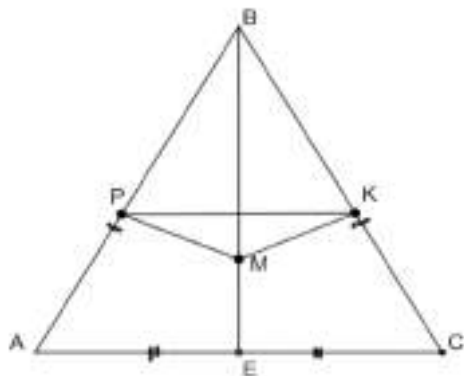
Рисунок 4. Чертеж к задаче 1

Следующим примером рассмотрим задачу на доказательство.

**Задача 2.** В треугольнике  $ABC$   $AB=BC$ . На медиане  $BE$  отмечена точка  $M$ , а на сторонах  $AB$  и  $BC$  – точки  $P$  и  $K$  соответственно (Точки  $P$ ,  $M$  и  $K$  не лежат на одной прямой). Известно, что  $\angle BMP = \angle BMK$ .

Докажите, что: 1)  $\angle BPM = \angle BKM$ ; 2) прямые  $PK$  и  $BM$  взаимно перпендикулярны [8].

Итак, первым действием изобразим рисунок (рис.5) и запишем Дано, далее то, что требуется доказать и только потом запишем сами доказательства обоих пунктов. В конце каждого доказательства поставим «жирную точку», которая обозначает, что утверждение доказано.



Дано:

$$\triangle ABC, AB = BC$$

$BE$  – медиана

$$M \in BE, P \in AB, K \in BC$$

( $M$ ,  $P$ ,  $K$  не лежат на одной прямой)

$$\angle BMP = \angle BMK$$

Доказать:

$$1) \angle BPM = \angle BKM;$$

$$2) PK \perp BM.$$

Рисунок 5. Чертеж к задаче 2

1) Доказательство:

$$1. \left. \begin{array}{l} \Delta ABC \\ AB = BC \end{array} \right| \Rightarrow \Delta ABC - \text{равнобедренный} \Rightarrow \angle A = \angle C$$

$$2. \left. \begin{array}{l} \Delta ABE \text{ и } \Delta EBC : \\ AB = BC \\ AE = EC \\ \angle A = \angle C \end{array} \right| \Rightarrow \Delta ABE =$$

$\Delta EBC$  (по первому признаку равенства треугольников)

$$3. \Delta ABE = \Delta EBC \Rightarrow \angle ABE = \angle ECB (\angle PBM = \angle KBM)$$

$$4. \left. \begin{array}{l} \Delta BPM \text{ и } \Delta BKM \\ \angle BMP = \angle BKM \text{ (по условию)} \\ \angle PBM = \angle KBM \\ BM - \text{общая} \end{array} \right| \Rightarrow \Delta BPM = \Delta BKM \Rightarrow \angle BPM = \angle BKM$$

2) Доказательство:

$$1. \Delta BPM = \Delta BKM \text{ (из первого доказательства)} \Rightarrow BP = BK$$

$$2. \left. \begin{array}{l} BP = BK \\ BA = BC \end{array} \right| \Rightarrow PK \parallel AC$$

$$3. \left. \begin{array}{l} \Delta ABC - \text{равнобедренный} \\ BE - \text{медиана} \end{array} \right| \Rightarrow BE - \text{высота} \Rightarrow BE \perp AC$$

$$4. \left. \begin{array}{l} PK \parallel AC \\ BE \perp AC \end{array} \right| \Rightarrow BE \perp PK \Rightarrow PK \perp BM$$

Первые недели занятий студенты затруднялись записывать решения и доказательства таким образом, но постепенно они привыкли и признали эффективность данного оформления. Они начали лучше понимать логику последовательности решения, особенно в доказательствах.

### Результаты исследования

В ходе проведенного исследования, направленного на развитие логического мышления у студентов Казахского национального педагогического университета имени Абая, обучающихся по образовательной программе «6В01501 – Математика», были получены следующие результаты.

1. *Повышение уровня логического мышления у студентов.* Студенты, применившие методику, направленную на правильное оформление решений геометрических задач, продемонстрировали заметное улучшение в уровне логического мышления. Это выразилось в способности четко и последовательно излагать аргументы, обосновывать свои решения и использовать логическую структуру при доказательствах. В ходе педагогической практики учащиеся более уверенно подходили к задачам, улучшили навыки анализа и синтеза математических утверждений.

2. *Эффективность предложенной методики.* Применение предложенной методики по решению геометрических задач, с акцентом на правильное оформление решений, оказало положительное влияние на качество выполнения задач. Студенты не только улучшили свои знания в области геометрии, но и научились более грамотно оформлять математические

доказательства, что способствует развитию их общего логического и аналитического мышления.

3. *Положительные результаты педагогической практики.* Во время педагогической практики студенты продемонстрировали хорошие результаты в преподавании и объяснении математических понятий. Они уверенно использовали выработанные навыки оформления решений задач, что повысило качество их педагогической работы и позволило эффективно передавать знания школьникам.

Таким образом, результаты исследования показали, что правильное оформление решений геометрических задач и логическая последовательность доказательств существенно способствуют развитию логического мышления у студентов, а также положительно влияют на их будущую педагогическую деятельность.

В ходе эксперимента было зафиксировано улучшение уровня логического мышления у студентов, а также положительные изменения в их способности к последовательному и логичному оформлению решений. Сравнительный анализ результатов до и после применения методики показал значительный прогресс в умениях студентов не только решать геометрические задачи, но и грамотно их оформлять. Это подтверждает гипотезу о том, что методика, направленная на развитие логического мышления через правильное оформление решений задач, способствует улучшению математических и педагогических навыков студентов – будущих учителей математики. Кроме того, данные исследования были подтверждены результатами педагогической практики, где студенты применяли полученные знания на практике, что свидетельствует о высоком уровне обоснованности выводов.

Научная значимость результатов исследования заключается в том, что оно открывает новые подходы в обучении студентов, готовящихся стать учителями математики. Развитие логического мышления через правильное оформление решений геометрических задач имеет важное значение как для теоретического, так и для практического обучения математике.

1. *Методика, предложенная в исследовании,* может быть использована в образовательных учреждениях, готовящих педагогов математики, для формирования у студентов навыков логической аргументации и доказательства, что является важной частью профессиональной подготовки будущих учителей.

2. *Практическое применение.* Результаты исследования могут быть использованы для разработки учебных материалов и методических рекомендаций по обучению студентов педагогических вузов, улучшая качество подготовки будущих учителей. Это также способствует улучшению качества преподавания математики в школах, где учителя будут более эффективно обучать школьников решению задач с логическим оформлением.

3. *Теоретическая ценность* исследования заключается в уточнении роли логического мышления в процессе обучения математике и в выделении важности правильного оформления решений задач как ключевого элемента в образовательном процессе. Это также способствует расширению теории педагогической математики, где решению задач и формированию логического мышления уделяется должное внимание.

Таким образом, результаты исследования вносят вклад в развитие теории и практики математического образования и могут быть использованы для совершенствования методик преподавания математики в педагогических вузах.

## Дискуссия

В рассмотренных нами методических работах и исследованиях было найдено очень мало материала по оформлению решений и доказательств геометрических задач. В основном акцент делается на отдельные свойства или теоремы геометрии, именно данная тема практически не затрагивается. Поэтому важно создавать и совершенствовать методики обучения, которые акцентируют внимание на этом аспекте и предоставляют обучающимся возможность не только находить решения задач, но уметь правильно оформлять и обосновывать свои выводы [9-11].

В настоящее время значительное количество работ и исследований по методике обучения геометрии посвящено использованию цифровых инструментов обучения, рассматривая возможности современных технологий для визуализации геометрического материала. Среди них работы таких ученых, как Н.Я. Виленкин и Л.Г. Петерсон, которые акцентировали внимание на важности интеграции информационных технологий в обучение математике. Эти исследования подтверждают, что цифровизация помогает наглядно представить геометрические объекты, упрощая восприятие материала учащимися и расширяя их возможности для решения задач.

Однако особое место в развитии навыков решения геометрических задач по-прежнему занимает умение правильно оформлять решение. Важность правильного оформления решения задач подтверждают работы таких методистов, как Н.И. Киселева и В.М. Дьяков, которые акцентируют внимание на том, что оформление решения задачи имеет не только образовательное, но и когнитивное значение. По их мнению, процесс оформления способствует формированию у учащихся критического и логического мышления, а также навыков точности и последовательности в решении задач.

Обучение правильному оформлению геометрических задач, по мнению М.И. Махмудова и Т.Н. Бенашвили, имеет важное значение для развития не только математических, но и общих познавательных навыков. В процессе решения задачи обучаемые сталкиваются с необходимостью не только найти правильный ответ, но и четко представить последовательность логических шагов, которые привели к этому результату. Это помогает развивать аналитическое и рефлексивное мышление, что является одной из ключевых задач современного образования, как подчеркивают в своих работах В.П. Рогов и И.А. Греков.

С одной стороны, правильное оформление задач развивает аналитическое мышление, поскольку требует структурирования задачи и ее решения. Четкая последовательность действий, графическая визуализация (например, исполнение чертежей фигур, обозначение элементов) и словесное обоснование каждого шага благоприятно влияют на развитие способности к систематическому анализу. Это подтверждается идеями Л.А. Рыжова, который подчеркивает, что логическое и четкое оформление решения способствует более глубокому пониманию материала. Оформляя решения геометрических задач, учащиеся не только выражают свои идеи и рассуждения, но и объясняют свои выводы, что помогает лучше понять материал и углубляться в изучение геометрии.

Кроме того, оформление решений требует тщательности и дисциплины, что также способствует развитию у обучающихся навыков самодисциплины и ответственности, как отмечают И.М. Семенова и Н.М. Федорова. Работа по оформлению помогает ученикам формировать навыки точности и внимательности, что играет ключевую роль в образовательном процессе.

С другой стороны, можно утверждать, что регулярная работа над оформлением задач развивает рефлексивное мышление. В процессе проверки и исправления оформления учащиеся анализируют, насколько четко они смогли выразить свои мысли и обосновать решение. Это явление поддерживают исследования, проведенные А.А. Пинкевичем, который подчеркивает важность самооценки и самокоррекции в учебном процессе.

Однако важно отметить, что чрезмерное акцентирование внимания на оформлении решений может привести к тому, что некоторые ученики будут уделять больше внимания форме, чем содержанию. Это может стать барьером для творческого подхода к решению задач, как предостерегает В.А. Котик в своих работах. Учащиеся могут начать бояться допустить ошибку в оформлении, что ограничивает их гибкость и способность к нестандартному решению задач. Поэтому необходимо находить баланс между требованиями к оформлению и стимулированием творческого подхода.

Также следует учитывать, что оформление решений геометрических задач способствует развитию навыков коммуникации. Представление решений позволяет учащимся обсуждать свои идеи и методы решения с другими учениками, работать в команде, что также имеет

важное значение для формирования социальных навыков. В этом контексте работы А.П. Шмидта и С.Н. Шмидт-Россвальд подчеркивают, что коллективная работа и обмен идеями значительно обогащают процесс обучения.

Таким образом, оформление решений геометрических задач играет важную роль в развитии обучаемых. Это не только способствует углублению знаний по геометрии, но и помогает формировать навыки, которые будут полезны в других областях учебной и профессиональной деятельности. Важность этого процесса подчеркивают ведущие ученые-методисты, и в их работах можно найти рекомендации, как эффективно сочетать требования к оформлению и развитие творческого мышления учеников.

### Заклучение

В процессе исследования было показано, что систематическое обучение навыкам правильного оформления решений геометрических задач способствует развитию различных аспектов мышления учащихся. Четкая структура, логичное изложение рассуждений и корректное оформление чертежей позволяют школьникам не только глубже понимать содержание задач, но и развивать важные когнитивные навыки, такие как аналитическое, критическое и рефлексивное мышление.

Правильное оформление решений помогает ученикам упорядочивать свои мысли, что облегчает осознание логики задачи и позволяет избежать ошибок. Это формирует у школьников культуру математического мышления, что будет полезно как в дальнейшей учебе, так и в решении жизненных проблем, требующих строгого анализа и обоснования. В то же время, стоит учитывать важность гибкого подхода, чтобы оформление не стало барьером для творческих решений.

Таким образом, правильное оформление решений и доказательств геометрических задач играет ключевую роль в развитии учеников, способствуя успешному усвоению материала, развитию математических способностей и формированию важных личностных качеств, необходимых для достижения успеха не только в учебе, но и в жизни.

### Список использованных источников

[1] Торебек Е.Ж. Сравнительный анализ методик обучения геометрии в средней школе / сборник трудов IX Международной научной конференции «Математика. Образование. Культура», 2019. С. 339-341 [https://www.mathedu.ru/text/matematika\\_obrazovanie\\_kultura\\_9\\_2019/p337/](https://www.mathedu.ru/text/matematika_obrazovanie_kultura_9_2019/p337/)

[2] Фирстова Н.И. Методика обучения методу объемов в школьном курсе геометрии / материалы докладов семинара «Интеграция основного и дополнительного физико-математического образования» – научно-методический сборник. Издательство: ООО "МАКС Пресс" (Москва), выпуск 15. – 2019 г. – С. 30-40 [https://www.mathedu.ru/text/arhimed\\_2019\\_v15/p30/](https://www.mathedu.ru/text/arhimed_2019_v15/p30/)

[3] Далингер В.А. Цифровые образовательные ресурсы на службе у методики обучения геометрии в школе. – Журнал «Информация и образование: границы коммуникаций», № 12 (20). – 2020 г. – С. 47-50 <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-obrazovatelnye-resursy-na-sluzhbe-u-metodiki-obucheniya-geometrii-v-shkole>

[4] Туяков Е.А. Жогары мектеп окушыларының кеңістіктік ойлауын дамыту мәселелері / «Science and education in the modern world: challenges of the xxi century» атты XII Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция жинағы. Педагогикалық ғылымдар. – Т.16. – Астана, 2023. - Б.56-59 [https://api.scienceweb.uz/storage/publication\\_files/1356/8212/64200831314cc](https://api.scienceweb.uz/storage/publication_files/1356/8212/64200831314cc)

[5] A.Abylkassymova, A.Bazhi, M.Dyussov, E.A. Tuyakov, A.K.Ardabayeva, L.Zhadrayeva, Kh.Kenzhebek. Mathematical Problems as a Means of Developing Students' Research Skills in the Context of School Education Content Updating// Journal of Law and sustainable Development. - Vol. 11. - No. 4 (2023). - Pages: 01-20 DOI 10.55908/sdgs.v11i4.607

[6] Abylkassymova A., Kappasova S.E., Tuyakov T.A., Zhadrayeva L.U. Methodological aspects of functional literacy formation of school Children in mathematics// Вестник КазНПУ им.Абая. Серия «Физико-математические науки». - № 1 (81). – Алматы, 2023. – С.66-73. <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2023.81.1.007>



[7] Каскатаева Б., Туяков Е.А., Ардабаева А.К. Составление геометрических задач как средство формирования математической компетентности учащихся / Материалы VII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы обучения математике в школе и вузе: от науки к практике» (к 80-летию со дня рождения В.А. Гусева). – Москва: МПГУ, 2022. – 9с. DOI: 10.31862/9785426314337

[8] Зив Б.Г. Задачи к урокам геометрии. 7-11 классы. – СПб.: «Петроглиф», «Виктория-плюс», 2014. – 608 с. – ISBN 978-5-98712-011-8, ISBN 978-5-91673-003-6

[9] Задкова О.А. Обучение геометрии студентов первого курса педвуза в контексте деятельностного подхода. – Диссер. на соискание ученой степени к.п.н. – 2005 г. <https://nauka-pedagogika.com/pedagogika-13-00-02/dissertaciya-obuchenie-geometrii-studentov-pervogo-kursa-pedvuza-v-kontekste-deyatelnostnogo-podhoda> (дата обращения 14.03.2024)

[10] Афанасова А.А., Шарапова Н.Н., Родионов М.А. Методика обучения школьников математическим доказательствам при изучении темы "параллельные прямые" на уроках геометрии в средней школе / Материалы XV Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Педагогического института им. В. Г. Беллинского. В сборнике: Современное образование: научные подходы, опыт, проблемы, перспективы. – 2019 г. – С. 104-107 <http://elib.pnzgu.ru/library/10405100>

[11] Oflaz G., Bulut N., Akcakin V. Pre-service classroom teachers' proof schemes in geometry: A case study of three pre-service teachers // Egitim Arastirmalari - Eurasian Journal of Educational Research: Ani Publishing. ISSN 1302597X. Volume 63, Number 4. – 2016. – P. 133-152 DOI 10.14689/ejer.2016.63.8

#### References

[1] Torebek E.Zh. (2019) Sravnitel'nyj analiz metodik obuchenija geometrii v srednej [Comparative analysis of geometry teaching methods in secondary school] shkole / sbornik trudov IH Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Matematika. Obrazovanie. Kul'tura». 339-341 (in Russian) [https://www.mathedu.ru/text/matematika\\_obrazovanie\\_kultura\\_9\\_2019/p337/](https://www.mathedu.ru/text/matematika_obrazovanie_kultura_9_2019/p337/)

[2] Firstova N.I. (2019) Metodika obuchenija metodu ob#jomov v shkol'nom kurse geometrii [The methodology of teaching the volume method in the school geometry course] // materialy dokladov seminarina «Integracija osnovnogo i dopolnitel'nogo fiziko-matematicheskogo obrazovaniya» – nauchno-metodicheskij sbornik. Izdatel'stvo: OOO "MAKS Press" (Moskva), vypusk 15. 30-40 (in Russian) [https://www.mathedu.ru/text/arhimed\\_2019\\_v15/p30/](https://www.mathedu.ru/text/arhimed_2019_v15/p30/)

[3] Dalinger V.A. (2020) Cifrovye obrazovatel'nye resursy na sluzhbe u metodiki obuchenija geometrii v shkole [ Digital educational resources at the service of geometry teaching methods at school]. – Zhurnal «Informacija i obrazovanie: granicy kommunikacij», № 12 (20). – 47-50 (in Russian) <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-obrazovatelnye-resursy-na-sluzhbe-u-metodiki-obuchenija-geometrii-v-shkole>

[4] Tuyakov E.A. (2023) Zhogary mektep okushylarynyng kenistiktik ojlawyn damyту maseleleri [Problems of the development of spatial thinking of high school students]/ «Science And Education In The Modern World: Challenges Of The Xxi Century» atty XII Halyqaralyk gylymi-tazhiribelik konferenciya zhinagy. Pedagogikalyk gylymdar. – T.16. 56-59 (in Kazakh)

[5] A.Abylkassymova, A.Bazhi, M.Dyussov, E.A. Tuyakov, A.K.Ardabayeva, L.Zhadrayeva, Kh.Kenzhebe (2023) Mathematical Problems as a Means of Developing Students' Research Skills in the Context of School Education Content Updating// Journal of Law and sustainable Development. - Vol. 11. - No. 4. Pages: 01-20.

[6] Abylkassymova A., Kappasova S.E., Tuyakov T.A., Zhadrayeva L.U. (2023) Methodological aspects of functional literacy formation of school Children in mathematics// Vestnik KazNPU im.Abaya. Seriya «Fiziko-matematicheskie nauki». - № 1 (81). 66-73. <https://bulletin-phmath.kaznpu.kz/index.php/ped/article/view/1574> <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2023.81.1.007>

[7] Kaskataeva B., Tuyakov E.A., Ardabaeva A.K. (2022) Sostavlenie geometricheskikh zadach kak sredstvo formirovaniya matematicheskoy kompetentnosti uchashhihsja [Drawing up geometric problems as a means of forming students' mathematical competence]/ Materialy VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Aktual'nye problemy obuchenija matematike v shkole i vuze: ot nauki k praktike» (k 80-letiju so dnja rozhdenija V.A. Guseva). – Moskva: MPGU – 9. (in Russian) <http://news.scienceland.ru/%d0%bd%d0%be%d1%8f%d0%b1%d1%80%d1%8c-2022/>



[8] Ziv B.G. (2014) *Zadachi k urokam geometrii. 7-11 klassy.* [Tasks for geometry lessons. Grades 7-11] – SPb.: «Petroglif», «Viktoriya-plyus». – 608 – ISBN 978-5-98712-011-8, ISBN 978-5-91673-003-6. (in Russian)

[9] Zadkova O.A. (2005) *Obuchenie geometrii studentov pervogo kursa pedvuza v kontekste deyatel'nostnogo podkhoda.* – Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata pedagogicheskikh nauk. [Teaching geometry to first-year students of a pedagogical university in the context of an activity-based approach.] г. <https://nauka-pedagogika.com/pedagogika-13-00-02/dissertatsiya-obuchenie-geometrii-studentov-pervogo-kursa-pedvuza-v-kontekste-deyatelnostnogo-podhoda> (data obrashheniya 14.03.2024).

[10] Afanasova A.A., Sharapova N.N., Rodionov M.A. (2019) *Metodika obucheniya shkol'nikov matematicheskim dokazatel'stvam pri izuchenii temy "parallel'nye prjamyje" na urokah geometrii v srednej shkole* [Methods of teaching students mathematical proofs when studying the topic "parallel lines" in geometry lessons in high school] / *Materialy XV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvjashhennoj 80-letiju Pedagogicheskogo instituta im. V. G. Belinskogo. V sbornike: Sovremennoe obrazovanie: nauchnye podhody, opyt, problemy, perspektivy.* – 104-107. (in Russian) <http://elib.pnzgu.ru/library/10405100>

[11] Oflaz G., Bulut N., Akcakin V. *Pre-service classroom teachers' proof sche mes in geometry: A case study of three pre-service teachers* // *Egitim Arastirmalari - Eurasian Journal of Educational Research: Ani Publishing. ISSN 1302597X. Volume 63, Number 4.* – 2016. – P. 133-152 DOI 10.14689/ejer.2016.63.8

М.С. Слямова<sup>1\*</sup> , А.Б. Кокажаева<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Қазақ Ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

\*e-mail: [meruertslyamova80@gmail.com](mailto:meruertslyamova80@gmail.com)

## ҚАЗАҚСТАН МЕКТЕПТЕРІНДЕ ЫҚТИМАЛДЫҚТАР ТЕОРИЯСЫ МЕН МАТЕМАТИКАЛЫҚ СТАТИСТИКА ЭЛЕМЕНТТЕРІНІҢ ОҚЫТЫЛУЫ

### Аңдатпа

Мақалада Қазақстандағы мектеп математика бағдарламасына кіріктірілген ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистиканың элементтерін оқытуда туындайтын әртүрлі жағдайлар мен қиындықтар туралы баяндалған. Сол себепті, мектеп оқушыларын ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистиканың элементтерін оқытуға негізделінген қажетті әдістемелік құралдардың жеткіліксіздігі мен тақырыпты оқытуға бөлінетін сағаттың аздығы өзекті мәселелердің бірі ретінде қарастырылып, мақсаты және оны шешу жолдарын анықталған. Мақаланың мақсаты – Қазақстан мектептеріндегі білім алушылардың ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистика элементтерін жеткілікті деңгейде меңгере алмауларының себеп-салдарларын анықтау болып табылды. Алматы қаласы және Алматы облысының бірнеше мектептерінде математика пәнінің мұғалімдерінен сауалнама алынып, оқушылардың тоқсандық жұмыстарының нәтижелеріне талдау жасалынды. Сауалнама сұрақтары «Google forms» платформасы арқылы құрастырылып, сілтеме арқылы пән мұғалімдеріне таратылды. Алынған нәтижелерді шетелдік авторлардың жасаған тәжірибелік жұмыстарымен салыстыра отырып, ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистиканы оқытуда дәстүрлі оқытуға қарағанда тұлғаға бағытталған оқыту әдістерінің маңызы зор екендігі айқындалды. Сондай-ақ, мемлекеттік жалпыға міндетті стандарттары бойынша оқыту нәтижелері мен мектеп бағдарламасындағы «Ықтималдық және статистика» бөлімінің мазмұны мен бөлінген сағат сандары Ресей елдерінде оқытылатын сәйкес бағдарламалардың мазмұнымен, сағат сандарымен салыстырылған. Қорытынды бөлімінде ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистиканың элементтерін оқытуда күтілетін нәтижелер материалдың көлеміне немесе оқушының жасына ғана байланысты емес, оны оқытудағы мұғалімнің кәсіби шеберлігіне, қолданылатын әдіс-тәсілдерге, сонымен қатар, бөлінген сағат санына да байланысты екені және аталмыш пәнді сапалы меңгерту үшін оқыту үдерісінде белсенді оқыту әдістері мен заманауи технологияларды қолдану керек деп тұжырымдалған.

**Түйін сөздер:** ықтималдықтар теориясы, математикалық статистика, дәстүрлі оқыту, тұлғаға бағытталған оқыту, кездейсоқ құбылыс, оқыту әдістері, сыни ойлау.

М.С. Слямова<sup>1</sup>, А.Б. Кокажаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан

## ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ В ШКОЛАХ КАЗАХСТАНА

### Аннотация

В статье рассматриваются различные ситуации и трудности, возникающие при изучении элементов теории вероятностей и математической статистики, интегрированных в школьную математическую программу в Казахстане. Поэтому недостаточное количество необходимых методических пособий, основанных на обучении школьников элементам теории вероятностей и математической статистики, и недостаточное количество часов, отводимых на изучение темы, рассматриваются как одна из актуальных проблем, определены цели и пути ее решения. Целью статьи являлось выявление причин, по которым обучающиеся казахстанским метапредметам не смогли достаточно хорошо усвоить элементы теории вероятностей и математической статистики. В нескольких школах г. Алматы и Алматинской области был проведен опрос учителей математики, проведен анализ результатов квартальной работы учащихся. Вопросы анкеты были составлены через платформу "Google forms" и распределены по ссылке учителям-предметникам. Сравнивая полученные

результаты с опытными работами зарубежных авторов, было установлено, что в преподавании теории вероятностей и математической статистики большее значение имеют личностно-ориентированные методы обучения, чем традиционное обучение. Также результаты обучения по государственным общеобразовательным стандартам, содержание раздела «вероятность и статистика» в школьной программе и цифры выделенных часов сравниваются с содержанием соответствующих программ, преподаваемых в российских регионах и их цифрами часов. В заключительной части делается вывод о том, что ожидаемые результаты обучения элементам теории вероятностей и математической статистики зависят не только от объема материала или возраста учащегося, но и от профессионального мастерства учителя в его преподавании, применяемых методов и приемов, а также от количества отведенных часов, а для качественного освоения данной дисциплины необходимо использовать в процессе обучения активные методы обучения и современные технологии.

**Ключевые слова:** теория вероятностей, математическая статистика, традиционное обучение, личностно-ориентированное обучение, случайное явление, методы обучения, критическое мышление

M. Slyamova <sup>1</sup>, A. Kokazhaeva <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan

## STUDYING ELEMENTS OF PROBABILITY THEORY AND MATHEMATICAL STATISTICS IN SCHOOLS OF KAZAKHSTAN

### *Abstract*

The article discusses various situations and difficulties encountered in the study of elements of probability theory and mathematical statistics integrated into the school mathematics curriculum in Kazakhstan. Therefore, the insufficient number of necessary methodological manuals based on teaching students the elements of probability theory and mathematical statistics, and the insufficient number of hours devoted to studying the topic, are considered as one of the urgent problems, the goal and ways to solve it are determined. The purpose of the article was to identify the reasons why students of Kazakhstani meta-subjects could not master the elements of probability theory and mathematical statistics well enough. A survey of mathematics teachers was conducted in several schools in Almaty and Almaty region, and an analysis of the results of the quarterly work of students was carried out. The questionnaire questions were compiled through the Google forms platform and distributed by link to subject teachers. Comparing the results obtained with the experimental works of foreign authors, it was found that personality-oriented teaching methods are more important in teaching probability theory and mathematical statistics than traditional teaching. Also, the results of training according to state mandatory standards and the content of the section "probability and statistics" in the school curriculum and the numbers of allocated hours are compared with the content of the relevant programs taught in Russia regions, the numbers of hours. In the final part, it is concluded that the expected results of teaching elements of probability theory and mathematical statistics depend not only on the volume of material or the age of the student, but also on the professional skills of the teacher in his teaching, the methods and techniques used, as well as on the number of hours allotted, and for the qualitative development of this discipline it is necessary to use in the process active teaching methods and modern technologies.

**Keywords:** probability theory, mathematical statistics, traditional learning, personality-oriented learning, random phenomenon, teaching methods, critical thinking

### **Негізгі ережелер**

Зерттеуіміздің идеясы Қазақстандағы жалпы білім беретін мектеп оқушыларының математика, алгебра және анализ бастамалары курстарында тарау ретінде оқытылатын ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистика элементтерін жеткілікті деңгейде меңгере алмауларының себеп-салдарларын анықтау. Осы идея негізінде Алматы қаласы мен облысының бірнеше ЖББ мектеп мұғалімдерінен алдын-ала құрастырылған сауалнама жүргізілді. Сауалнама нәтижелері мектеп оқушыларының аталмыш тарауды меңгере алмауларының басты себептерінің бірі ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистика тарауына бөлінген сағат санының жеткіліксіз екендігін дәлелдеді. Қазақстанда бөлінген сағат саны мен Ресей еліндегі бөлінген сағат санын салыстыра отырып, бұл тараудың мектеп бағдарламасында жеке пән ретінде оқытылғаны дұрыс деген қорытындыға келдік.

## Кіріспе

Күнделікті тұрмыс-тіршіліктегі кездейсоқ құбылыстардағы заңдылықтарды зерттеуде ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистиканың алатын орны ерекше. Себебі, бұл ғылым мектеп оқушыларының сыни ойлау, статистикалық деректерді талдау және шешім қабылдау дағдыларын дамытады. Әртүрлі салаларда ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистиканы қолданудың ауқымдылығы күн санап артуда. Соған байланысты бүгінгі күнде ықтималдық-статистикалық білімдерді жалпы, орта және жоғары білім беру бағдарламаларына толыққанды енгізу қажеттілігі туындады.

Мақаланың негізгі мақсаты – мектеп оқушыларының ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистика элементтерін жеткілікті деңгейде меңгере алмауларының себеп-салдарларын анықтау арқылы болашақ математика мұғалімдерін даярлаудағы олқылықтардың алдын-алудың тиімділігін ашып көрсету және теориялық тұрғыдан негіздеу. Көп жылдар бойы аталмыш мәселемен айналысқан көрнекті ғалымдар мен әдіскерлердің еңбектеріне сүйене отырып, білім беру стандарты бойынша мектеп бағдарламасының математикалық мазмұнына ықтималдықтар теориясының, математикалық статистиканың және комбинаториканың элементтерін оқытудың дәстүрлі және тұлғаға бағытталған оқыту нәтижелерінің тиімді, тиімсіз жағдайларын қарастыру.

Ойлаудың ерекше түрін қажет ететін ықтималдықтың көп қырлы көрінісі пән мұғалімдері мен оқушылар үшін ерекше пән болып есептеледі. Жалпы мектеп мұғалімдерінің басым көпшілігіне оқушыларға ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистиканың элементтері тарауын түсіндіру қиындық туғызады. Осындай қиындықтардың шешімін қалай табуға болады деген сұрақ туындайды. Туындаған сұрақтың төңірегінде көптеген шетелдік зерттеуші-ғалымдардың еңбектерін қарастырып, кафедраның профессор-оқытушыларының қатысуымен талдаулар жасалынды. Талдау барысында аталмыш сұрақтың келесідей бірнеше себептерін нақтыланды: арнайы (қазақша) оқу материалының болмауы; мұғалімге бағдарланған оқыту; жас мамандардың білімінің жеткіліксіздігі; мұғалімдердің арнайы білімдерінің болмауы, оқушылардың дайындық деңгейінің жоқтығы; оқушылардың жас ерекшеліктері, әртүрлі себептерден туындаған оқушылардың теріс көзқарасы мен қате түсініктері.

Алайда, шетел ғалымдарының зерттеулеріне сүйенсек, ықтималдықтар теориясын оқытудағы кемшіліктердің тағы бір себебін ЖОО оқытушыларының қарапайым дәстүрлі әдіспен сабақ беруімен байланыстырады [1]. Мұндай жағдайда студенттер белсенді бола алмағандықтан кәсіби қызметке келгенде аталмыш пәнді оқыту қиынға соғады. Сол себепті жоғары оқу орындарында ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистиканы оқытуға ерекше назар аударылуы қажет. Ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистиканы сапалы меңгерту үшін оқыту үдерісінде белсенді оқыту әдістері мен заманауи технологияларды қолдануға назар аудару қажет.

Математикалық оқыту бойынша халықаралық комиссия және статистикалық білім берудің халықаралық қауымдастығы демеушілігімен өткен бірлескен зерттеу конференциясына қатысушы әдіскер-педагогтар «Мектепте статистикадан сабақ беретін мұғалімдердің білім деңгейі жеткіліксіз» деген пікірмен келіскен [2]. Оның себебін статистика мектеп математика курсының бір бөлімшесі ретінде ғана қарастырылып, ЖОО-да ықтималдықтар теориясымен бірге оқытылатындығымен байланыстырады. Ал, статистикалық зерттеулер жүргізуге, зерттеу нәтижесінен алынған таңдамаларды талдауға немесе статистикалық бағдарламалық құралды пайдалануға арнайы дайындық қажет [3]. Бұдан статистиканы оқытуға арнайы педагогикалық білімнің қажеттілігін көруге болады. Демек, ЖОО-да статистика пәні өз алдына дербес пән болып оқытылуы тиіс. Күнделікті өмірге және математикалық білімге өте қажет ықтималдықтар теориясының жүйелі түрде оқытылуы мектеп оқушыларының оқу үлгерімінің артуына ықпалын тигізеді.

Ықтималдықтар теориясын оқытуда *аргументациялық* әдісті қолданудың маңызы зор. Яғни, пәнді оқытуда аргументация тәсілін қолдану дәстүрлі әдістерге қарағанда білім алушылардың оқу жетістіктерін жоғарылатады [4]. Математика сабақтарында аргументацияға негізделген оқытуды қолдана отырып, білім алушыларды ізденуге, мәселелерді талқылауға, көзқарасын дәлелдеуде белсенділік көрсетуге, сындарлы шешімдер қабылдауға қол жеткізуге болады [5]. Ықтималдықтар теориясын оқытуда аргументациялық әдісті тиімді пайдалана білу оқушылардың сыни тұрғыдан ойлауын дамытуға ерекше үлес қосады.

Ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистиканы оқыту мен оқуда технологиялық құралдарды пайдалану арқылы сабақты неғұрлым қызықты өткізуге болады, өйткені технологиялық құралдар оқуды жақсарту үшін тиімді сызбаларды ұсынып, оқушылармен кері байланыс жасауға мүмкіндік береді [6,7].

Мектепте ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистиканы оқытудың негізгі *мақсаты* оқушыларды ықтималдық және статистика ұғымдарымен таныстыру арқылы алынған деректерді талдау және интерпретациялау қабілетін дамытуға көмектесу, күнделікті тұрмыс-тіршілікте шешімдер қабылдауға қажетті математикалық біліммен қамтамасыз ету болып табылады. Сол себепті, 2000 жылдың басында елімізде мектеп бағдарламасына ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистика элементтері тарау болып кіріктірілді. Мектепке дейінгі тәрбие мен оқытудың, бастауыш, негізгі орта, жалпы орта, техникалық және кәсіптік, орта білімнен кейінгі білім берудің мемлекеттік жалпыға міндетті стандарттары бойынша оқытудың статистика және ықтималдық теориясының негізгі ұғымдары, комбинаторика ережелері, оқиға ықтималдығының классикалық, статистикалық және геометриялық анықтамалары, статистикалық деректерді жинау және өңдеу әдістері, дискретті және үзіліссіз кездейсоқ шамалар ұғымдары бойынша білу, түсіну, талдау, жинақтау нәтижелері күтіледі [8].

Қазіргі таңда студенттер мен оқытушылар үшін сыни ойлау дағдыларды дамыту өзекті мәселелердің біріне айналып отыр. Ықтималдықтар теориясын меңгерту оқушылардың сыни тұрғыдан ойлауын дамытуға ерекше үлес қосады. Көптеген танымал ғалымдар ықтималдықтар теориясының тапсырмалары оқушылардың сыни тұрғыдан ойлау, ізденімпаздық сияқты дағдыларын қалыптастыратындығын анықтаған [9,10].

Мысалы, комбинаторика мен толық ықтималдықтар формуласы тақырыптарына берілген тапсырмалар күрделі логикалық байланыстарды түсінуді, берілген жағдаяттарды талдауды және гипотезаларды ұсынуды талап етеді, сонымен қатар іздеу, талдау, синтездеу, өңдеу және ұсыну сияқты дағдыларын қолдануға мүмкіндік береді. Ал мұндай дағдылар қазіргі өзгермелі қоғамда өмір сүру үшін өте қажет. Сол себепті, өздігінен білім алуға, алған білімін өмірлік жағдаяттарға сәйкес қолдана білуге, бәсекеге қабілетті тұлғаны қалыптастыру мен дамытуда ықтималдықтар теориясының маңызы зор және өте қажет.

### **Зерттеу әдіснамасы**

Мемлекеттік жалпыға бірдей білім беру стандарты бойынша негізгі орта білім беру деңгейінің 7-11-сыныптарына арналған «Алгебра», «Алгебра және анализ бастамалары» оқу пәндері бойынша үлгілік оқу бағдарламасын іске асыру жөніндегі ұзақ мерзімді жоспарындағы «Ықтималдық және статистика» бөлімі бойынша енгізілген тақырыптар мен бөлінген сағат сандарын қарастырсақ жалпы 6-сыныпта 6 сағат, 7-сыныпта 5 сағат, 8-сыныпта 8 сағат, 9 сыныпта 18 сағат, 10-сыныпта 26 сағат, 11 сыныптар үшін 11 сағат қана бөлінгендігін көруге болады [11].

Ал Ресей Федерациясында 2023 жылдың оқу жылынан бастап мемлекеттік білім беру стандарттарына енгізілген өзгерістерге сәйкес 7–11 сыныптарда «Ықтималдық және статистика» курсы жеке пән ретінде оқытылады [9]. Бұл курс «Деректерді ұсыну және сипаттамалық статистика», «Ықтималдық», «Комбинаторика элементтері», «Графтар теориясына кіріспе» бөлімдерінен тұрады. Бұл пән әр оқу жылында аптасына 1 сынып сағатын алады, әр сынып бойынша жылына кемінде 35 сағат бөлінген [12].

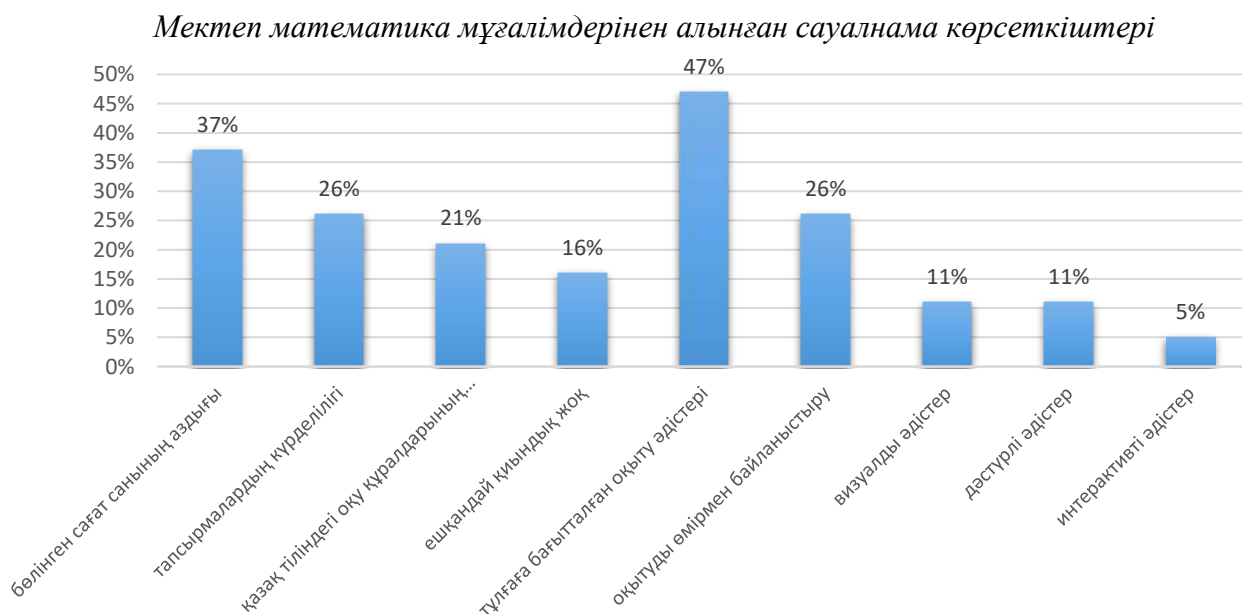
Бұл дегеніміз Қазақстанда білім алушылардың ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистика элементтерін жеткілікті деңгейде меңгере алмауларына әкелетін себептердің бірі деп айтуға болады. Осындай себептерді нақтылау мақсатында Қазақстандағы Алматы қаласы және Алматы облысының бірнеше мектептерінің математика пәнінің мұғалімдерінен ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистика элементтерін оқытуда кездесетін қиындықтар және оның себептеріне негізделінген сауалнама алдық. Сонымен қатар, Алматы қаласының жалпы білім беретін екі мектептен 10 «А» және «Б» сыныптарынан 42 оқушы қатысты.

Сауалнама келесідей сұрақтардан тұрды: сіз ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистика элементтерін оқытуда қандай қиындықтарды немесе мәселелерді атап өтер едіңіз? Осы қиындықтарды немесе мәселелерді шешу үшін қандай кеңес берер едіңіз? және т.б. Мәліметтерді жинау үшін сауалнама «Google forms» платформасы арқылы мектеп мұғалімдеріне таратылды. Мұғалімдерге сауалнаманың ерікті түрде жауап берулеріне және онда құпиялық толықтай сақталатындығы ескертілді.

### Зерттеу нәтижелері

Мектеп математика мұғалімдерінен алынған сауалнаманың басты сұрағы ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистиканы оқытуда кездесетін қиындықтарды анықтау болатын. Мұғалімдердің басым көпшілігі, яғни 37 %-ы бөлінген сағат санының аздығын, 26 %-ы тапсырмалардың күрделілігімен, 16 %-ы қазақ тіліндегі оқу құралдарының аздығымен байланыстырды. 21 %-ы ешқандай қиындықсыз сабақ жүргізуге болады деп жауап берді.

Мектеп математика мұғалімдерінен алынған сауалнаманың екінші сұрағы ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистиканы оқытудағы тиімді әдіс-тәсілдерді анықтау. Сауалнамаға қатысқан мұғалімдердің 47%-ы тұлғаға бағытталған оқыту әдістерді, 26%-ы оқытуды өмірлік жағдаяттармен байланыстыруды, 11%-ы визуалды әдістерді, 11%-ы дәстүрлі әдістерді, 5%-ы интерактивті әдістерді тиімді деп санайды (Диаграмма 1).



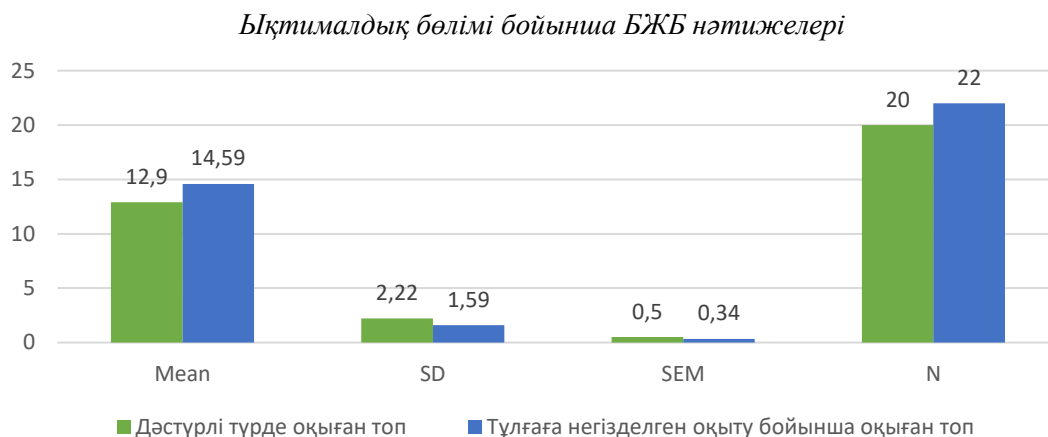
Сурет 1. Мектеп математика пәні мұғалімдерінің сауалнама нәтижелерінің диаграммасы

Ал, тұлғаға бағытталған оқыту бойынша  $W = 0,9505$ ,  $p = 0,323$ . Маңыздылық мәні 0,05-тен жоғары болды. Демек, бұл екі топтағы оқушылардың да бақылау нәтижелері қалыпты үлестірілгендігін білдіреді. Екі таңдама да қалыпты үлестірілгендіктен, екі топтың ұпай айырмашылықтарын талдауда  $t$ -тест критерийі арқылы жинаған ұпайлары салыстырылды. Тесттің нәтижелері айтарлықтай айырмашылықты көрсетті.



Дәстүрлі әдіс бойынша оқыған топта:  $M = 12,9$ ,  $SD = 2,22$ ; ал тұлғаға бағытталған оқыту бойынша:  $M = 14,59$ ,  $SD = 1,59$ .

Айырмашылықтың 95 % сенімділік интервалы  $(- 2,89, - 0,49)$ ,  $t = - 2,85377$ ,  $p = 0,003406$ . Нәтижесінде  $p < 0,01$  болғандықтан тұлғаға бағытталған оқыту әдістерін қолданған топ оқушылары дәстүрлі оқыту бойынша оқыған топқа қарағанда айтарлықтай жоғары балл жинады, бұдан тұлғаға бағытталған оқыту әдістері оқушылардың ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистиканың элементтерін оқытуда оң әсерін тигізетіндігін көру қиын емес (Диаграмма 2).



Сурет 2. Ықтималдық бөлім бойынша PES нәтижелерінің диаграммасы

### Дискуссия

Қазақстан мен Ресей еліндегі мемлекеттік білім беру стандарттарын салыстыра отырып, әрі сауалнамаға қатысқан мұғалімдердің пікірін ескерсек, бұл салаға біздің елде сағат саны аз бөлінген. Оқушылардан пән бойынша күтілетін нәтижеге қол жеткізуіміз үшін ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистиканың курсы мектеп бағдарламасына жеке пән ретінде енгізілгені дұрыс.

Сауалнама нәтижелеріне сүйенетін болсақ, мектеп мұғалімдерінің басым көпшілігі тұлғаға бағытталған оқыту әдістерін мақұлдаған. Соңғы жылдары педагогикалық ғылымда білім беру парадигмасының әдіснамалық принципі ретінде тұлғаға бағытталған оқыту қалыптасып келеді. Себебі, білім берушінің міндеті жай ғана білім, білік, дағдыны беру ғана емес, сонымен қатар сыныптағы әрбір оқушының ерекшеліктерін, қажеттіліктерін ескере отырып, оның білім алу процесінде жан-жақты дамуын жүзеге асыру болып табылады.

Жаңартылған білім беру аясында білім беру үдерісінің құрылымы мен мазмұнына елеулі өзгерістер енгізілуіне байланысты дәстүрлі оқу жоспарының тәсілдерін оқушыға бағытталған оқытумен алмастырылу ұсынылды. Ондағы басты мақсат – оқушылардың өздігінен білім алу дағдыларын қалыптастыру. Тұлғаға бағытталған оқыту – мұғалімдер мен оқушылардың ынтымақтастығына негізделген, олардың оқу процесіндегі белсенділігін арттырып, саналы көзқарасын қалыптастыратын топтасқан оқыту тәсілі. Екі-төрт мүшеден тұратын топ бір-біріне қолдау көрсетіп, ынталандырып, көмектесіп, бірге топтық жұмыс жасайды [13].

Білім беру процесінде топтық жұмыс оқушылардың білім деңгейін айтарлықтай жақсартады. Демек, ықтималдықтар теориясын оқытуда күрделі тапсырмаларды шешуге бағытталған бірлескен жұмыс оқушының танымдық белсенділігін жоғарлатады. Яғни, тұлғаға бағытталған оқыту әдісі дәстүрлі әдіске қарағанда тиімдірек. Сондықтан математикадан сабақ беретін мұғалімдер дәстүрлі оқыту әдістерін тұлғаға бағытталған оқыту әдістеріне алмастыруы қажет. Өйткені, мұғалімдердің оқыту процесіндегі қолданатын әдіс-тәсілдері оқушылардың білім көрсеткіштерін арттыруға және пәнге деген көзқарасын өзгертуге маңызды болып табылады.

Ықтималдықтар теориясы әртүрлі диаграммалар мен графиктерден тұратындықтан оны оқытуда көрнекі құралдардың тиімділігі жоғары. Себебі, кестелер, «бұтақтар» мен диаграммалар, ойын сүйегі сияқты көрнекіліктер оқушыларға есеп шығару барысында мүмкін жағдайларды және әрбір жағдайдың ықтималдығын жақсы түсінуге ықпал етеді. Оны Michael Zorzos, Evgenios Avgerinos өз зерттеулерінде дәлелдеп, визуализация ықтималдықтарды оқыту мен оқу үшін тамаша құрал болады деген қорытындыға келген [14]. Демек, ықтималдықтарды оқытуда әртүрлі көрнекіліктерді пайдалану оқушылардың логикалық ойлау дағдыларын арттырады.

### Қорытынды

Қорытындылай келе, күн сайын өзгеріп жатқан қоғамда өмір сүруге бейім, өздігінен білім алуға, алған білімін өмірлік жағдаяттарға сәйкес қолдана білуге, бәсекеге қабілетті тұлғаны қалыптастыру мен дамытуда ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистиканың маңызы зор. Бұл саланы оқыту келесі екі білім беру мақсатына бағытталуы қажет: кездейсоқтық туралы сыни ойлауды дамыту; теориялық білімдерін практика жүзінде өмірде қолдана білу.

Математика пәнін оқыту барысында функционалдық сауаттылықты қалыптастыру мақсатында білім алушыларға игерілген математикалық білім, білік, есептеу, өлшеу және графиктік дағдыларды пайдаланып практикаға бағытталған тапсырмаларды шешуде, дәлелді түрде пайымдау жүргізу, талқылауға қатысу және логикалық тұрғыда қорытындылар жасай білу, математикалық мәтінмен жұмыс жасау іскерліктерін үйретуде ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистиканың алатын орны ерекше. Сол себепті бұл пәннің мектеп бағдарламасында жеке пән ретінде оқытылғаны дұрыс.

Математикалық статистика әдістері ғылымдарда кеңінен қолданылуына байланысты зерттеу нәтижелерін статистикалық өңдеу элементтерін оқыту өте пайдалы. Осы мақсаттарға жету үшін оқушыларға математика курсындағы ықтималдықтар теориясы және математикалық статистика бөлімдерін кеңейту керек. Ал ЖОО-да статистика өз алдына дербес пән болып оқытылу тиіс. Көптеген мектеп математика мұғалімдері әдетте тек теориялық (математикалық) статистика мен ықтималдықтар теориясын оқытады. Ықтималдық пен статистиканы оқыту кезінде күтілетін нәтижелер тек оқу жасына немесе материалдың көлеміне ғана емес, сонымен қатар оқыту тәсіліне де қатысты екендігі сөзсіз. Сонымен қатар, статистиканы оқытудың негізгі мақсаты оқушылардың статистикалық әдістердің механикасын ғана емес, статистикалық пайымдауларға негізделген ұғымдарды меңгеруін қамтамасыз ету керек.

Қорытындылай келе, бұл саланы оқытудың тиімді әдіс-тәсілдеріне ерекше назар аударылуы қажет. Себебі, оқушылардың математиканы меңгеруіне мұғалімнің қолданған оқыту әдісі үлкен әсер етеді. Сондықтан, ықтималдық пен статистикалық ұғымдарды ұсынып, олардың қолданылуын көрсетіп қана қоймай, оның мағынасын, қолданысын түсіндіріп, оқушылардың түйсіктерін дұрыс қалыптастырып, сыни ойлауларын дамытуға ықпал ету маңызды.

### Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

[1] Xiong W. (2016) *Research on the Probability Theory and Mathematical Statistics Teaching* // 6th International Conference on Electronic, Mechanical, Information and Management, C. 883-885. <https://DOI:10.2991/emim-16.2016.181>

[2] Batanero C., Burrill G., & Reading C. (2011) *Overview: Challenges for Teaching Statistics in School Mathematics and Preparing Mathematics Teachers* // Published in *Teaching Statistics in School-Mathematics Challenges for Teaching and Teacher Education: A Joint ICMI/IASE Study*. C. 407- 418 <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-1131-0?page=3#toc>

[3] Can Ö.S. and İşleyen T. (2020) *The effect of probability instruction through argumentation approach on the achievement of preservice teachers and the permanence of their knowledge* // *African Educational Research Journal Special Issue, October 8(3)*, C. 40-53 <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1274361.pdf>



[4] Duran M., Doruk M., Kaplan A. (2017) An Examination of the Effectiveness of Argumentation-Based Probability Teaching on Middle School Students' Achievements and Anxieties, *Eğitimde Kuram ve Uygulama Articles // Makaleler Journal of Theory and Practice in Education*, 13(1), С. 55-87 <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/275203>

[5] Ah-Choo K., Atan M., Salleh M., Bava Harji M., Kiluwasha A., Song H.SY. (2012) What Probability Students Say About Mobile Learning through ProbMobile Learning // *Framework 1-st International Conference on Mobile Learning, Applications, and Services* <https://www.researchgate.net/publication/242014075>

[6] Үлгілік оқу бағдарламасы, <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2200030654>

[7] Aizikovitsh-Udi A., Amit M. (2011) Developing the skills of critical and creative thinking by probability teaching // *Procedia Social and Behavioral Sciences* 15, С. 1087–1091 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042811004228>

[8] Приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 18.05.2023 № 370 “Об утверждении федеральной образовательной программы основного общего образования” (Зарегистрирован 12.07.2023)

[https://cdnstatic.rg.ru/uploads/attachments/2023/07/17/74223\\_8ba.pdf](https://cdnstatic.rg.ru/uploads/attachments/2023/07/17/74223_8ba.pdf)

[9] ФОП среднего общего образования Приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 18.05.2023 № 371 “Об утверждении федеральной образовательной программы среднего общего образования” (Зарегистрирован 12.07.2023 № 74228), [https://static.edsoo.ru/projects/upload/FOP\\_SOO.pdf](https://static.edsoo.ru/projects/upload/FOP_SOO.pdf)

[10] ФОП основного общего образования Приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 18.05.2023 № 370 “Об утверждении федеральной образовательной программы основного общего образования” (Зарегистрирован 12.07.2023), [https://static.edsoo.ru/projects/upload/FOP\\_OOO.pdf](https://static.edsoo.ru/projects/upload/FOP_OOO.pdf)

[11] Joseph W. Pale. (2016) Teacher and Student Based Instructions on Probability Achievement Outcomes and Attitudes of Secondary School, Students in Bungoma North, Kenya // *Journal of Education and Practice* Vol.7, No.24, С. 43-53 <https://core.ac.uk/download/pdf/234639186.pdf>

[12] Zorzos M., Avgerinos E. (2023) Research on visualization in probability problem solving // *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(4), <https://www.ejmste.com/download/research-on-visualization-in-probability-problem-solving-13066.pdf>

[13] Batanero C., Diaz C. (2012) Training school teachers to teach probability: reflections and challenges // *Chilean Journal of Statistics*, Vol.3, No.1, April, С. 3–13 [https://chjs.mat.utfsm.cl/volumes/03/01/Batanero\\_Diaz\(2012\).pdf](https://chjs.mat.utfsm.cl/volumes/03/01/Batanero_Diaz(2012).pdf)

[14] Elbehary SGA. (2022) Rethinking mathematics teachers' professional knowledge for teaching probability from the perspective of probabilistic reasoning: A proposed framework // *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 17(3) <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1357692.pdf>

#### References

[1] Xiong W. (2016) Research on the Probability Theory and Mathematical Statistics Teaching. 6th International Conference on Electronic, Mechanical, Information and Management, pp.883-885. <https://DOI:10.2991/emim-16.2016.181>

[2] Batanero C., Burrill G., & Reading C. (2011) Overview: Challenges for Teaching Statistics in School Mathematics and Preparing Mathematics Teachers. Published in *Teaching Statistics in School-Mathematics Challenges for Teaching and Teacher Education: A Joint ICMI/IASE Study*. pp. 407- 418. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-1131-0?page=3#toc>

[3] Can Ö.S. and İşleyen T. (2020) The effect of probability instruction through argumentation approach on the achievement of preservice teachers and the permanence of their knowledge. *African Educational Research Journal Special Issue*, October 8(3), pp. 40-53. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1274361.pdf>

[4] Duran M., Doruk M., Kaplan A. (2017) An Examination of the Effectiveness of Argumentation-Based Probability Teaching on Middle School Students' Achievements and Anxieties, *Eğitimde Kuram ve Uygulama Articles. Makaleler Journal of Theory and Practice in Education*, 13(1), pp. 55-87. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/275203>

[5] Ah-Choo K., Atan M., Salleh M., Bava Harji M., Kiluwasha A., Song H.SY. (2012) What Probability Students Say About Mobile Learning through ProbMobile Learning. *Framework 1-st International Conference on Mobile Learning, Applications, and Services* <https://www.researchgate.net/publication/242014075>

- [6] Ylgilik oku bagdarlamasy [Model curriculum], (In Kazakh) <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2200030654>
- [7] Aizikovitsh-Udi A., Amit M. (2011) Developing the skills of critical and creative thinking by probability teaching. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 15, pp. 1087–1091. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042811004228>
- [8] Prikaz Ministerstva prosvesheniya Rossijskoj Federacii ot 18.05.2023 № 370 “Ob utverzhdenii federalnoj obrazovatelnoj programmy osnovnogo obshego obrazovaniya” (Zaregistrovan 12.07.2023) [Order of the Ministry of Education of the Russian Federation dated 18.05.2023 No. 370 “On approval of the federal educational program of basic general education” (Registered on 12.07.2023)] (In Russian) [https://cdnstatic.rg.ru/uploads/attachments/2023/07/17/74223\\_8ba.pdf](https://cdnstatic.rg.ru/uploads/attachments/2023/07/17/74223_8ba.pdf)
- [9] FOP srednego obshego obrazovaniya Prikaz Ministerstva prosvesheniya Rossijskoj Federacii ot 18.05.2023 № 371 “Ob utverzhdenii federalnoj obrazovatelnoj programmy srednego obshego obrazovaniya” (Zaregistrovan 12.07.2023 № 74228) [FOP of secondary general education Order of the Ministry of Education of the Russian Federation dated 18.05.2023 No. 371 “On approval of the federal educational program of secondary general education” (Registered 12.07.2023 No. 74228)], (In Russian) [https://static.edsoo.ru/projects/upload/FOP\\_SO0.pdf](https://static.edsoo.ru/projects/upload/FOP_SO0.pdf)
- [10] FOP osnovnogo obshego obrazovaniya Prikaz Ministerstva prosvesheniya Rossijskoj Federacii ot 18.05.2023 № 370 “Ob utverzhdenii federalnoj obrazovatelnoj programmy osnovnogo obshego obrazovaniya” (Zaregistrovan 12.07.2023) [FOP of basic general education Order of the Ministry of Education of the Russian Federation dated 05/18/2023 No. 370 “On approval of the federal educational program of basic general education” (Registered 07/12/2023)], (In Russian) [https://static.edsoo.ru/projects/upload/FOP\\_O00.pdf](https://static.edsoo.ru/projects/upload/FOP_O00.pdf)
- [11] Joseph W. Pale. (2016) Teacher and Student Based Instructions on Probability Achievement Outcomes and Attitudes of Secondary School, Students in Bungoma North, Kenya. *Journal of Education and Practice* Vol.7, No.24, pp. 43-53. <https://core.ac.uk/download/pdf/234639186.pdf>
- [12] Zorzos M., Avgerinos E. (2023) Research on visualization in probability problem solving. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(4). <https://www.ejmste.com/download/research-on-visualization-in-probability-problem-solving-13066.pdf>
- [13] Batanero C., Diaz C. (2012) Training school teachers to teach probability: reflections and challenges. *Chilean Journal of Statistics*, Vol. 3, No. 1, April, pp. 3–13. [https://chjs.mat.utfsm.cl/volumes/03/01/Batanero\\_Diaz\(2012\).pdf](https://chjs.mat.utfsm.cl/volumes/03/01/Batanero_Diaz(2012).pdf)
- [14] Elbehary SGA. (2022) Rethinking mathematics teachers’ professional knowledge for teaching probability from the perspective of probabilistic reasoning: A proposed framework. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 17(3). <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1357692.pdf>

## ИНФОРМАТИКА COMPUTER SCIENCE

IRSTI 20.53.19

10.51889/2959-5894.2024.88.4.014

G. Alkhanova<sup>1\*</sup>, S. Zhuzbayev<sup>2</sup>, A. Baikonys<sup>3</sup>, Ye. Pernebayev<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Alikhan Bokeikhan University, Semey, Kazakhstan,

<sup>2</sup>L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

<sup>3</sup>Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan,

<sup>4</sup>South Kazakhstan University named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan

\*e-mail: [gulnur\\_alkhanova@mail.ru](mailto:gulnur_alkhanova@mail.ru)

### MATHEMATICAL MODELING AND DATA PROCESSING IN PYTHON

#### *Abstract*

The advent of mathematical modeling has significantly impacted various aspects of people's lives and has contributed to advancements in civilization and the exploration of new frontiers. Scientific modeling is a fundamental component of modern research, offering a method for both qualitative and quantitative representation of processes, phenomena, or objects through numerical models. These models are developed using mathematical tools that effectively capture the essence of the real-world processes, phenomena, or objects being studied. A thorough examination of the history and application scope of mathematical modeling reveals its profound influence in simplifying human life and addressing pressing challenges faced by humanity. This includes an exploration of both the benefits and limitations associated with scientific modeling. Additionally, this study delves into the utilization of computer programs, particularly Python, for simulating physical phenomena. This work encompasses various aspects of scientific modeling, ranging from its historical origins to the classification of numerical modeling techniques and models. Practical experiments on modeling free harmonic motions, such as second-order thermal conductivity, using Python's scientific packages with the capability to manipulate input data are also presented. Through these endeavors, valuable insights into the intricacies of mathematical modeling and its practical applications are gained.

**Keywords:** python, computer mathematics programs, mathematical apparatus, mathematical model, mathematical modeling, heat equation, sweep method, fractional steps method, data processing.

Г. Алханова<sup>1</sup>, С. Жүзбаев<sup>2</sup>, А. Байконыс<sup>3</sup>, Е. Пернебаев<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Alikhan Bokeikhan University, Семей қ., Қазақстан,

<sup>2</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан,

<sup>3</sup>Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан,

<sup>4</sup>М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан,

**PYTHON ТІЛІНДЕ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ДЕРЕКТЕРДІ ӨНДЕУ**

#### *Аңдатпа*

Математикалық модельдеудің пайда болуы адамдар өмірінің әртүрлі аспектілеріне айтарлықтай әсер етті және өркениеттің дамуына және жаңа шекаралардың дамуына үлес қосты. Ғылыми модельдеу сандық модельдер арқылы процестерді, құбылыстарды немесе объектілерді сапалы және сандық бейнелеу әдісін ұсынатын заманауи зерттеулердің негізгі құрамдас бөлігі болып табылады. Бұл модельдер зерттелетін процестердің, құбылыстардың немесе нақты әлем объектілерінің мәнін тиімді көрсететін математикалық құралдарды қолдану арқылы жасалады. Математикалық модельдеудің тарихы мен қолданылу аясын мұқият зерттеу оның адам өмірін жеңілдетуге және адамзат алдында тұрған өзекті мәселелерді шешуге терең әсерін көрсетеді. Бұл ғылыми модельдеуге байланысты артықшылықтар мен шектеулерді зерттеуді қамтиды. Сонымен қатар, бұл зерттеу физикалық

құбылыстарды модельдеу үшін компьютерлік программаларды, атап айтқанда Python -. қолдануға бағытталған. Бұл жұмыс ғылыми модельдеудің әртүрлі аспектілерін қамтиды, оның тарихи бастауларынан бастап сандық модельдеу әдістері мен модельдерін жіктеуге дейін. Кірістерді манипуляциялау мүмкіндігі бар Python ғылыми пакеттерін қолдана отырып, екінші ретті жылу өткізгіштік сияқты еркін гармоникалық қозғалыстарды модельдеуге арналған практикалық эксперименттер де ұсынылған. Осы күш-жігердің арқасында математикалық модельдеудің қыр-сыры және оның практикалық қолданылуы туралы құнды ақпарат алуға болады.

**Түйін сөздер:** python, компьютерлік математикалық программалар, математикалық аппарат, математикалық модель, математикалық модельдеу, жылу өткізгіштік теңдеуі, сыпыру әдісі, бөлшек кадам әдісі, деректерді өңдеу.

Г. Алханова<sup>1</sup>, С. Жүзбаев<sup>2</sup>, А. Байқоныс<sup>3</sup>, Е. Пернебаев<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Alikhan Bokeikhan University, г. Семей, Казахстан,

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан,

<sup>3</sup>Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан,

<sup>4</sup>Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан,

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ НА ЯЗЫКЕ PYTHON

### *Аннотация*

Появление математического моделирования существенно повлияло на различные аспекты жизни людей и внесло свой вклад в развитие цивилизации и освоение новых рубежей. Научное моделирование является фундаментальным компонентом современных исследований, предлагая метод как качественного, так и количественного представления процессов, явлений или объектов с помощью численных моделей. Эти модели разрабатываются с использованием математических инструментов, которые эффективно отражают суть изучаемых процессов, явлений или объектов реального мира. Тщательное изучение истории и сферы применения математического моделирования показывает его глубокое влияние на упрощение жизни человека и решение насущных проблем, с которыми сталкивается человечество. Это включает в себя изучение как преимуществ, так и ограничений, связанных с научным моделированием. Кроме того, это исследование посвящено использованию компьютерных программ, в частности Python, для моделирования физических явлений. Эта работа охватывает различные аспекты научного моделирования, начиная с его исторических истоков и заканчивая классификацией методов и моделей численного моделирования. Также представлены практические эксперименты по моделированию свободных гармонических движений, таких как теплопроводность второго порядка, с использованием научных пакетов Python с возможностью манипулирования входными данными. Благодаря этим усилиям можно получить ценную информацию о тонкостях математического моделирования и его практическом применении.

**Ключевые слова:** python, компьютерные математические программы, математический аппарат, математическая модель, математическое моделирование, уравнение теплопроводности, метод развертки, метод дробных шагов, обработка данных.

### **Main provisions**

In this study, two numerical methods - specifically the tridiagonal matrix method (a variant of the sweep method) and the fractional steps method - were evaluated for their efficiency in solving a heat equation represented by a partial differential equation. The research demonstrated that the fractional steps method required significantly fewer iterations (98 iterations) compared to the tridiagonal matrix method (2571 iterations) to achieve convergence. Therefore, it concluded that the fractional steps method is faster and more efficient, making it a preferable choice for numerical simulations, especially when computational efficiency is a priority. Additionally, the study calls for further refinement and integration of advanced techniques, such as machine learning, with the fractional steps method to improve its performance.

### **Introduction**

The emergence of mathematical modeling during the 20th century was a significant discovery that revolutionized various fields. The understanding of mathematical modeling began to take shape in

the late 19th and early 20th centuries, with the works of mathematicians R. Fréchet and D. Hilbert. They introduced new perspectives on proximity in mathematics, such as metric and Hilbert spaces, which laid the foundations for modern mathematical modeling.

These developments led to the formation of new methods in computational mathematics and provided the necessary theoretical groundwork for mathematical modeling. One of the key contributions was the concept of integral identities in mathematical physics, as well as the finite element approach proposed by R. Courant. The finite element method became the basis for variational and projection difference methods used to solve problems in mathematical physics.

Russian scientists A.A. Samarsky and O.M. Belotserkovsky played a significant role in advancing the idea of mathematical modeling. Their contributions helped shape the field and further enhance the effectiveness of mathematical models.

Mathematical modeling has had a profound impact on civilization, contributing to the achievements of various disciplines. It has played a fundamental role in the revolution of physics in the 19th and 20th centuries, allowing for a deeper understanding of natural phenomena and facilitating technological advancements. It is important to note that mathematical modeling has made a huge contribution to the achievements of civilization, as well as the revolution in physics in the 19th and 20th centuries [1].

There are instances where possessing an object is feasible, yet its utilization could incur significant expenses or even result in grave calamities. In such scenarios, the researcher's objective is to formulate a model of the original object, thus foreseeing the characteristics and conduct of the object during its application.

The development of an accurate model necessitates a profound understanding of the object slated for modeling. Occasionally, it is contended that a mathematician devoid of familiarity with the object in question can create a model, as can a specialist well-versed in the object but lacking mathematical comprehension. However, it remains crucial to recognize that proficiency in mathematical modeling demands expertise not solely in mathematical models but also in the object being modeled. Moreover, it is important to remember that to achieve success in mathematical modeling, you need to have knowledge not Mathematical modeling encompasses the process of devising and analyzing mathematical models that encapsulate real-world processes and phenomena using mathematical modeling programs or packages. Furthermore, mathematical modeling constitutes an indispensable component of scientific and technological advancement [2].

Contemporary mathematics boasts an extensive array of powerful research tools. When constructing a model, the pertinent parameters and details of the subject under examination are incorporated, which some believe contain the requisite information about the object, while others view them as facilitating mathematical formalization. Understanding the method of mathematical modeling is imperative to comprehend the modeling process. But it is also necessary to understand what a mathematical modeling method is in order to understand how modeling is carried out [3].

Mathematical model that reflects knowledge in the proposed field of software [4].

Related to the field of engineering knowledge or various sections of artificial intelligence as a scientific discipline [5].

A mathematical model is a reflection of expertise in the respective domain of software. It pertains to the realm of engineering knowledge or various branches of artificial intelligence as a scientific discipline. Emphasis is placed on the recommendation to conduct modeling not solely through laborious programming efforts but rather by transforming modern insights into a format conducive to human comprehension.

It is emphasized that it is advisable to carry out not due to time-consuming programming, but due to the introduction of modern data of revelation into a form convenient for a person [6].

### **Research methodology**

Materials and research methodologies: Various methods can be employed for mathematical modeling of physical phenomena, such as the sweep method, explicit method, fractional step method,



Jacobi method, Gauss-Seidel method, among others. In this article, we will delve into two methods for solving a single physical equation and compare their efficacy. Gauss-Seidel method, and so on. In the same article we will touch on two methods for one physical equation and compare them [7].

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \tag{1}$$

where  $u(x, y, t)$  – function, a  $\partial$  – partial differential.

*Tridiagonal matrix method:*

Tridiagonal matrix method: This method is a variant of the sequential elimination method for solving unknowns. The sweep method, a special case of the Gauss method, is utilized to solve systems of linear equations represented by  $Ax = B$ , where  $A$  is a tridiagonal matrix. A tridiagonal matrix is characterized by zeros in all positions except the main diagonal and its adjacent elements. The sweep method comprises two stages: forward sweep and backward sweep. During the first stage, the running coefficients are determined, while the unknown variables  $x$  are computed during the second stage. At each stage, the latest calculated values of the values are used [8].

Let's discretize the aforementioned equation:

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\Delta t} = \frac{u_{i+1}^{n+1} - 2u_i^{n+1} + u_{i-1}^{n+1}}{\Delta x^2} \tag{2}$$

where  $i$  – is a sweep across the plate and  $O((\Delta x^2), (\Delta t))$  – approximation error.

Python is one of the most widely used programming languages, and according to the PYPL (popularity of programming languages) index, it is the most popular in the world [9]. At the same time, Python has all the functionality of other languages and even more [10]. Derivation of this formula in program code. Below is the output of the formula in the program code in Figure 1.

```
while (maxi>eps):
    for j in range(n):
        newp[0][j]=1
        newp[n-1][j]=1
    for i in range(n):
        newp[i][0]=0
        newp[i][n-1]=0
    for i in range(1,n-1):
        for j in range(1,n-1):
            newp[i][j]=oldp[i][j]+dt*(oldp[i+1][j]-2*oldp[i][j]+oldp[i-1][j])/(dx*2)+(oldp[i][j+1]-2*oldp[i][j]+oldp[i][j-1])/(dy*2)
    maxi=0
```

Figure 1. Re-check data by the loop

In this context, a while loop is employed to re-evaluate the maximum value data with an error threshold, typically set at 0.00001 for our purposes.

Figure 2 following this, a for loop is utilized to track the final iteration, determining the total number of completed iterations.

```
for i in range(1,n):
    for j in range(1,n):
        if (maxi<abs(newp[i][j]-oldp[i][j])):
            maxi=abs(newp[i][j]-oldp[i][j])
for i in range(n):
    for j in range(n):
        oldp[i][j]=newp[i][j]
iter+=1
```

Figure 2. Count of iterations

Transitioning to the second method, we delve into the fractional steps approach. In this method, also known as splitting schemes, the progression to the subsequent time layer is fragmented into multiple intermediate stages. At each of these individual stages, there's no necessity to ensure both approximation and stability. However, the collective result of these stages yields a full-step approximation, enabling the construction of a convergent and cost-effective scheme. Presently, fractional steps methodology stands as an indispensable component in formulating frameworks to address intricate multidimensional challenges in mathematical physics.

The following steps will be used for our equation:

Step 1.

$$\frac{u_{ij}^{n+\frac{1}{2}} - u_{ij}^n}{\Delta t} = \frac{1}{2} (\Lambda_1 u^{n+\frac{1}{2}} + \Lambda_1 u^n) + \Lambda_2 u^n \quad (3)$$

Step 2.

$$\frac{u_{ij}^{n+1} - u_{ij}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} = \frac{1}{2} (\Lambda_2 u^{n+1} - \Lambda_2 u^n) \quad (4)$$

where operators  $\Lambda_1$  и  $\Lambda_2$  are equal to:

$$\Lambda_1 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} \quad (5)$$

$$\Lambda_2 = \frac{\partial^2}{\partial y^2} \quad (6)$$

Figure 3 these formulas in Python are specified as follows.

```
while (maxt>eps):
    for j in range(1,n):
        bettal[1]=newp[0][j]
        alphas[1]=0
    for j in range(1,n):
        for i in range(1,n):
            d1=oldp[5][i]/dt+oldp[5][i+1]-2*oldp[5][i]+oldp[5][i-1])/(2*(dx**2))+ (oldp[j+1][i]-2*oldp[j][i]+oldp[j-1][i])/(dy**2)
        for i in range(1,n):
            alpha1[i+1]=-a1/(b1+c1*alpha1[i])
            bettal[1+1]=-(d1-c1*bettal[1])/(b1+c1*alpha1[i])
        for i in range(n-1,0,-1):
            newp[i][j]=newp[i+1][j]*alpha1[i+1]+bettal[i+1]
    for j in range(1,n):
        alpha2[1]=0
        betta2[1]=0
    for j in range(1,n):
        for i in range(1,n):
            d2=newp[1][j]/dt+(oldp[j+1][1]-2*oldp[j][1]+oldp[j-1][1])/(2*(dy**2))
        for i in range(1,n):
            alpha2[i+1]=-a2/(b2+c2*alpha2[i])
            betta2[i+1]=-(d2-c2*betta2[i])/(b2+c2*alpha2[i])
        for i in range(n-1,0,-1):
            newp[5][i]=newp[5][i+1]*alpha2[i+1]+betta2[i+1]
    maxt=0
```

Figure 3. Re-check data by steps

This employs a loop to iterate over the variables of the x and y axes in two steps. Figure 4 the number of iterations can be tracked similarly to the first method, using a for loop to monitor the progress.

```

for i in range(0,n+1):
    for j in range(0,n+1):
        if maxx<abs(newp[i][j]-oldp[i][j]):
            maxx=abs(newp[i][j]-oldp[i][j])
for i in range(0,n+1):
    for j in range(0,n+1):
        oldp[i][j]=newp[i][j]
iterr=iterr+1
    
```

Figure 4. Count of iterations

**Results of the study**

Figure 5 the outcome of applying the tridiagonal matrix method to the heat equation yields the following graph and associated data:

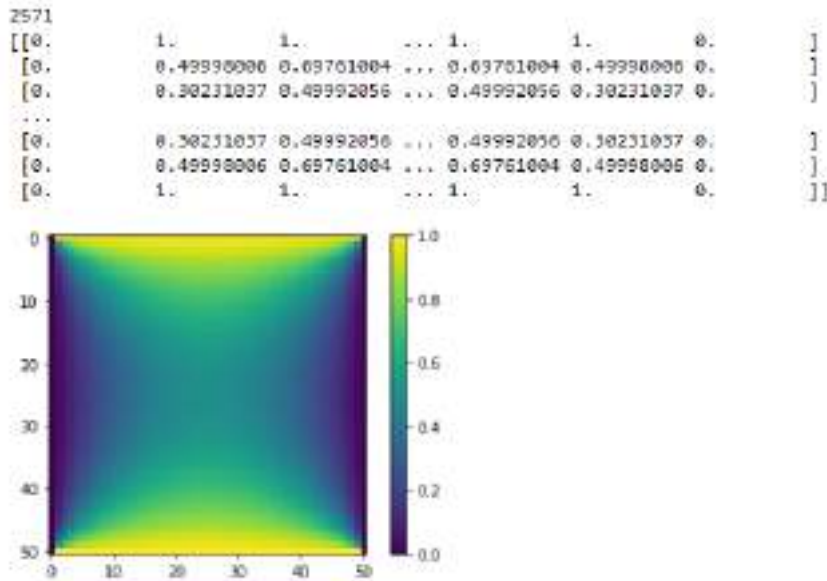


Figure 5. Results from tridiagonal matrix method

Figure 6 we have generated a graph illustrating the thermal conductivity distribution across the plate, along with a tridiagonal data matrix. Solving this problem required 2571 iteration.

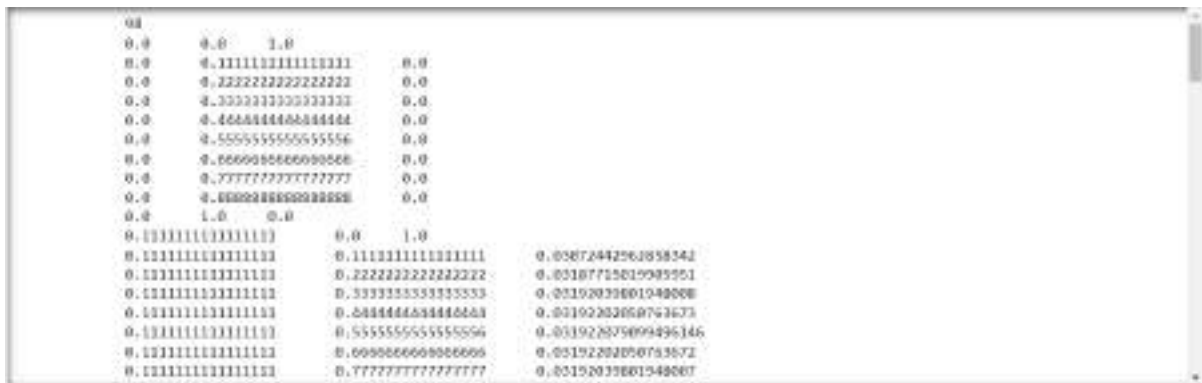


Figure 6. Results from fractional step method

Figure 7 applications of the fractional step method.



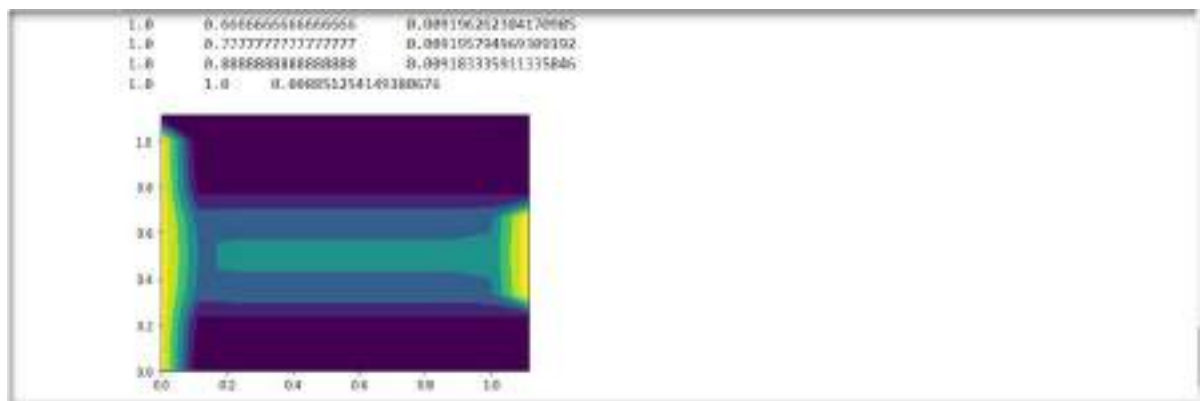


Figure 7. Results from fractional step method

Based on the outcomes derived from this approach, we observe the dispersion of heat across the plate, with data indicating that as time progresses, the heat dispersion also intensifies. Upon segmenting the task into steps, we achieve the desired outcome within 98 iterations.

### Discussion

The results of this study have significant implications for computational efficiency in numerical simulations across various domains, including engineering and physics. The ability of the fractional steps method to converge in significantly fewer iterations suggests that it can effectively streamline the processes involved in simulating physical phenomena. This finding aligns with previous research that has emphasized the importance of optimizing numerical methods for enhanced performance, particularly as the complexity of problems increases. The observed superiority of the fractional steps method mirrors trends in the field of computational science that favor methods capable of reducing computational load without sacrificing accuracy. By adopting the fractional steps method, researchers can allocate their computational resources more effectively, addressing larger and more intricate problems in a reasonable timeframe. Future research prospects include exploring the potential of hybrid approaches that combine classical numerical methods with modern techniques, such as machine learning, to further enhance the efficiency and adaptability of numerical simulations. This integration could lead to even faster convergence rates and improved predictive capabilities, thus setting the stage for innovative solutions to complex scientific challenges. Overall, this study contributes valuable insights into the ongoing discourse on numerical methods' optimization and their critical role in advancing scientific research.

### Conclusion

In conclusion, based on these findings, it can be inferred that the fractional steps method proves significantly faster and more efficient compared to the sweep method. This is evident from the fact that the number of iterations required for the former is 26 times fewer, despite the potentially larger code involved. The goal of the study was to compare the efficiency of the fractional steps method with the sweep method in numerical simulations. To achieve this, the researcher conducted practical experiments using both methods and analyzed their performance in terms of computational speed and efficiency. The methods involved developing mathematical models, implementing algorithms, and running simulations using appropriate computational tools. The results of the study showed that the fractional steps method outperformed the sweep method in terms of computational efficiency. Specifically, the fractional steps method required significantly fewer iterations to converge compared to the sweep method, despite potentially involving larger code. This indicates that the fractional steps method is faster and more efficient for numerical simulations of the physical phenomena studied. Based on these findings, it can be concluded that the fractional steps method is a preferable choice for numerical simulations when computational efficiency is a priority. Its ability to achieve convergence with fewer iterations can lead to significant time savings in computational tasks.

Additionally, the study highlights the importance of considering different numerical methods and their implications for computational performance in scientific modeling. The findings of this study have implications for various fields where numerical simulations are employed, such as engineering, physics, and computational science. The implementation of the fractional steps method can lead to faster and more efficient simulations, enabling researchers and practitioners to tackle larger and more complex problems within a reasonable computational time frame. Furthermore, future research could explore optimizations and refinements of the fractional steps method to further enhance its performance and applicability in real-world scenarios.

Future work could also investigate the integration of machine learning techniques with the fractional steps method to enhance model predictions and convergence rates. Overall, these advancements could pave the way for more innovative approaches in scientific computing, ensuring that researchers can keep pace with the growing demands for computational power and efficiency.

#### References

- [1] *History of mathematical modeling and technology of computational experiment [Electronic resource]. URL: [https://www.computer-museum.ru/articles/galglory\\_ru/1466/](https://www.computer-museum.ru/articles/galglory_ru/1466/) (accessed September 23, 2023).*
- [2] *Mathematical modeling. [Electronic resource]. URL: <https://works.doklad.ru/view/NTZgPljhPy8.html> (accessed September 20, 2023).*
- [3] *Mathematical modeling. The concept of model and simulation. [Electronic resource]. URL: [http://www.pedsovet.info/info/pages/referats/info\\_00002.htm](http://www.pedsovet.info/info/pages/referats/info_00002.htm) (accessed September 22, 2023).*
- [4] *Alkhanova, G., Zhuzbayev, S., Syrkin, I., Kurmangaliyeva, N. Model of an automated educational and methodological complex based on a semantic network. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 2021, 99(24), pages 5713–5723. URL: <https://www.jatit.org/volumes/Vol99No23/12Vol99No23.pdf>*
- [5] *Alkhanova, G., Zhuzbayev, S., Syrkin, I., Kurmangaliyeva, N. Intelligent Mobile Models and Their Application in the Educational Process. International Journal of Interactive Mobile Technologies, 2022, 16(21), pages 201–217. URL: <https://online-journals.org/index.php/i-jim/article/view/36069/12251>*
- [6] *Alkhanova, G., Stenin, D., Zhuzbaev, S. The semantic network as a promising information platform in the mining industry. E3S Web of Conferences, 2019, 105, 03015. URL: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/31/e3sconf\\_iims18\\_03015.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/31/e3sconf_iims18_03015.pdf)*
- [7] *Alexander Semenov, M.N. Semenova, Yuriy Vladimirovich Bebikhov, Ilya Yakushev. Robotics, Machinery and Engineering Technology for Precision Agriculture. Moscow, 2022, page 438. URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-3844-2\\_40](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-3844-2_40)*
- [8] *Lukin V.V. Mathematical modeling of channeled radiation accelerated emissions in astrophysical systems. Moscow, 2019, page 36.*
- [9] *Paul and Harvey Deitel Python: Artificial Intelligence, Big Data and Cloud Computing [1st ed.] 9785446114320 page 52.*
- [10] *Fletcher Heisler, David Amos, Dan Bader, Joanna Jablonski Copyright. Python Basics: A Practical Introduction to Python 3 Real Python, 2020, page 21.*

A.K. Aitim <sup>1</sup>, S.E. Assan <sup>1\*</sup>, A. Abdimutalipkyzy <sup>1</sup>, E.E. Anuarov <sup>1</sup>

<sup>1</sup>International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: [shugyla.assan@gmail.com](mailto:shugyla.assan@gmail.com)

## DEVELOPMENT OF MOBILE APPLICATION FOR OPTIMIZING TRAFFIC FLOW THROUGH GAMIFICATION

### *Abstract*

Technology does not stand still and plays an important and decisive role in our daily lives, constantly creating new and unique opportunities to improve various areas, including transport and urban infrastructure. Our project is aimed at actively introducing advanced augmented reality technologies into the daily lives of consumers to optimize traffic and improve the overall safety of drivers. The mobile application we are developing combines unique elements of augmented reality (AR) and gamification, offering users rewards and bonuses for compliance with traffic and safety rules. This innovation contributes to the formation of more responsible behavior on the roads and helps to reduce the number of violations, as well as contributes to the reduction of accidents. The use of augmented reality technologies provides convenient and intuitive navigation, imposing visual clues on the surrounding world, which helps drivers to better navigate difficult areas. This allows the driver to make more informed decisions and improve driving skills. Our goal is to make these innovative and useful technologies available to every user, so that their trips become not only safe, but also interesting and exciting, turning ordinary trips into new experiences. The project is especially relevant for major cities of Kazakhstan, such as Almaty, Astana and other megacities, where serious problems of traffic accidents and constant traffic jams require new, effective and modern solutions.

**Keywords:** augmented reality, gamification, mobile application, traffic optimization, driver safety, game-based learning, navigation.

А.К. Айтим<sup>1</sup>, Ш.Е. Асан<sup>1</sup>, А. Әбдімүтәліпқызы<sup>1</sup>, Е.Е. Ануаров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Международный Университет Информационных Технологий, г. Алматы, Казахстан

## РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАФИКА С ПОМОЩЬЮ ГЕЙМИФИКАЦИИ

### *Аннотация*

Технологии не стоят на месте и играют важную и решающую роль в нашей повседневной жизни, постоянно создавая новые и уникальные возможности для улучшения различных сфер, включая транспорт и городскую инфраструктуру. Наш проект направлен на активное внедрение передовых технологий дополненной реальности в повседневную жизнь потребителей с целью оптимизации дорожного движения и повышения общей безопасности водителей. Разрабатываемое нами мобильное приложение сочетает в себе уникальные элементы дополненной реальности (AR) и геймификации, предлагая пользователям вознаграждения и бонусы за соблюдение правил дорожного движения и безопасности. Данное нововведение способствует формированию более ответственного поведения на дорогах и помогает снизить количество нарушений, а также способствует снижению аварийности. Использование технологий дополненной реальности обеспечивает удобную и интуитивно понятную навигацию, накладывая визуальные ориентиры на окружающий мир, что помогает водителям лучше ориентироваться на сложных участках. Это позволяет водителю принимать более обоснованные решения и совершенствовать навыки вождения. Наша цель - сделать эти инновационные и полезные технологии доступными для каждого пользователя, чтобы их поездки стали не только безопасными, но и интересными и захватывающими, превращая обычные поездки в новые впечатления. Проект особенно актуален для крупных городов Казахстана, таких как Алматы, Астана и других мегаполисов, где серьезные проблемы дорожно-транспортных происшествий и постоянных пробок требуют новых, эффективных и современных решений.

**Ключевые слова:** Дополненная реальность, геймификация, мобильные приложения, оптимизация дорожного движения, безопасность водителя, игровое обучение, навигация.

Ә.Қ. Әйтiм<sup>1</sup>, Ш.Е. Асан<sup>1</sup>, А. Әбдiмүтәлiпқызы<sup>1</sup>, Е.Е. Әнуаров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Халықаралық Ақпараттық Технологиялар Университетi, Алматы қ., Қазақстан

## ГЕЙМИФИКАЦИЯ АРҚЫЛЫ ТРАФИК АҒЫНЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУҒА АРНАЛҒАН МОБИЛЬДІ ҚОСЫМШАНЫ ӘЗІРЛЕУ

### *Аңдатпа*

Технология бiр орында тұрмайды және бiздiң күнделiктi өмiрiмiзде маңызды және шешушi рөл атқарады, әр түрлi бағыттарды, соның iшiнде көлiк және қалалық инфрақұрылымды жақсарту үшiн үнемі жаңа және бiрегей мүмкiндiктер жасайды. Бiздiң жоба трафиктi оңтайландыру және жүргiзушiлердiң жалпы қауiпсiздiгiн арттыру мақсатында тұтынушылардың күнделiктi өмiрiне кеңейтiлген шындықтың озық технологияларын белсендi түрде енгiзуге бағытталған. Бiз әзiрлеп жатқан мобильдi қосымша пайдаланушыларға жол қозғалысы және қауiпсiздiк ережелерiн сақтағаны үшiн марапаттар мен бонустар ұсына отырып, толықтырылған шындық (AR) және геймификацияның бiрегей элементтерiн бiрiктiредi. Бұл жаңашылдық жолдарда жауапкершiлiктi мiнез-құлықтың қалыптасуына ықпал етедi және бұзушылықтар санын азайтуға көмектеседi, сонымен қатар жазатайым оқиғалардың азаюына ықпал етедi. Толықтырылған шындық технологияларын қолдану ыңғайлы және интуитивтi навигацияны қамтамасыз етедi, қоршаған әлемге көрнекi белгiлердi енгiзедi, бұл жүргiзушiлерге қиын аймақтарды жақсырақ шарлауға көмектеседi. Бұл жүргiзушiге неғұрлым негiзделген шешiмдер қабылдауға және жүргiзу дағдыларын жетiлдiруге мүмкiндiк бередi. Бiздiң мақсатымыз-осы инновациялық және пайдалы технологияларды әрбiр пайдаланушыға қолжетiмдi ету, осылайша олардың сапарлары қауiпсiз ғана емес, сонымен қатар қызықты және қызықты болып, қарапайым сапарларды жаңа тәжiрибелерге айналдырады. Жоба әсiресе Алматы, Астана сияқты Қазақстанның iрi қалалары үшiн және жол-көлiк оқиғалары мен тұрақты кептелiстердiң күрделi проблемалары жаңа, тиiмдi және заманауи шешiмдердi қажет ететiн басқа да мегаполистер үшiн өзектi болып табылады.

**Түйiн сөздер:** Толықтырылған шындық, геймификация, мобильдi қосымша, трафиктi оңтайландыру, жүргiзушi қауiпсiздiгi, ойынға негiзделген оқыту, навигация.

### **Main provisions**

This study focuses on the development of a mobile application that aims to optimize traffic flow and improve road safety using innovative features such as gamification and augmented reality. The key features of the application include providing optimal route options, road sign recognition based on augmented reality, real-time navigation with animated guides, and image recognition through augmented reality. Additionally, the system incorporates a gamified element that offers rewards and progress tracking, motivating users to adopt safe driving habits.

### **Introduction**

In today's fast-paced world, technology has become an essential part of our daily lives, offered convenience but also posed new challenges. Modern roads, however, face numerous difficulties such as high numbers of traffic accidents and congestion. According to the World Bank [2], around 3,000 people lose their lives and over 30,000 are injured every year due to road accidents in Kazakhstan. This indicates that the risk of death from a road accident in Kazakhstan is 11 times higher than in countries such as Norway. One of the main reasons for this situation is the inability of drivers to resist the urge to use smartphones while driving, leading to inattention and disastrous accidents. Additionally, poor driving habits contribute to this problem, another piece of evidence is represented in Figure 1 below.

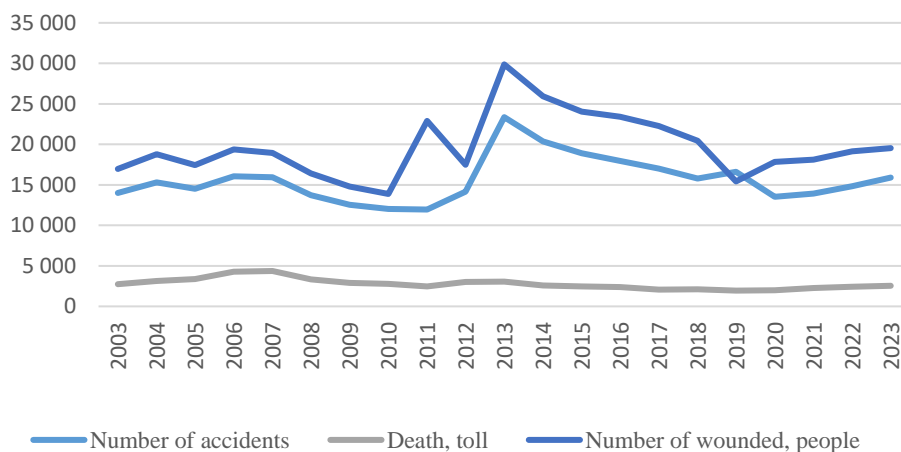


Figure 1. The growth in the number of road accidents in Kazakhstan for 2003-2023 years

According to the Committee on Legal Statistics and Special Accounts of the Prosecutor General's Office of the Republic of Kazakhstan, from 2003 to 2023, the number of road accidents is rapidly growing, and as reported by specialist: One of the main causes of traffic accidents is the low discipline of drivers on the roads of the republic [1].

Our project aims to address these challenges by creating a mobile app that utilizes gamification and Augmented Reality techniques to encourage safe driving behavior among drivers for optimizing traffic flow and enhance road safety by rewarding responsible driving with incentives. By integrating gamification elements and Augmented Reality features into the mobile application, we focus on reducing distractions while driving and promote safer road behavior and believe that this approach will lead to a more enjoyable, safe driving experience for everyone. While there are numerous traffic management and navigation apps available, most of them focus solely on providing directions for drivers [2]. This lack of attention to other aspects of driving safety, combined with an alarming increase in road accidents [3], highlights the need for innovative solutions to promote safer driving habits. In conclusion, the novelty of our app lies in the use of cutting-edge technologies, such as Augmented Reality (AR), which provides navigation information seamlessly to the driver's field of view. We also incorporate gamification elements to promote safe driving behavior. These tools are not currently used in existing traffic applications, despite their potential to engage drivers and reduce distractions that can cause accidents. By addressing this gap, we hope to play a significant role in reducing the risks associated with distracted driving.

### Research methodology

The purpose of the project is to develop a mobile application that optimizes traffic by using a gamified approach that encourages drivers to drive safely, as well as providing innovative tools such as convenient navigation tools with Augmented Reality features and other. This Mobile application mainly focusses on reducing traffic congestion, improving road safety and improving interaction between road members [4]. Research question for this study: How can we optimize traffic flow by using gamification, improve driving quality, and enhance road safety with the help of innovative tools integrated into our mobile app? To achieve the objectives of this study, there will be used a mixed approach that includes qualitative and quantitative techniques.

*Target audience for this study.* According to the priorities of the study, a random sample will be used. For quantitative studies such as performance evaluation, a random selection within the relevant population group will be made to ensure objectivity and representativeness. The target audience for our mobile application is diverse. Thanks to its versatility, we can appeal to a wide range of users, including drivers, novice drivers, members of the community, and travelers. The detailed information about these groups is illustrated in Table 1 below.

Table 1. Key audience groups for mobile application

<i>Who</i>	<i>Needs</i>	<i>Benefits of using app</i>
<i>Drivers who have their own private car.</i>	<i>To use efficient navigation, real-time traffic data and reminders for safe driving.</i>	<i>The application provides variants of optimal routes, in addition rewards system for safe driving techniques.</i>
<i>Individuals with limited driving experience like new, young drivers.</i>	<i>The guidance in navigating complex roads and comprehensive understanding of traffic rules.</i>	<i>Due to the user-friendly navigation features with AR, making path easier by building confidence on the road.</i>
<i>People</i>	<i>AR navigation assistance and information about landmarks and historical sites.</i>	<i>Provide navigation tips with visual elements, making it interesting.</i>
<i>Travelers</i>	<i>Enhanced safety measures in new places, monitoring new road conditions.</i>	<i>Features help users feel informed and secure themselves in their journeys.</i>

The table illustrates data about the main groups of people that will use this mobile application, their needs from using this application, in addition what benefits they will receive using this system.

Since everyone can use and evaluate this mobile application, for receiving respectable and valuable evaluation, there will be a random sampling method employed. However, for prototype testing there will be used non-probability method Purposive sampling. Drivers with a lot of experience will be evolved for prototype testing and getting real feedback that will help to identify high quality and relevant data. The study will use both qualitative and quantitative methods, so the sampling approach will fit these approaches. The sample observations will represent specific solutions, which will then be generalized to apply to the general population [5].

The sample size for the quantitative component will be larger to use statistical analysis around 200-250 participants. Participants will be randomly selected from demographics to involve a balances representation of age, gender, experience, and geographic location. It will be beneficial for the calculation of significant statistics, to make accurate about user needs, benefits about application. For the qualitative component, the sample size will be smaller, it mainly focuses on in-depth interviews and prototype testing with approximately 20-25 drivers with extensive experience. Online surveys: It will be widely distributed on social networks, forums for drivers, taxi drivers and large communities. This approach will help reach a broad audience, making results more exact. Moreover, as mentioned before there is no limitation about the target audience of mobile applications, because even if the kids use navigation apps to get somewhere, consequently there are no strict inclusion criteria. In contrast for prototype testing of navigation system, participants must meet the following criteria: Aged 18 years/older. They have their own vehicle and have more than 4 years' experience in driving. So, including both purposive and random sampling approaches ensure the accurateness of this study by exact data.

*Data collection methods.* For the study, it is planned to develop a mobile application with the integration of a navigation system using augmented reality (AR) and gamification. The application will be aimed at optimizing traffic and improving driving safety.

The planned technologies that will be used in the application include:

1. GPS and real-time navigation: GPS technologies are supposed to be used to determine the user's location in real time, which will allow providing accurate routes considering the traffic situation.
2. Integration with the Mapping API: The API will provide up-to-date traffic and route data, helping users choose the best paths considering road conditions and congestion.
3. Augmented Reality (AR): AR will be used to display information about road signs and buildings on the device screen, helping drivers navigate the roads. AR will also provide visual cues along the route (such as arrows and pointers), improving navigation quality.



4. Cloud storage and data analysis: it is planned that all data on user movement, route selection and interaction with the system will be uploaded to the cloud storage for subsequent analysis. This will allow you to evaluate the effectiveness of the system by collecting data on user behavior, their preferences in routes and the success of gamification to improve security.

5. Gamification and collection of user interaction data: The system will collect data on user behavior, including compliance with traffic regulations, choosing optimal routes, as well as participation in game mechanics (for example, awarding points for safe driving). This data will be analyzed to assess the impact of gamification on driving quality and safety.

*Planned data collection methods:*

Quantitative methods: it is planned to collect statistics on the use of routes, compliance with traffic regulations, driving time and participation in game mechanics through the application, which will allow a quantitative analysis of user behavior [6]. Qualitative methods: it is planned to conduct interviews and surveys of users to collect qualitative data that will help us to better understand the experience of using the application, the perception of gamification and identify possible improvements in the system. The work process about AR functions shown in Figure 2 below.

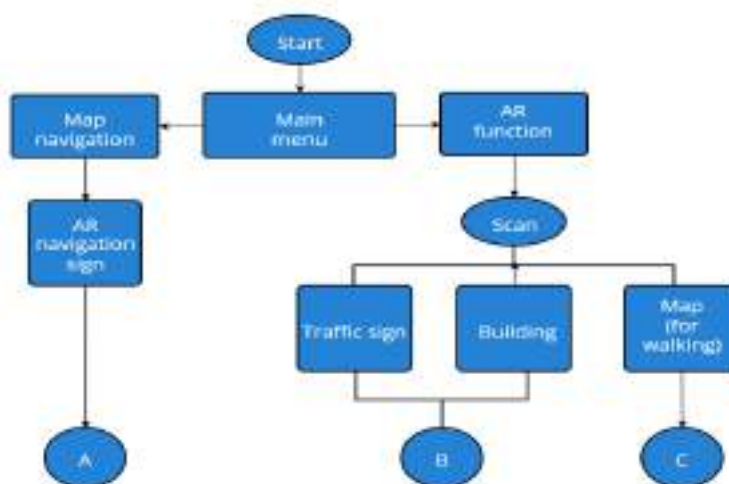


Figure 2. Flowchart for AR navigation system

According to Figure 2, when a user selects the "Map Navigation" option, the application uses a mapping API to load routes and provides real-time information about traffic conditions. This allows the user to follow the optimal route and receive updates about road closures and traffic jams [7].

The map interface shows the direction of travel and any traffic disruptions, functioning similarly to a traditional navigation system but with additional features provided by augmented reality (AR) and cloud-based mapping data. AR functions offer various interactive options such as map navigation, object scanning, and walking navigation, which are explained in more detail in Figure 3. About Map Navigation and AR walking Navigation for pedestrian navigation, they are similar in working process but differ by the use. AR for Map Navigation displays signs for drivers in the map, while AR walking Navigation is focused on the pedestrian navigation by involving extra properties [8].

The option of AR Scanning for Objects allows users to scan markers (such as traffic signs or buildings) using their device's camera. The app then renders the object in augmented reality, displaying additional information from a connected database, like descriptions or images. After viewing, users can return to the previous screen or main menu. Together, these technologies and data collection methods form the foundation for a system that improves traffic flow and promotes safe driving using gamification and Augmented Reality features [9].

*Prototyping and Development Process.* There are different types and styles used for mobile applications. In this case, this app optimizes traffic flow and promotes responsible driving by incorporating two main features such as gamification and Augmented Reality elements.

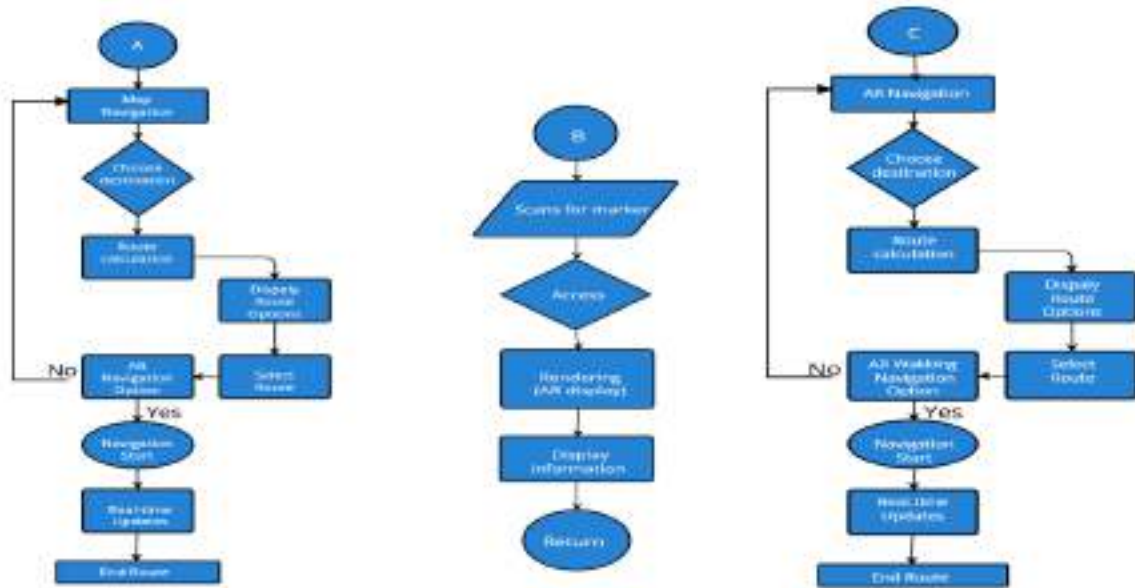


Figure 3. Flowchart for AR functions system

Gamification: The goal of integrating a gamified driving system is to encourage safe driving by motivating users through a game-like experience. Users earn points for following safe driving habits, traffic rules and can exchange these points for prizes or discounts. Additionally, various animations will be presented to help users navigate and stay focused, as shown in Figure 4 below. Each user will have their own animated character that will assist them with navigation and encourage safe driving. By combining fun with education, we aim to create a system that engages drivers and helps them develop better driving habits, ultimately reducing the number of accidents on the road.



Figure 4. The gamification features

1. Augmented Reality: While the integration of the AR system will provide real-time visual guidance (arrows on the road, road signs), it provides convenient navigation tools with augmented reality functions, helping the driver not to be distracted and making the trip livelier without letting the driver get bored on long trips [10]. In addition to map navigation using AR, functions will also be included for road signs and for buildings, as shown in Figure 5 below.

- Augmented Reality Road Signs: Recognizes Road signs and provides additional information.
- AR markers for buildings: Allow the user to point the camera at buildings and get information about them, such as the name or historical data.
- Animated Augmented Reality Character: Pedestrians can use a character to guide them along the route in augmented reality mode.





Figure 5. AR functions in application

To develop this mobile app that includes maps, navigation, Augmented Reality (AR) functions for displaying extra information about traffic signs and buildings, there are used such instruments tools as. The main platform for development of AR – Unity Engine.

- AR Foundation – the built-in Unity library.
- Vuforia-image recognition.
- Google ARCore for Android AR.
- Visual Studio Code IDE.
- Android Studio – to build an application.
- Mapping service – Google Map.
- Datasets for navigation, traffic signs, buildings information, etc.
- Flutter, Dart programming languages.
- PostgreSQL, Postman.

The use of Unity, AR Foundation, Vuforia is significant, because of their popularity and ease of use in the developing AR based system. Furthermore, other tools that also play a crucial role in the development of mobile applications that aim to optimize traffic flow through gamification elements. Ethical considerations. The study was conducted in accordance with ethical principles requiring the informed consent of all participants before data collection [11]. The study has identified several potential limitations that can be eliminated in the future:

Using standard mobile devices

- The current Augmented Reality navigation system was designed to work on conventional mobile devices, which limited the use of more advanced technologies such as smart glasses or Bluetooth beacons. In the future, with the development of technology, it is possible to integrate such solutions, which will improve the accuracy and quality of navigation.

- Lack of personal support.
- During the experiment, users did not receive assistance from the staff, which could cause some difficulties and disruptions in the visiting process. In the future, the use of automated prompts or interactive assistants may solve this problem and improve user convenience.

- Limited applicability of the results.
- Since the study was conducted in the specific context of an outdoor exhibition, its results are difficult to generalize for all types of AR navigation systems. However, with the improvement of augmented reality and GPS technologies, in the future such systems will be able to be adapted to a wider range of conditions.

The development of a mobile application with the integration of Augmented Reality (AR), gamification technologies represent an innovative approach to optimizing traffic and improving driving safety. AR allows you to create interactive elements that make the navigation process more intuitive and convenient. By superimposing virtual hints on the real environment, users can navigate the roads more easily, which minimizes the risk of errors and increases safety. Thus, the application makes navigation more convenient for users and increases road safety. The project is relevant for large cities of Kazakhstan. The introduction of such technologies will help create a safer transport

system [12]. Drivers will be able to easily plan their routes and participate in the game elements of the app, which will make them more involved and responsible on the road.

### Results of the study

Upon starting this application, according to the main goal of this mobile application, there are main, and first page is map, such as navigation page with the menu bar that provide access to other functionalities like play Augmented Reality functions, profile, and chat page, shown in Figure 6. In the top of this map page, there are windows about *What are you going to?* by clicking to this user build road directions from, to address. In addition, on the map page, users can also choose various transport, type to go. As mentioned before, the mobile application for optimizing traffic flow shows variants of routes with the explanation and differences vary them with different colors.



Figure 6. Interfaces of Map Navigation function in mobile app.

To draw the road line for users' destination. There represented only the initial examples about map components. Additionally, in navigation of users this application will display navigation elements in AR form making it easy, and interesting without distracting the user, by supporting to be focused on the road signs and don't get distracted. *The System Architecture* of this application is outlined in the UML class diagram for traffic optimization that incorporates gamification and Augmented Reality (AR), below in Figure 7.

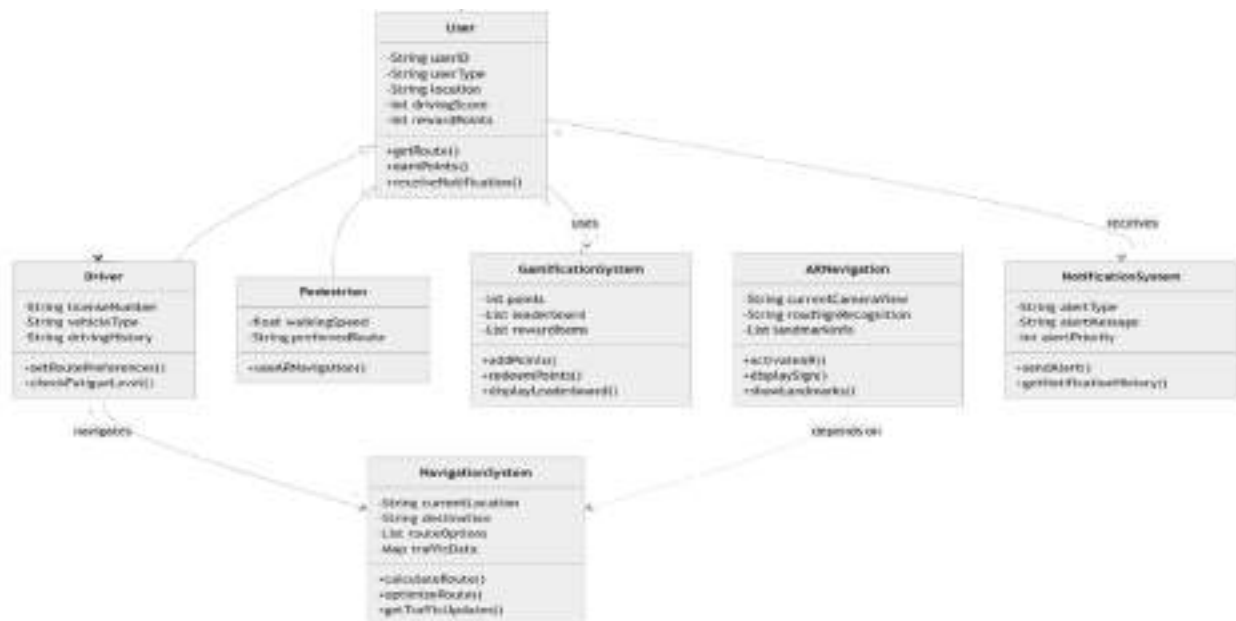


Figure 7. UML class diagram for the application

It defines the main classes that are responsible for the application's features and how they interact, offering a safe and engaging navigation experience through AR, and promoting safe driving. First, there are 7 classes including User class that interacts with other classes such as Driver, Pedestrian, GamificationSystem, ARNavigation, NotificationSystem and NavigationSystem, with appropriate methods of each of them.

All components/classes are demonstrated in this class diagram communicate through a database, ensuring consistency in data. For instance, the main User class contains information about userID, userType, location, drivingScore, rewardPoints with methods getRoute() for drawing road for navigation(destination), earning points by maintaining good behaviour on road, and receiving notification about possible harm or challenges. Users of application receive alert notifications from NotificationSystem class which contain information about alertType, alertMessage, alertPriority and methods for sending alert message and getting notification history. While GamificationSystem class is used by users to earn points, to browse leader board and reward details. In addition, another class called Pedestrian class is displayed there, as mentioned earlier, it uses an animated AR character for a pedestrian using the useARNavigation() method.

On the other hand, Figure 8 shows a diagram of the use cases. The diagram shows how specific actors (player, system, pedestrian) interact with a mobile application for navigation and traffic optimization. The first goal of the mobile app is to motivate users to maintain good driving habits, and in this case, by following the rules and warning messages, users earn points that can be exchanged for other rewards in the future. At the same time, the system displays several options for the best route options from the request of users. While the system displays optimal variants of routes by the request from users. In addition, an actor called pedestrian in diagram, that handles Augmented Reality functions to recognize road signs and buildings, animated character for navigating user while navigating user to their destination by giving directions with AR features.

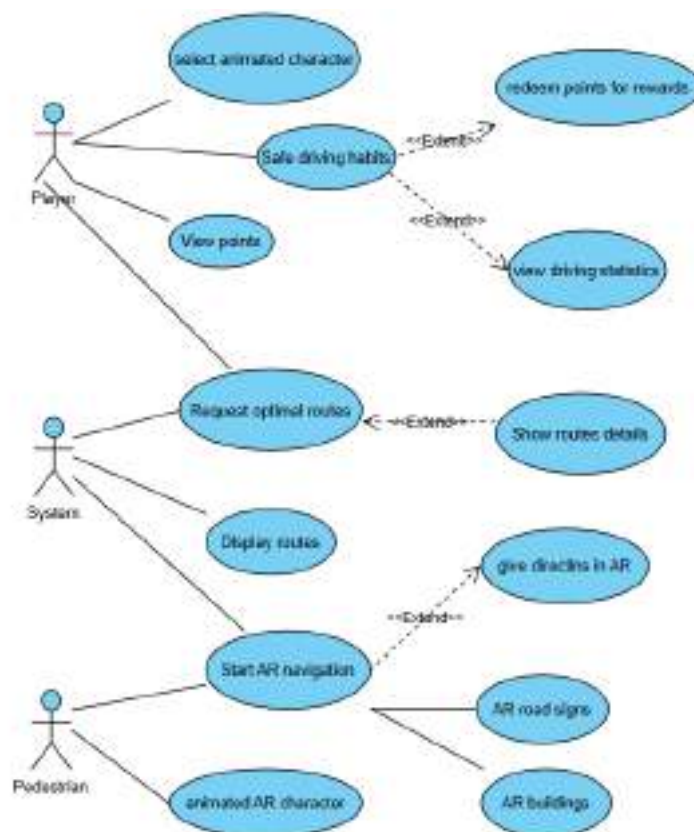


Figure 8. The Use case diagram for a mobile application

The uniqueness of this mobile application lies in the combination of advanced technologies, gamification and augmented reality. Augmented reality (AR) technology plays an important and valuable role in the effectiveness of the application, so here it illustrates a sequence diagram in Figure 9, that displays augmented reality functions in the application according to the interaction of objects such as the User, ARNavigation, map, road signs, recognition of buildings and augmented reality animated character.

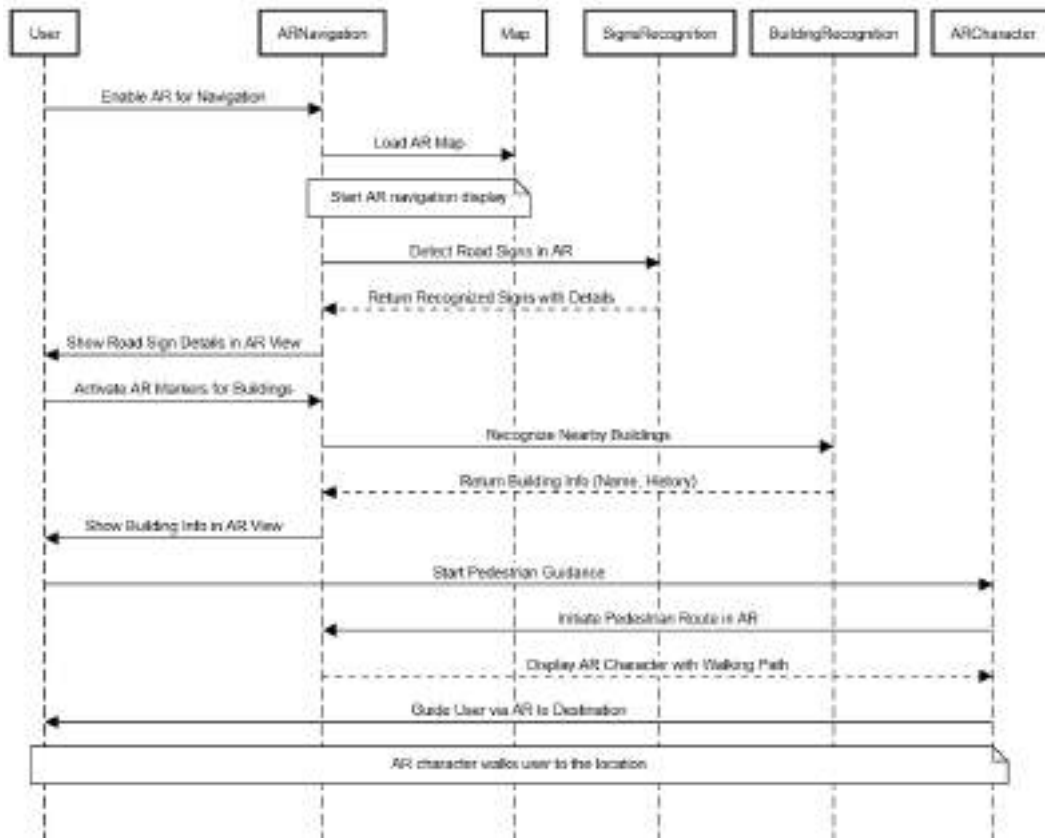


Figure 9. Sequence diagram for AR functionalities

With the camera, users can scan road signs that have been detected and returned with detailed information, and activate AR markers for buildings that recognize and return building information in AR mode in the app. In addition, a sequence of actions is displayed according to an animated AR character who guides the pedestrian to their destination using AR elements. In general, the purpose of this sequence diagram is to show how users use the application and the sequence of functions, how it starts and how it returns a response, displaying augmented reality objects in the application view mode with all the augmented reality functions in the mobile application.

*AR Development and Testing process.* According to the functions relating to AR, as mentioned before, right now we work in Unity Engine to develop the application that uses AR technology. The first task about AR was about the capturing image or marker that after recognizing and displaying necessary information, details. Using the camera of Android phone, we can see that only in case there appeared any image on camera AR is activated and showed little elements saying that it is work and find image. In that case, Unity's AR Tracked Image Manager used to detect when an image from Reference Image Library is recognized by the camera, below, represented the example of this system in Figure 10. Using Unity as the main platform for augmented reality (AR), the application for Android phones is now integrating AR images of road signs and building elements into the mobile app. This allows users to capture these images with their phone's camera and view additional information in a new layer.

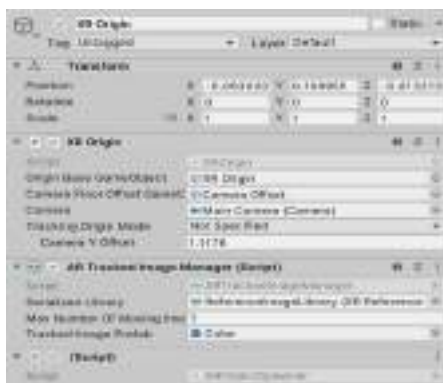


Figure 10. Example of working with Unity's AR Tracked Image Manager

In Figure 11, we see the first test of handling images using the camera. As you can see, the mobile app detects, recognizes, and shows details of the markers.

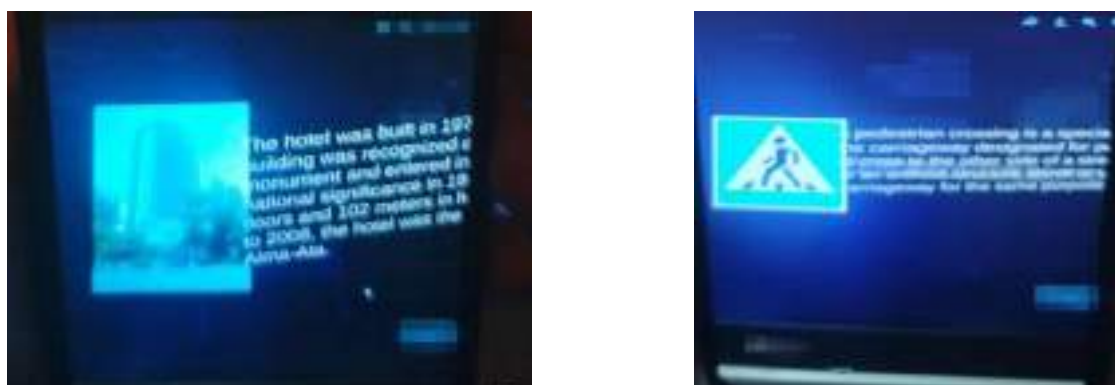


Figure 11. Initial test on AR functions

So, to detect and display these images we used Vuforia and AR Foundation, along with other tools, to capture various elements, such as traffic signs and building information, in our case, there are demonstrated the example of working with AR Tracked Image Manager, as shown in Figure 12.



Figure 12. Example of working with AR Tracked Image Manager.



As you can see, right now our system is in the process of integrating and working in main functions of AR to capture elements by camera of the phone and displaying other extra information in the mobile application by creating new layer that user captured by themselves. Furthermore, there to develop and manage all these AR Foundation libraries in Unity Engine, there used Programming Language as C#, which is the main in Unity Engine Platform. In addition, there are displayed the peace of code implementations on Unity Engine platforms, in Figure 13 below.

```

using UnityEngine;
using UnityEngine.XR.ARFoundation;
using UnityEngine.XR.ARSubsystems;
using System.Collections.Generic;

public class ARObjectSpawner : MonoBehaviour
{
    public ARTrackedImageManager trackedImageManager;
    public GameObject cubePrefab;
    public GameObject spherePrefab;

    private Dictionary<string, GameObject> spawnedObjects = new Dictionary<string, GameObject>();
    void Awake()
    {
        trackedImageManager.TrackedImageChanged += OnTrackedImageChanged;
    }
    void OnDisable()
    {
        trackedImageManager.TrackedImageChanged -= OnTrackedImageChanged;
    }
    void OnTrackedImageChanged(ARTrackedImageChangedEventArgs eventArgs)
    {
        foreach (ARTrackedImage trackedImage in eventArgs.added)
        {
            string imageName = trackedImage.referenceImage.name;

            if (imageName == "DetectSign")
            {
                Debug.Log("Contains");
                SpawnObject(trackedImage, cubePrefab);
            }
            else if (imageName == "StopSign")
            {
                // ...
            }
        }
    }
}

foreach (ARTrackedImage trackedImage in eventArgs.updated)
{
    if (spawnedObjects.ContainsKey(trackedImage.referenceImage.name))
    {
        Debug.Log("Contains");
        spawnedObjects[trackedImage.referenceImage.name].transform.position = trackedImage.transform.position;
    }
}

```

Figure 13. “ARObjectSpawner” code for image recognition.

All these current tests and developments demonstrate how the work process is rapidly progressing and improving towards achieving the goals of the mobile app. Now, this AR function detects images captured by the camera and displays additional information about road signs and buildings. However, we should remember that this is only an initial test, so the interface of the mobile application will become more user-friendly and easier to understand for users, as shown in Figure 7.

Regarding Unity Engine, as previously mentioned, for all aspects of integrating Augmented Reality features, programming language C# will be used, while for implementing other functionalities of the application, we will use platforms such as Android Studio and a significant API for maps.

### Discussion

The development of our mobile application, which combines elements of gamification and augmented reality (AR), offers a new approach to solving problems on the roads, such as traffic jams and dangerous driver behavior. The app motivates drivers to follow safety rules by offering them rewards for proper behavior, and helps improve traffic on the roads. Using augmented reality for navigation makes the driving process easier and more interesting by providing drivers with useful information in real time without distracting them from the road.

How gamification affects driver behavior. Gamification is an important element that affects how drivers behave. Rewards for following traffic rules and responsible behavior increase user motivation. Research shows that gamification helps make everyday tasks more fun, and in our case, it helps

drivers learn and follow safety rules. The points system, ratings and bonuses motivate users to drive safer and increase their engagement.

Augmented Reality to improve navigation. One of the key features of our app is the use of AR to improve navigation. AR adds navigation information directly into the driver's field of view, which helps to be less distracted by the phone or map. The app also recognizes road signs and shows information about buildings and other objects. This turns our app not only into a navigation tool, but also into an assistant for the driver, providing useful data. On the other hand, for mapping, Google APIs will be used to capture maps. This is due to their ease of use and accessibility. There are numerous platforms and systems available for navigation, including those that use AR in their maps, such as Pogo Map. Pokémon Go Map, developed during the popularity of the Pokémon Go game, uses AR only as game components to prevent boredom. While it has more functionality than other platforms in this area, there is also research on Zombies on the Road: a holistic approach to balancing gamification and safe driving. Moreover, in our country, when it comes to navigation tools, most people are familiar with only a few popular apps. All these popular apps focus on providing directions to users.

Data collection and user feedback. We use two methods of data collection: quantitative and qualitative methods. Quantitative data, such as driving habits and route selection, allows you to assess how well the app is working. Qualitative methods such as surveys and interviews help to understand how satisfied users are with the application and what can be improved. This information will help us make the app better based on real user reviews.

Limitations and challenges. Despite the innovativeness of our project, there are some limitations. For example, the capabilities of standard mobile devices may reduce the accuracy of AR functions. There are also challenges related to maintaining user interest and data protection. Since the application collects behavioral data, it is important to ensure high security of users' personal information.

The mobile application, which combines elements of gamification and augmented reality (AR), is an innovative solution aimed at improving the traffic situation and improving driver safety. Gamification helps to increase the motivation of users to follow the rules of the road, making the driving process more responsible and interesting. Augmented reality facilitates navigation by providing useful information in real time without distracting the driver from the road. Despite existing limitations, such as the technical capabilities of mobile devices and the need to ensure data security, our application has significant potential to improve the traffic situation and increase user satisfaction. The quantitative and qualitative data collected will allow us to optimize the operation of the application, focusing on real user feedback.

## **Conclusion**

Our mobile application is an innovative solution aimed at improving road safety and optimizing traffic flows. Combining augmented reality (AR) technologies and gamification, it allows users to learn the rules of the road in an exciting way and apply them in practice. Users receive rewards for following the rules, which contributes to the formation of a culture of safe and responsible driving. At the initial stage of the project, we focused on creating basic functionality, including AR navigation, a traffic sign recognition system and a system for calculating points for correct behavior on the road. The first tests confirmed that the application is able to improve the interaction of drivers with the environment, making trips more convenient and safer. We have also received feedback from users who emphasize the usability and the need for such technologies in real life.

One of the key features of the application is its adaptation to the road conditions of Kazakhstan. We take into account the specifics of the local infrastructure, such as the condition of roads, the presence of signs and the general congestion of the transport network. This allows you to create a tool that not only helps drivers comply with the rules, but also helps to reduce traffic jams and improve the overall transport situation. An important stage of the work was the study of user behavior. The analysis of the data collected during the testing process allowed us to identify areas for further



improvements. For example, we plan to optimize navigation algorithms and expand AR functionality to make the process of interacting with the application even more convenient and intuitive.

Despite the successes achieved, we face challenges to improve user data protection, increase the accuracy of AR modules and integrate additional functions. In the future, we plan to expand the application's capabilities by adding, for example, information about local attractions and services, which will make it useful not only for drivers, but also for tourists. The project demonstrates how modern technologies can become an effective tool for solving urgent transport problems. We are convinced that the developed application will contribute to improving road safety, improving driving culture and developing Kazakhstan's digital infrastructure.

#### References

- [1] Sputnik Казахстан. 2024. "Более 2 тысячи казахстанцев погибают в ДТП каждый год." *Sputnik Казахстан*. July 30, 2024. <https://ru.sputnik.kz/20240730/bolee-2-tysyach-kazakhstantsev-pogibayut-v-dtp-kazhdyy-god---45964039.html>.
- [2] "The High Toll of Traffic Injuries in Central Asia: Unacceptable and Preventable." 2018. *World Bank Blogs*. 2018. <https://blogs.worldbank.org/en/europeandcentralasia/high-toll-of-traffic-injuries-in-central-asia>.
- [3] Goniewicz, K., M. Goniewicz, W. Pawłowski, and P. Fiedor. 2016. "Road Accident Rates: Strategies and Programmes for Improving Road Traffic Safety." *European Journal of Trauma and Emergency Surgery* 42 (4): 433–38. <https://doi.org/10.1007/s00068-015-0544-6>.
- [4] Guo, Yuntao, Srinivas Peeta, Shubham Agrawal, and Irina Bedyk. 2021. "Impacts of Pokémon GO on Route and Mode Choice Decisions: Exploring the Potential for Integrating Augmented Reality, Gamification, and Social Components in Mobile Apps to Influence Travel Decisions." *Transportation* 49 (February). <https://doi.org/10.1007/s11116-021-10181-9>.
- [5] Steinberger, Fabius, Ronald Schroeter, Verena Lindner, Zachary Fitz-Walter, Joshua Hall, and Daniel Johnson. 2015. "Zombies on the Road." *Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, September*. <https://doi.org/10.1145/2799250.2799260>.
- [6] Wang, Wen-Qin. 2016. "Overview of Frequency Diverse Array in Radar and Navigation Applications." *IET Radar, Sonar & Navigation* 10 (6): 1001–12. <https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2015.0464>.
- [7] Aitim, A. and Satybaldiyeva, R. 2024. A systematic review of existing tools to automated processing systems for Kazakh language. *Bulletin of Abai KazNPU. Series of Physical and mathematical sciences*. 87, 3, 106–122. DOI:<https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.87.3.009>.
- [8] Dünser, Andreas, Mark Billingham, James Wen, Ville Lehtinen, and Antti Nurminen. 2012. "Exploring the Use of Handheld AR for Outdoor Navigation." *Computers & Graphics* 36 (8): 1084–95. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2012.10.001>.
- [9] Lee, Cheng-In, Frank-Richard Xiao, and Yun-Wen Hsu. "Using Augmented Reality Technology to Construct a Venue Navigation and Spatial Behavior Analysis System." In *Proceedings of the 5th International Augmented and Virtual Reality Conference*, 161–170. Munich, Germany, June 12–14, 2019.
- [10] Aitim A.K., Satybaldiyeva R.Zh., Wojcik W. The construction of the Kazakh language thesauri in automatic word processing system. *Proceedings of the 6th International Conference on Engineering & MIS*, 2020, pp.1-4.
- [11] Zhao, Yu, Wang, Yanjun, Zhang, Yi, and Huang, Zhiwei. "Research on the Design of Smart City Public Transport Management System Based on IoT Technology." In *Smart City Development: Technologies, Applications, and Solutions*, edited by Xianliang Guo, 213-220. Springer, 2023. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-2347-0\\_20](https://doi.org/10.1007/978-981-19-2347-0_20).
- [12] Kariuki, Patrick, and Melvin Johnson. "Factors Influencing Teachers' Integration of ICT in Teaching and Learning." *Journal of Educational Media in Action* 2, no. 1 (2014): 36-50. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17489725.2014.946975>.

О.А. Ивашук<sup>1</sup>, Б.Е. Ягалиева<sup>2\*</sup>, Д.В. Гончаров<sup>1</sup>,  
О.О. Ивашук<sup>3</sup>, К.К. Макулов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Белгород мемлекеттік ұлттық зерттеу университеті, Белгород қ., Ресей

<sup>2</sup>Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы қ.,  
Қазақстан

<sup>3</sup>Ш. Есенов атындағы Каспий мемлекеттік технологиялар және инжиниринг университеті,  
Ақтау қ., Қазақстан

\*e-mail: [bagdat.yagaliyeva@gmail.com](mailto:bagdat.yagaliyeva@gmail.com)

## ПАРНИКТІК ГАЗДАРДЫҢ ӘСЕРІНЕН АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ДАҚЫЛДАРЫНЫҢ ЖАЙ-КҮЙІНІҢ ДИНАМИКАСЫН ЦИФРЛЫҚ МОНИТОРИНГТЕУ ЖӘНЕ БОЛЖАУ

### Аңдатпа

Ұсынылған зерттеудің мақсаты – зерттелетін аумақтардағы парник газдарының концентрациясының динамикасына байланысты ауыл шаруашылығы өсімдіктерінің жағдайын цифрлық мониторинг жүргізу үшін мамандандырылған модельдер, әдістер және алгоритмдерді қамтитын әдістемелік құралдарды әзірлеу. Интеллектуалды модельдеу, геоинформациялық жүйелер (ГАЗ), 3D және VR технологияларын синтездеу арқылы өсімдік шаруашылығында шешім қабылдайтын тұлғаларды тиімді ақпаратпен қамтамасыз етудің перспективасы негізделді. Бұл тәсіл техногендік және климаттық әсерлердің түрлі деңгейлерінде тиімді болады. Зерттелетін техногендік объектілердің технологиялық параметрлеріне, аумақтың инфрақұрылымдық ерекшеліктеріне және ауа райына байланысты парниктік газдардың жинақталу аймақтарын қалыптастыру үшін объективті себеп-салдарлық байланыстарды көрсететін жасанды нейрондық желілердің (көп қабатты перцептрон және радиалды-базистік функциямен) түрлі құрылымдарын пайдалана отырып, болжамдық нейрондық желілік модельдерді құру нәтижелері ұсынылды және зерттелді. Басым ауыл шаруашылығы дақылдарының кеңістіктік құрылымдары да өсімдіктердің өсуі мен дамуына әсер ететін факторлардың әртүрлі комбинациясы бар өсудің төрт негізгі кезеңіне қатысты құрылды, олардың ең маңыздысы парниктік газдардың шоғырлануы болып табылады. VR/AR технологияларын қолдану негізінде ағымдағы/болжамды жағдайларда нақты аумақ үшін ұтымды мәдениет пен технологиялық картаны таңдау арқылы көрнекі сараптамалық бағалауды қамтамасыз ететін 3D модельдер банкі қалыптасты. Бұл үлгілер кешені аумақты объективті бағалауға және ауыл шаруашылығы дақылдарын дұрыс таңдауға мүмкіндік береді. Цифрлық мониторингі ұйымдастыру және дақылдарды егу жұмыстарын жоспарлау тиімділігін арттыру үшін жоғары өнімділікті қамтамасыз ететін модельдік-алгоритмдік кешеннің прототипі ұсынылды. Дайындалған құралдар кешені кез келген мақсаттағы және әкімшілік иерархия деңгейіндегі аумақтарды бейімдеу зоналауы үшін технологиялар қалыптастыру және цифрлық мониторинг жүйелерін әзірлеу үшін масштабталуы мүмкін. Бұл жалпы алғанда, шешім қабылдауды қолдайтын интеллектуалды жүйелерді құру методологиясының дамуы болып табылады.

**Түйін сөздер:** цифрлық мониторинг және болжау, модельдеу, жасанды нейрондық желілер, виртуалды және қосымша шынайылық, визуализация, парниктік эффект, егін өнімділігі, бейімделу сценарийлерін бағалау.

О.А. Иващук<sup>1</sup>, Б.Е. Ягалиева<sup>2\*</sup>, Д.В. Гончаров<sup>1</sup>, О. О. Иващук<sup>3</sup>, К.К. Макулов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

<sup>2</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева,  
г. Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова,  
г. Актау, Казахстан

## ЦИФРОВОЙ МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ СЕЛЬХОЗКУЛЬТУР ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

### *Аннотация*

Целью представленного исследования является разработка методологического инструментария, включающего специализированные модели, методы и алгоритмы, для осуществления цифрового мониторинга состояния сельскохозяйственных растений с возможностью прогнозирования в условиях динамики концентрации парниковых газов на исследуемых территориях. Обосновывается перспективность синтезированного применения методов интеллектуального моделирования, геоинформационных (ГИС), 3D и VR технологий для формирования эффективного информационного обеспечения лиц, принимающих решения в растениеводстве, при различных уровнях техногенного и климатического воздействия. Представлены и исследованы результаты построения прогностических нейросетевых моделей с использованием различных структур искусственных нейронных сетей (многослойного персептрона и с радиально-базисной функцией активации), которые отражают объективные причинно-следственные связи для формирования зон накопления парниковых газов в зависимости от технологических параметров исследуемых техногенных объектов, особенностей инфраструктуры территории и погодных условий. Также проведено построение пространственных структур приоритетных сельхозкультур относительно четырёх основных этапов произрастания при различных сочетаниях факторов, влияющих на рост и развитие растений, важнейшим из которых является концентрация парниковых газов. Сформирован банк 3D моделей, обеспечивающий на основе применения VR/AR технологий проведение визуализированных экспертных оценок с выбором рациональной культуры и технологической карты на конкретной территории в сложившихся/прогнозируемых условиях. Комплекс данных моделей позволяет провести как объективную оценку территории, так и адекватный выбор сельхозкультур. Предложен прототип модельно-алгоритмического комплекса, который может быть использован для организации цифрового мониторинга и повышения эффективности процесса планирования посевных работ с получением высокой урожайности растений. Разработанный инструментарий может быть масштабирован для формирования технологии и разработки систем цифрового мониторинга в целях адаптационного зонирования территорий любого назначения и уровня административной иерархии, что в целом является развитием методологии построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

**Ключевые слова:** цифровой мониторинг и прогнозирование, моделирование, искусственные нейронные сети, виртуальная и дополненная реальность, визуализация, парниковый эффект, урожайность сельскохозяйственных растений, оценка адаптационных сценариев.

О.А. Иващук<sup>1</sup>, Б.Е. Ягалиева<sup>2\*</sup>, Д.В. Гончаров<sup>1</sup>, О. О. Иващук<sup>3</sup>, К.К. Макулов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

<sup>2</sup>Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup>Caspian State University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov, Aktau, Kazakhstan

## DIGITAL MONITORING AND FORECASTING OF AGRICULTURAL CROP CONDITION DYNAMICS UNDER THE INFLUENCE OF GREENHOUSE GASES

### *Abstract*

The aim of the presented research is to develop a methodological toolkit that includes specialized models, methods, and algorithms for digital monitoring of agricultural plant conditions, with the capability of forecasting under the dynamics of greenhouse gas concentrations in the studied areas. The potential of the synthesized application of intelligent modeling methods, Geographic Information Systems (GIS), 3D, and VR technologies is justified to create effective information support for decision-makers in crop production under various levels of anthropogenic and climatic impacts. The results of constructing predictive neural network models using various structures of artificial neural networks (multi-layer perceptron and radial basis function)

are presented and analyzed. These models reflect objective causal relationships for forming zones of greenhouse gas accumulation based on the technological parameters of the studied anthropogenic objects, features of the area's infrastructure, and weather conditions. Additionally, spatial structures of priority crops have been built concerning four main growth stages under various combinations of factors influencing plant growth and development, the most important of which is greenhouse gas concentration. A bank of 3D models has been created, enabling visualized expert assessments using VR/AR technologies, allowing for the selection of the optimal crop and technological map for specific areas under current or projected conditions. This set of models allows for both an objective assessment of the territory and an adequate choice of agricultural crops. A prototype of a model-algorithmic complex is proposed, which can be used to organize digital monitoring and enhance the efficiency of planning sowing activities to achieve high crop yields. The developed toolkit can be scaled to form technologies and develop digital monitoring systems for adaptive zoning of areas of any purpose and administrative hierarchy level, representing a significant advancement in the methodology of constructing intelligent decision support systems.

**Keywords:** digital monitoring and forecasting, modeling, artificial neural networks, virtual and augmented reality, visualization, greenhouse effect, crop yields, assessment of adaptation scenarios.

### **Негізгі ережелер**

Бұл зерттеу аясында цифрлық мониторинг жүйелерінің ақпараттық қамтамасыз етуі үшін модельдер мен әдістер кешенін әзірлеу міндеті шешілуде. Бұл кешен дәстүрлі ақпараттық жүйелердің деректер жинау және өңдеу функцияларымен қатар, интеллектуалды бағалау, болжау және кеңістіктік-уақыттық талдау функцияларын жаңартуға мүмкіндік береді. Зерттеу аясында ауыл шаруашылығы өндірісі саласы техногендік және климаттық әсерлердің қолданыстағы/болжаған жағдайларында приоритетті ауыл шаруашылығы дақылдарының жағдайын бағалау және болжау, әсіресе парник эффектiсiнiң динамикасында қарастырылуда.

Авторлар зерттелетін аумақтардағы парник газдарының қазіргі және болжаған таралуы мен жиналуын табиғи және техногендік параметрлерге байланысты визуализацияланған бағалау жүргізуге мүмкіндік беретін геоинформациялық жүйелермен (ГАЗ) интеграцияланған нейрондық желілік модельдерді әзірледі. Сондай-ақ, өсімдіктердің өсуі мен дамуын визуализациялау әдісі ұсынылды, бұл жоғарыда аталған факторларға байланысты өсімдік өсуінің орташа параметрлерін таңдауға мүмкіндік береді. Ауыл шаруашылығы өндірісі үшін басым өсімдіктердің төрт өсу кезеңі мен бес даму және өсіру жағдайына қатысты 3D модельдер банкі әзірленді. Мұндай модельдер өсімдік мәдениетінің өмірлік циклінің барлық кезеңдерінде, орта параметрлерінің мәндерінің әртүрлі комбинацияларында және сыртқы әсерлердің белгілі параметрлерінде сапалық күйін визуализацияланған түрде бағалауға, оңтайлы жағдайларды таңдап, сәйкесінше тиімді технологиялық картаны құруға мүмкіндік береді. Цифрлық мониторингтің нәтижесінде өсімдіктерді отырғызу параметрлері бойынша өнімділікті арттыруға ықпал ететін және парник газдарының әсерін төмендетуге бағытталған адаптациялық сценарийлер әзірленеді.

### **Кіріспе**

Көптеген салалардағы тәрізді, ауыл шаруашылығы өндірісінде жұмыс істейтін қазіргі автоматтандырылған ақпараттық жүйелер болжамдау және деректерді интеллектуалды талдау функцияларымен жабдықталуы керек, сондай-ақ, салалық жағдай және аналитикалық орталықтардың негізінде нәтижелерді тұрақты түрде жаңартуды қамтамасыз етуі қажет [1,2]. Айта кету керек техногендік және табиғи объектілер, сондай-ақ олардың өзара әрекеттесу процестері жоғары динамика мен күрделілікпен сипатталады. Бұл салада цифрлық технологияларды пайдалану объективті себеп-салдарлық байланыстарды анықтап, адекватты бағалаулар жасау перспективасын айқындайды. Авторларда жасанды нейрондық желілер мен бұлдыр логика, геоинформациялық жүйелер (ГИС) және 3D моделдеу технологияларын синтездік қолдану негізінде интеллектуалды экологиялық мониторинг жүйелері мен шешім қабылдауды қолдау үшін тиімді ақпараттық қамтамасыз етуді әзірлеу тәжірибесі бар, мысалы [3,4].

Бүгінде қазіргі қоғамның маңызды және кеңінен талқыланатын жаһандық экологиялық мәселелердің бірі – парник эффектісі (ПЭ). Атмосферадағы парник газдарының (ПГ) концентрациясының, әсіресе көмірқышқыл газы  $\text{CO}_2$  деңгейінің өзгеруі маңызды мәнге ие. Бұл ретте, әдетте, жылу сәулесінің тоқтап қалуы мен климаттық өзгерістермен байланысты теріс нәтижелер қарастырылады: температураның көтерілуі, озон қабатының бұзылуы және т.б. [5,6]. Алайда, Ресей, Қазақстан, Польша, Чехия, Германия, Канада және басқа да елдер сияқты тәуекелді егіншілік аймақтарына жататын елдер үшін парник эффектісінің өсімдіктердің фотосинтетикалық белсенділігін арттыруы және топырақ жағдайын жақсартуы сияқты өте маңызды екінші жағы бар [7,8]. Осылайша, бірқатар зерттеулер (мысалы, [9-11]) атмосферадағы  $\text{CO}_2$  концентрациясының жоғарылауы ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігіне оң әсер еткенін көрсетті: барлық түрлер бойынша орташа өнімділік 26%-ға артса, жас өсімдіктердің құрғақ зат мөлшері 40%-ға өскен. Зерттеулер көрсеткендей, жас өсімдіктердің биомассасының дамуы көбінесе  $\text{CO}_2$  деңгейінің жоғары болуына әлдеқайда сезімтал болды:  $\text{CO}_2$  концентрациясы екі есе артқан жағдайда, дәнді дақылдардың өнімділігінің өсуі биомасса өсімінен шамамен екі есе жоғары (36% және 20%).

Ғылыми жарияланымдарды талдау көрсеткендей, қазіргі уақытта парник эффектісінің динамикасында ауыл шаруашылығы аумақтарының параметрлерін объективті түрде бағалауға және ықтимал өнімділікті анықтауға мүмкіндік беретін зерттеулер өте аз. Сонымен қатар, жоғарыда айтылғандай, Бұл ретте, жоғарыда атап өткеніміздей, парник эффектісінің динамикасында биотехносферада жүріп жатқан процестер күрделі болып табылады және әртүрлі гетерогенді деректердің өзгеруімен сипатталады [12,13]. Сәйкес себеп-салдарлық байланыстарды адекватты көрсету үшін ПГ шығу деңгейін, таралу және жинақталу шарттары мен нәтижелерін сандық және кеңістіктік бағалауға, сондай-ақ егін себудің өнімділік тұрғысынан тиімді параметрлерін анықтайтын адаптациялық сценарийлерді қалыптастыру мен бағалауға мүмкіндік беретін модельдер мен алгоритмдер кешенін құру қажет.

ПЭ динамикасында ауыл шаруашылығы дақылдарының дамуын моделдеу нәтижелерін болжау және визуализациялау қоршаған орта факторлары, су ресурстары мен минералдардың қолжетімділігі, фотосинтетикалық белсенділік, техносфераның әсерін интеграциялауға жедел талдау жүргізуге мүмкіндік береді, бұл қымбат және еңбекті көп қажетсінетін дала эксперименттерін өткізбестен жүзеге асырылады. Нейрондық желілерді моделдеу технологияларын, сондай-ақ виртуалды және қосымша шындық технологияларын пайдалану имитациялық ортаны мүмкіндігінше көп параметрлермен құруға мүмкіндік береді. Бұл, өз кезегінде, ауыл шаруашылығы дақылдарының өсуі мен дамуын ғана емес, сонымен қатар олардың өсу ортасын да моделдеуге жол ашады [14].

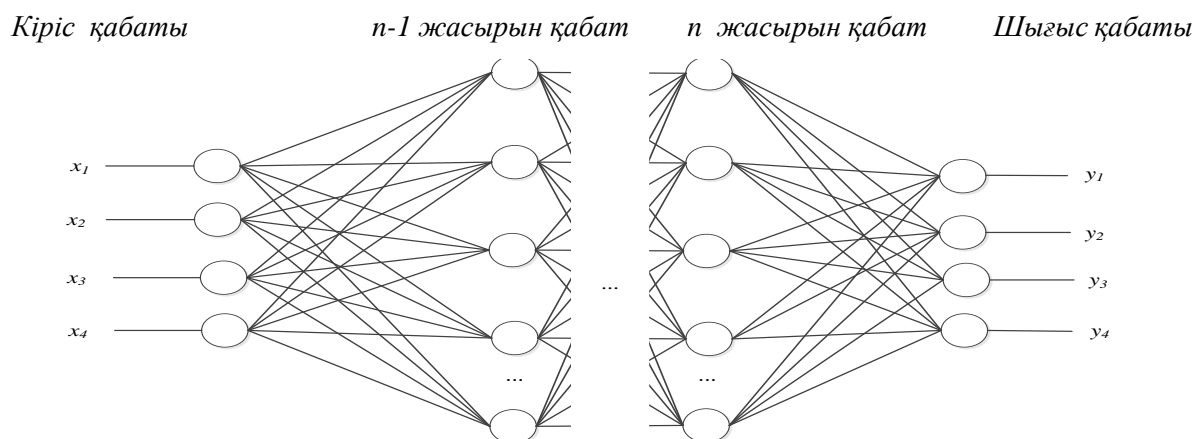
### **Зерттеу әдіснамасы**

Бұл зерттеудің негізгі ғылыми міндеті – цифрлық мониторингтің келесі функцияларын жаңартуға мүмкіндік беретін модельдерді әзірлеу:

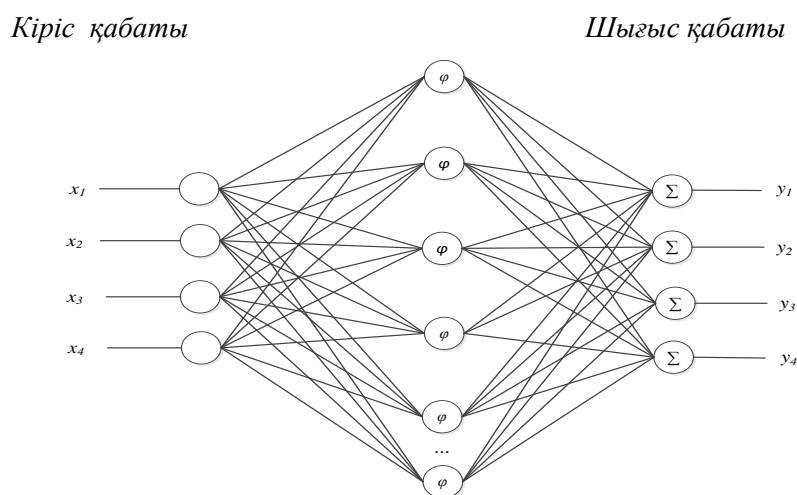
- қарастырылып отырған аумақта атмосферадағы ПГ қазіргі және болжамды деңгейін бағалау;

- ПЭ динамикасында ауыл шаруашылығы дақылдарының өсу процесін моделдеу және фотосинтетикалық белсенділігінің өзгерістерінің нәтижелерін визуализациялау.

Қойылған міндетті орындау үшін авторлар жасанды нейрондық желілер аппаратын (биотехносфераның күй параметрлері арасындағы себеп-салдарлық байланыстарды анықтау үшін, ПГ шығуы, таралуы және жиналуының нәтижелерін анықтайтын) және қосымша шындық құралдарын (зерттелетін аумақтағы ауыл шаруашылығы дақылдарының ықтимал өнімділігінің динамикасын визуализацияланған моделдеу және бағалау үшін, ПЭ әсерінде қалыптасқан сыртқы орта параметрлерін ескере отырып) пайдаланды. Парник газдарының (ПГ) атмосферадағы деңгейін бағалау және болжау моделін әзірлеу үшін келесі нейрондық желі топологиялары таңдалды: көпқабатты перцептрон, құрылымы 1-суретте көрсетілген, және радиалды базистік функциясы бар желі, құрылымы 2-суретте көрсетілген.



Сурет 1. Көпқабатты перцептронның құрылымы



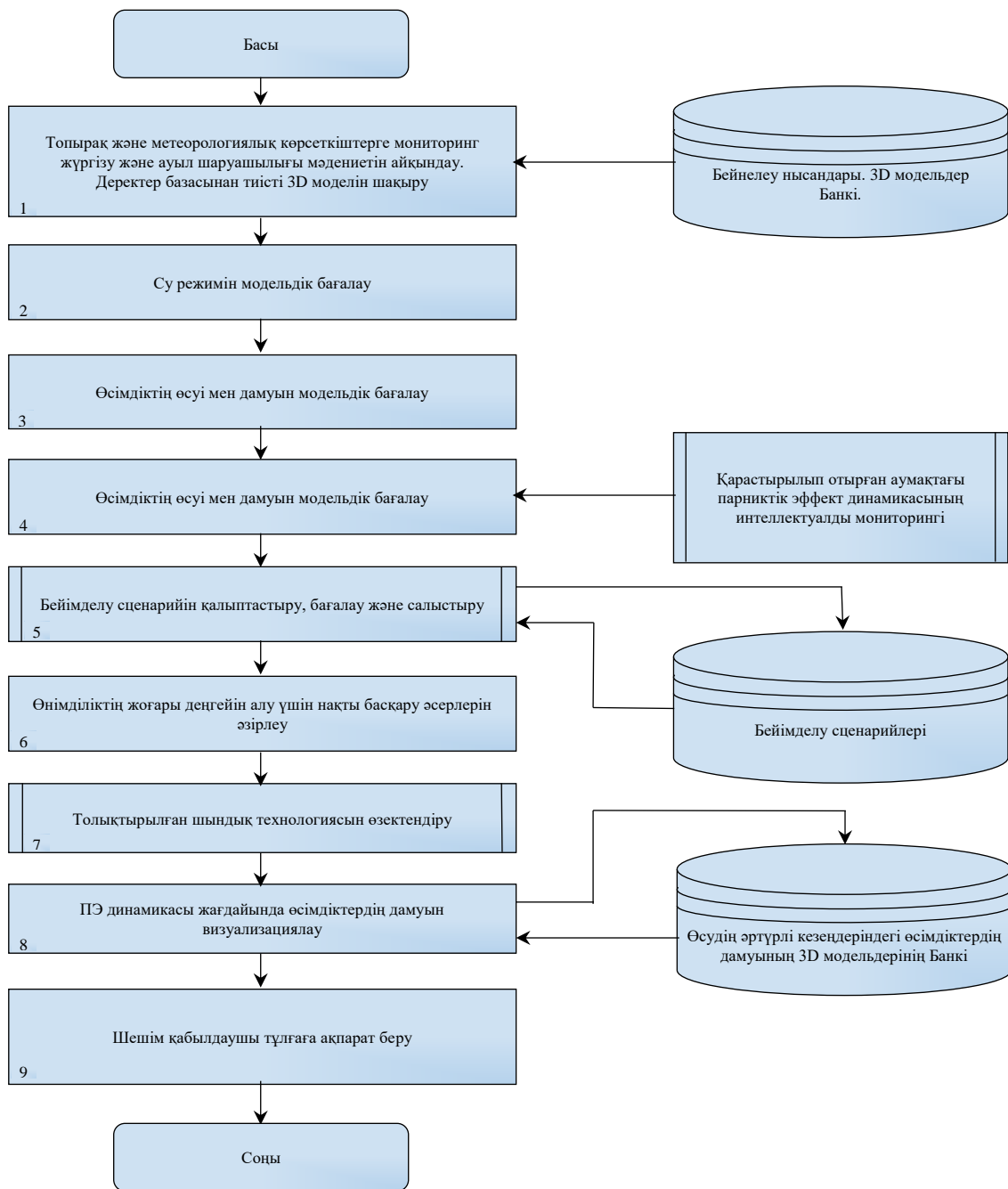
Сурет 2. Радиалды базистік функциясы бар жасанды нейрондық желінің құрылымы

Көпқабатты перцептронның құрылымы келесі элементтерден тұрады.

- кіріс қабаты: Бұл қабатқа кіріс мәндер векторы түседі  $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$ , мұндағы:  $x_1$  - шығарылымдардың көлемдік шығысы ( $m^3/car$ );  $x_2$  – газдың жылдамдығы ( $m/c.$ );  $x_3$  – желдің жылдамдығы ( $m/c$ );  $x_4$  – шығарылым нүктелерінен зерттелетін аумаққа дейінгі қашықтық ( $m$ ). Бұл кіріс қабаты модельдің өңделетін деректерін қабылдайды. Бұл қабат жақын аумақтарда орналасқан стационарлық техногендік көздерден шығарындылардың сипаттамалары туралы ақпаратты қабылдайды;

- жасырын қабаттар, олар сыртқы ортадағы өзара әрекеттестікті көрсетеді және атмосфераның жер бетіндегі қабатында ПГ таралуы мен жинақталу процестерін сипаттайды;

- шығыс қабаты, ол атмосфераның жер бетіндегі қабатындағы ПГ  $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4\}$  векторын береді, мұндағы  $y_1$  – көмірқышқыл газы ( $CO_2$ ),  $y_2$  – метан ( $CH_4$ ),  $y_3$  – озон ( $O_3$ ),  $y_4$  – азот оксиді ( $N_2O$ ). Бұл компоненттердің таңдалуы парник эффектісінің динамикасына әсер ететін негізгі газдар екендігімен түсіндіріледі. Радиалды базистік функциясы бар желінің құрылымы екі нейрондық қабаттан тұрады: Бірінші қабат нейрондар кіріс мәндер векторын өңдейді және әрбір мәннің радиалды базистік функциялардың орталықтарына қаншалықты жақын екенін анықтайды. Шығыс қабат – бұл бірінші қабаттың шығуларынан алынған сызықтық комбинациялар. Содан кейін, ауыл шаруашылығы дақылдарының қазіргі және болжаған өсуі мен дамуын визуализациялау үшін, цифрлық мониторинг шеңберінде жаңартылатын моделдеу алгоритмі ұсынылған, ол 3-суретте көрсетілген.



Сурет 3. Ауыл шаруашылығы дақылдарының өсуін модельдеу және визуализациялау, аумақтың өнімділігін бағалау алгоритмі

Бірінші кезеңде зерттелетін аумақтың техногендік және табиғи құрамдас бөліктерінің параметрлері анықталады, сондай-ақ ауыл шаруашылығы дақылының түрі таңдалады; кейіннен – сәйкес деректер қорынан оның 3D моделі шақырылады. 7, 8 және 9-қадамдарда деректерді кеңейтілген шындық технологиясы негізінде кеңістіктік визуализациялау жүргізіледі, сондай-ақ өсімдіктердің өсуі мен дамуының болжаушы 3D модельдері құрылады. Зерттелетін аумақта ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігі өсімдік пен оны қоршаған орта – атмосфераның жер бетіндегі қабаты мен топырақ арасындағы зат алмасу және энергия алмасу процестерінің интенсивтілігі мен бағытымен анықталады. VR және AR жүйелерін қазіргі салада қолдану ақпаратты көрсету мен шешім қабылдайтын адамның компьютермен өзара әрекеттесуінің жаңа технологиясы болып табылады. Оның енгізілуінің нәтижелері ауыл шаруашылығы аумағын бейімдеу бойынша қабылданған басқару шешімдерін бағалау және



салыстыру үшін тиімді пайдаланылуы мүмкін. Бұл имитациялық эксперимент жүргізу арқылы: ауыл шаруашылығы дақылдарының нақты жағдайларда, көптеген параметрлердің комбинациясы әсерінен, өсуі мен дамуының нәтижесін жедел және көрнекі түрде болжауға; эксперимент өткізу мерзімдерін барынша қысқартуға; материалдық және еңбек ресурстарының шығындарын азайтуға; табиғи ортаға теріс әсерді төмендетуге мүмкіндік береді.

### Зерттеу нәтижелері

Жоғарыда сипатталған топологиялармен эксперименттер жүргізілді, онда жасырын қабаттардың саны, қабаттардағы нейрондардың саны, әртүрлі активация функциялары мен оқу алгоритмдері өзгертілді. MATLAB жүйесінің Neural Network Toolbox пакеті қолданылды. Құрастырылған нейрожелілік модельдердің адекваттығы келесі критерийлер бойынша анықталды: (1) орташа квадраттық қате  $S$ , ол желіні оқыту процесінде минимизацияланады (2) детерминация коэффициенті  $R^2$ , ол қажетті шығудың дисперсиясының үлесін сипаттайды; (3) оқыту және тестілеу топтамаларындағы аппроксимацияның орташа қатесі, бұл құрастырылған модельдің сапасы туралы жалпы түсінік береді.

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{z}_i - z_i \quad (1)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{z}_i - z)^2}{\sum_{i=1}^n (\hat{z}_i - \bar{z}_i)^2} \quad (2)$$

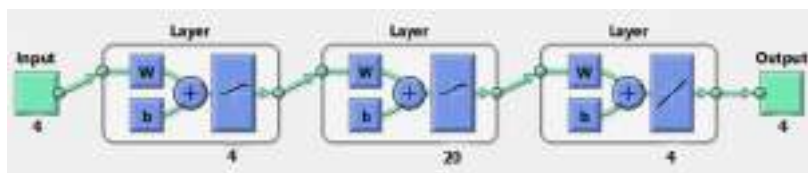
$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\hat{z}_i - z_i}{\hat{z}_i} \right| \quad (3)$$

Құрастырылған модельдердің сапасын бағалау үшін оқыту процесінде қолданылмаған тестілеу топтамалары пайдаланылды. Егер шығу параметрлері үшін аппроксимацияның орташа қатесі 10%-дан аз болса, онда құрастырылған модельдің жақсы болжамдық қабілеттеріне ие екендігі есептелді. 1-кестеде сипаттамаларды таңдау бойынша эксперименттердің нәтижелері берілген, ең жақсы нәтижелер көрсеткен модельдердің параметрлері көрсетілген.

Кесте 1. Аталмыш аумақта ПГ концентрацияларын болжау үшін нейрожелілік модельдің сипаттамаларын таңдау бойынша эксперименттердің нәтижелері

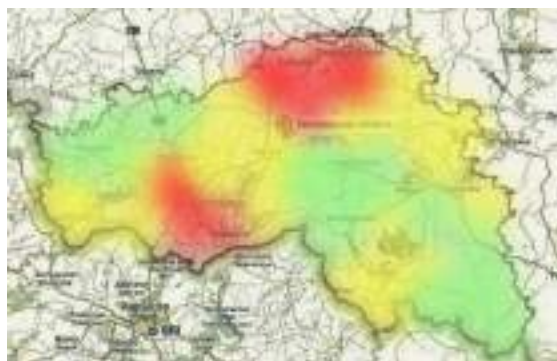
Желі топологиясы	Жасырын қабаттағы нейрондар саны	Функциясы жасырын қабат нейрондарын белсендіру	$S, 10^{-5}$	$R^2, \%$	$\bar{A}_l, \%$	$\bar{A}_t, \%$
RBF	143	Радиалды негіз	0,1	99,89	0,90	3,12
Персептрон	9	Сызықтық	0,18	99,72	0,92	2,36
Персептрон	11	Сызықтық	0,14	99,87	0,77	4,64
Персептрон	15	Сызықтық	0,15	99,82	0,82	4,12
Персептрон	17	Сызықтық	0,19	99,75	0,88	4,18
Персептрон	19	Сызықтық	0,2	99,58	0,92	3,48
Персептрон	8	Сигма тәрізді	0,16	99,88	0,93	2,35
Персептрон	12	Сигма тәрізді	0,12	99,86	0,94	2,44
Персептрон	13	Сигма тәрізді	0,14	99,88	0,97	2,39
Персептрон	20	Сигма тәрізді	0,17	99,85	0,98	2,32

Тестілеу эксперименттері ең жақсы нәтижелерді 2 жасырын қабаты (әрбір қабатта 4 және 20 нейрон) және сигмоида активация функциялары бар көпқабатты персептрон топологиясымен құрастырылған жасанды нейрондық желіде (ЖНЖ) байқалады. Бұл модельдің құрылымы MATLAB жүйесінде 4-суретте көрсетілген.



Сурет 4. MATLAB жүйесінде жүзеге асырылған көпқабатты перцептрон құрылымы

Нейрожелілік модельдеудің нәтижелерін визуализациялау құралдарымен біріктіріп, 5-суретте ПГ шығарындыларының кеңістіктік таралуы жылу картасы түрінде көрсетілген (Белгород облысы, РФ).



Сурет 5. Имитациялық модельдеудің нәтижелері

Алынған деректер негізінде Белгород облысындағы атмосфералық фонның теңгерімсіз құрылымы бар екенін және шығарындылардың максималды концентрациясы шығарындылар көзінің айналасында орналасқанын айтуға болады. Интенсивтілікке байланысты келесі топтарды бөліп көрсетуге болады: максималды, мұнда өнеркәсіп шығарындылары басым; орташа, мұнда көлік шығарындылары басым; төмен, мұнда шығарындылардың минималды көрсеткіштері байқалады. Ауыл шаруашылығы мәдениеттерінің ПГ концентрациясының артуына әртүрлі реакцияларын ескере отырып, өнімділікті арттыру мақсатында қолданылатын ауыспалы егіске өзгерістер енгізу мүмкіндігі пайда болады.

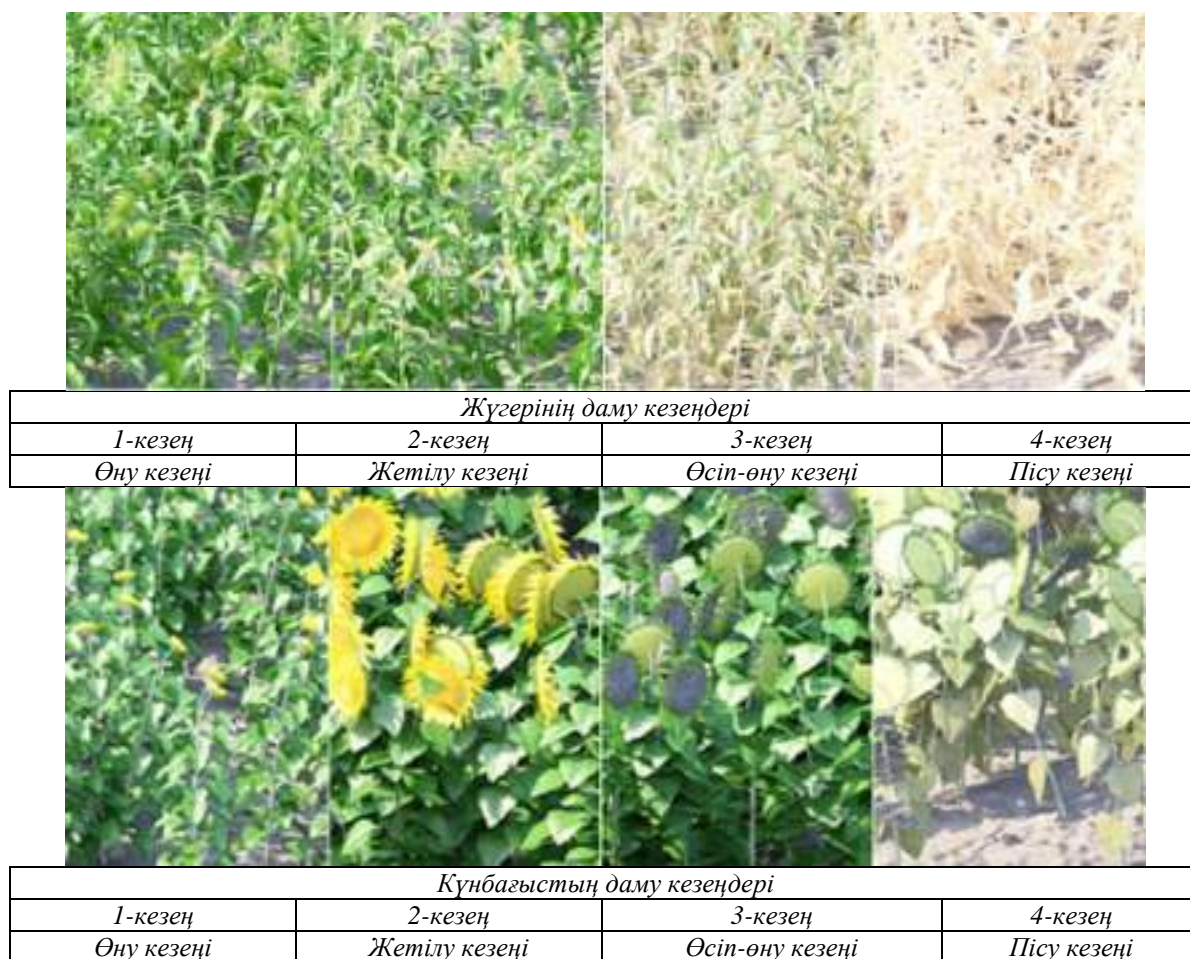
Цифрлық мониторинг аясында және оның негізінде тиімді шешімдер қабылдау үшін қарастырылып отырған аумақтарда өсірілетін (немесе болжанатын) өсімдіктердің сапалық күйін бағалау қажет. Агротехносфераның бар және болжамды мәндеріне ең жоғары реакция көрсететін дақылдарды анықтау мақсатында 3-суретте ұсынылған алгоритм негізінде арнайы құрал-жабдықты әзірлеу мақсатқа сай болады.

Приоритетті ауыл шаруашылығы дақылдарының (бидай, сұлы, арпа, жүгері және т.б.) 3D модельдерінің банкі әзірленді, ол өсімдіктердің өсуі мен дамуына әсер ететін факторлардың әртүрлі комбинацияларында өсіп-өнудің төрт негізгі кезеңіне қатысты ұсынылған. Барлығы 592 модель қамтылған, бұл VR/AR технологияларын пайдалану негізінде өсімдіктердің күйін визуализацияланған сараптамалық бағалауды жүргізуге, нақты аумақта қалыптасқан/болжанған жағдайларда рационалды дақылды және технологиялық картаны таңдауға мүмкіндік береді. Мұндай модельдердің мысалы 6-суретте көрсетілген.



Сурет 6. Ауыл шаруашылығы дақылдарының 3D моделі мысалы

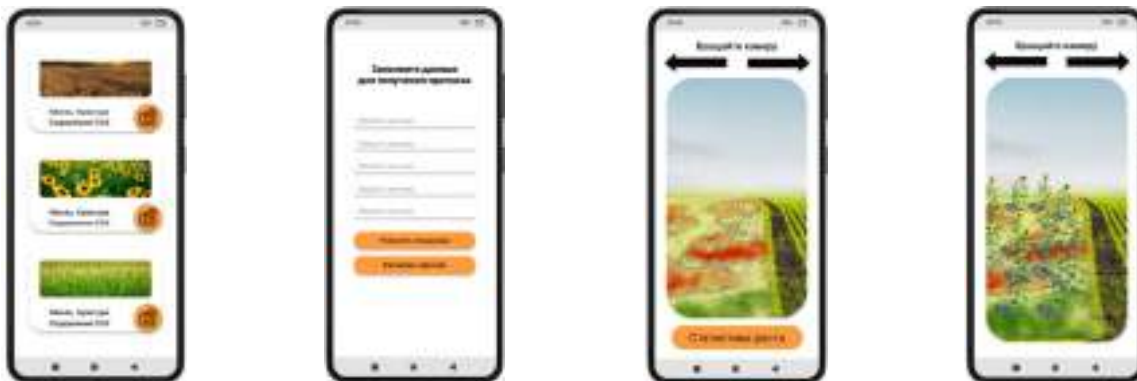
Имитациялық эксперименттер жүргізіліп, өсімдіктердің өсу кезеңдерінің болжамды визуализациясы қолайлы жағдайларда жүзеге асырылды; нәтижелердің мысалы 7-суретте көрсетілген.



Сурет 7. Жүгері мен күнбағыс өсімдіктерінің өсу кезеңдерінің болжамды визуализациясы

Зерттелетін аумақтағы приоритетті ауыл шаруашылығы дақылдарының өсуі мен дамуын цифрлық мониторинг аясында визуализациялау, сондай-ақ ПГ-ның кеңістіктік-уақыттық таралу нәтижелерін визуализациялау үшін мобильді қосымша прототипі жасалды. Өсімдіктердің күйін кеңейтілген шындық объектілері түрінде визуализациялау бағдарламалық іске асыруы геоинформациялық деректерге байланысты динамикалық

параметрлерді пайдаланып, ПГ концентрациясын көрсету және ауыл шаруашылығы мәдениетін визуализациялау үшін арнайы маркерді қолданады. Бағдарламалық шешімді қолдану үшін орналасқан жерді анықтау қажет, бұл көбінесе қазіргі мобильді платформаларда орнатылған GPS қабылдаушысы арқылы жүзеге асырылады. Интерфейстің макеттері 8-суретте көрсетілген.



Сурет 8. Пайдаланушы интерфейсінiң макеттерi

Ұсынылған алгоритмнің бағдарламалық іске асыруы топырақ, метеорологиялық және климаттық көрсеткіштерді ескеруге, олардың талдауы зерттелетін аумақтың өнімділігі туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

### Дискуссия

Парник газдарының концентрациясының динамикасы жағдайында зерттелетін аумақтардағы ауыл шаруашылығы өсімдіктерінің күйін цифрлық мониторингте интеллектуалдық функцияларды жаңарту үшін әдістемелік құрал әзірленді. Бұл әдістеме жасанды нейрондық желілердің мүмкіндіктері мен ГАЖ құралдарын синтездеу негізінде зерттелетін аумақта ПГ-ның кеңістік-уақыттық және құрылымдық визуализацияланған бағалауын және болжамын жүргізуге мүмкіндік береді. Бірнеше модель парадигмалары қарастырылып, олардың адекваттылығы тексерілді. Ең жақсы нәтижелер 4 және 20 нейроннан тұратын екі жасырын қабаты бар көпқабатты перцептрон топологиясымен нейрондық желі көрсеткені анықталды ( $S = 0,17 \cdot 10^{-5}$ ,  $R^2 = 0,9985 \%$ ,  $A_1 = 0,98 \%$ ,  $A_2 = 2,32 \%$ ).

Өсімдіктердің сапалық күйін қазіргі және болашақ жағдайларда визуализацияланған бағалау үшін 3D моделдеу, виртуалды және кеңейтілген шындық технологияларының мүмкіндіктерін әртүрлі кезеңдерде іске асыратын арнайы алгоритм ұсынылды. Приоритетті ауыл шаруашылығы дақылдарының (бидай, сұлы, арпа, жүгері және т.б.) 3D модельдерінің банкі әзірленді, ол өсімдіктердің өсуі мен дамуына әсер ететін адаптациялық сценарийлердің әртүрлі параметрлерінің комбинацияларына қатысты төрт негізгі кезеңде ұсынылған. Бұл VR/AR технологияларын пайдалана отырып, зерттелетін аумақта өсіруге арналған дақылдарды таңдауда визуализацияланған сараптамалық бағалаулар жүргізуге мүмкіндік береді. Бұл құрал-жабдықты пайдалану және адекватты цифрлық мониторинг жүргізу ауыл шаруашылығы кәсіпорындарына техногендік және климаттық факторлардың әсерін ескеруге мүмкіндік береді, сондай-ақ агротехникалық жоспарларды өзгерту бойынша ғылыми негізделген шешімдерді уақтылы қабылдауға көмектеседі. Шешім қабылдайтын тұлғалар зерттелетін аумақта климаттық әсерлерді анықтау және ағымдағы/болжамды мәндер бойынша ауыл шаруашылығы мәдениеттерінің өсуі мен дамуын визуализациялау мүмкіндігіне ие болады. Ұсынылған тәсіл жоғары дәлдіктегі визуализацияланған модельдік бағалауларды, кеңістіктік және құрылымдық талдауды, сондай-ақ сыртқы әсер параметрлерінің динамикасына байланысты жағдайды болжамдауға қажетті ақпараттық қамтамасыз етуді қалыптастыру талап етілетін басқа интердисциплинарлық салаларда цифрлық мониторинг



жүйелерін құру үшін қолданылуы мүмкін. Арнайы атап өтетін жайт, агроэкологиялық зонирлеу сценарийлеріне кіретін биотехносфераның күй параметрлері арасындағы себеп-салдарлық байланыстарды анықтау, сондай-ақ тиісті модельдерді құру мақсатында цифрлық мониторинг пен шешім қабылдауды қолдаудың функцияларын одан әрі дамыту мен кеңейтуді талап етеді. Бұл техногендік және климаттық әсерлердің өнімділікке әсерін бағалау мен болжау, сондай-ақ қажетті көрсеткіштерге жету үшін өзгермелі параметрлердің мәндерін анықтау үшін маңызды.

### Қорытынды

Бұл жұмыста ауыл шаруашылығында ПЭ динамикасы жағдайында интеллектуалды мониторинг жүйелерінің функцияларын ұйымдастыру үшін қазіргі цифрлық технологияларды қолдану қарастырылған. Деректер, модельдер мен алгоритмдерді пайдалану междисциплинарлық зерттеулер жүргізу мүмкіндіктерін кеңейтуге, ауыл шаруашылығы кәсіпорындарының егіс жұмыстарын жетілдіру, жаһандық табиғи-климаттық өзгерістер мен биотехносфераның аймақтық ерекшеліктеріне бейімделу жөніндегі шешімдер қабылдау процесін жетілдіруге мүмкіндік береді. Бұл ғылыми негізделген агроэкологиялық зонирлеу арқылы ауыл шаруашылығы дақылдарының жоғары өнімділігіне қол жеткізуге септігін тигізеді. Құрастырылған модельдер, Дамыған модельдер, әдіс, алгоритм және олардың бағдарламалық іске асыруы аймақтық автоматтандырылған басқару жүйелерінің кеңейтілген функциялары бар подсистемаларын құру және жаңарту үшін, сондай-ақ басқарушы органдар мен мамандандырылған ұйымдар тарапынан табиғи, климаттық және техногендік әсерлердің динамикасын ескере отырып, ғылыми негізделген адаптациялық сценарийлерді қалыптастыру мақсатында пайдаланылуы мүмкін.

### Алғыс

Жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің қолдауымен (АР23489999 гранттық жобасы) орындалды.

#### Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

- [1] Banjanović-Mehmedović L., Mehmedović F. (2020) *Intelligent manufacturing systems driven by artificial intelligence in industry 4.0. Handbook of Research on Integrating Industry 4.0 in Business and Manufacturing.* – IGI global., 31-52. DOI: [10.4018/978-1-7998-2725-2.ch002](https://doi.org/10.4018/978-1-7998-2725-2.ch002)
- [2] Jha K. et al. (2019) *A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. Artificial Intelligence in Agriculture, T. 2, 1-12.* <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2019.05.004>
- [3] Ivashchuk O. et al. (2024) *Neural network methods for the detection of farm animals in dense dynamic groups on images. Applied Mathematics and Information Sciences, 18(2), 241-249.* [doi:10.18576/amis/180204](https://doi.org/10.18576/amis/180204)
- [4] Ivashchuk O.A. et al. (2023) *Creation and study of 3D models for digital plant phenotyping. Scientific and Technical Information Processing, T. 50(5), 422-429.* <https://www.springerprofessional.de/en/creation-and-study-of-3d-models-for-digital-plant-phenotyping/26822534>
- [5] Sweileh, W.M. (2020) *Bibliometric analysis of peer-reviewed literature on food security in the context of climate change from 1980 to 2019. Agriculture & Food Security, 9, 11.* <https://doi.org/10.1186/s40066-020-00266-6>
- [6] Muluneh M.G. (2021) *Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective a review article. Agriculture & Food Security, 10, 36.* <https://doi.org/10.1186/s40066-021-00318-5>
- [7] Beddington, J.R. et al. (2012) *The role for scientists in tackling food insecurity and climate change. Agric & Food Secur., 1, 10.* <https://doi.org/10.1186/2048-7010-1-10>
- [8] Steenwerth, K.L. et al. (2014) *Climate-smart agriculture global research agenda: scientific basis for action. Agriculture & Food Security, 3, 11.* <https://doi.org/10.1186/2048-7010-3-11>
- [9] Павлова В. Н., Сиротенко О. Д. *Наблюдаемые изменения климата и динамика продуктивности сельского хозяйства России // Труды Главной геофизической обсерватории им. АИ Воейкова. 2012, 565, 132-151.* <https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/klim-riski-2017.pdf>

[10] Прядкина Г.А. Пигменты, эффективность фотосинтеза и продуктивность пшеницы // Plant varieties studying and protection. 2018, 14, 1. <https://cyberleninka.ru/article/n/pigmenty-effektivnost-fotosinteza-i-produktivnost-pshenitsy/viewer>

[11] Cohn, A.S. et al. (2017) Smallholder agriculture and climate change. Annual Review of Environment and Resources, 347-375. <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-environ-102016-060946>

[12] Harvey C.A. et al. (2018) Climate change impacts and adaptation among smallholder farmers in Central America. Agriculture & Food Security, 7(1), 1-20. <https://agricultureandfoodsecurity.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40066-018-0209-x>

[13] Yue Q. (2017) Mitigating greenhouse gas emissions in agriculture: From farm production to food consumption. Journal of Cleaner Production, 149, 1011-1019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.172>

[14] Бережной В.А. Разработка метода сегментации 3D моделей вегетативной части побега // Научно-технический вестник Поволжья. 2021, 5, 30-34. <https://www.ntvprt.ru/ru/archive-vypuskov>

#### References

[1] Banjanović-Mehmedović L., Mehmedović F. (2020) Intelligent manufacturing systems driven by artificial intelligence in industry 4.0. Handbook of Research on Integrating Industry 4.0 in Business and Manufacturing. IGI global., 31-52. DOI: [10.4018/978-1-7998-2725-2.ch002](https://doi.org/10.4018/978-1-7998-2725-2.ch002)

[2] Jha K. et al. (2019) A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. Artificial Intelligence in Agriculture, T. 2, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2019.05.004>

[3] Ivashchuk O. et al. (2024) Neural network methods for the detection of farm animals in dense dynamic groups on images. Applied Mathematics and Information Sciences, 18(2), 241-249. [doi:10.18576/amis/180204](https://doi.org/10.18576/amis/180204)

[4] Ivashchuk O.A. et al. (2023) Creation and study of 3D models for digital plant phenotyping. Scientific and Technical Information Processing, T. 50(5), 422-429. <https://www.springerprofessional.de/en/creation-and-study-of-3d-models-for-digital-plant-phenotyping/26822534>

[5] Sweileh, W.M. (2020) Bibliometric analysis of peer-reviewed literature on food security in the context of climate change from 1980 to 2019. Agriculture & Food Security, 9, 11. <https://doi.org/10.1186/s40066-020-00266-6>

[6] Muluneh M.G. (2021) Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective a review article. Agriculture & Food Security, 10, 36. <https://doi.org/10.1186/s40066-021-00318-5>

[7] Beddington, J.R. et al. (2012) The role for scientists in tackling food insecurity and climate change. Agric & Food Secur., 1, 10. <https://doi.org/10.1186/2048-7010-1-10>

[8] Steenwerth, K.L. et al. (2014) Climate-smart agriculture global research agenda: scientific basis for action. Agriculture & Food Security, 3, 11. <https://doi.org/10.1186/2048-7010-3-11>

[9] Pavlova V. N., Sirotenko O. D. (2012) Nabljudаемые изменения климата и динамика продуктивности сельского хозяйства России [Observed climate changes and dynamics of agricultural productivity in Russia]. Trudy Glavnoj geofizicheskoy observatorii im. AI Voejkova, 565, 132-151. <https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/klim-riski-2017.pdf>

[10]. Prjadkina G.A. (2018) Pigmenty, jeffektivnost' fotosinteza i produktivnost' pshenicy [Pigments, photosynthetic efficiency and productivity of wheat]. Plant varieties studying and protection, 14, 1. <https://cyberleninka.ru/article/n/pigmenty-effektivnost-fotosinteza-i-produktivnost-pshenitsy/viewer>

[11] Cohn, A.S. et al. (2017) Smallholder agriculture and climate change. Annual Review of Environment and Resources, 347-375. <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-environ-102016-060946>

[12] Harvey C.A. et al. (2018) Climate change impacts and adaptation among smallholder farmers in Central America. Agriculture & Food Security, 7(1), 1-20. <https://agricultureandfoodsecurity.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40066-018-0209-x>

[13] Yue Q. (2017) Mitigating greenhouse gas emissions in agriculture: From farm production to food consumption. Journal of Cleaner Production, 149, 1011-1019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.172>

[14] Berezhnoj V.A. (2021) Razrabotka metoda segmentacii 3D modelej vegetativnoj chasti pobega [Development of a method for segmentation of 3D models of the vegetative part of a shoot]. Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja, 5, 30-34. <https://www.ntvprt.ru/ru/archive-vypuskov>

Ж.Н. Оразбеков<sup>1</sup>, Ө.М. Мүсілім<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Абай атындағы қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

\*e-mail: [omirzak.musilim@mail.ru](mailto:omirzak.musilim@mail.ru)

## УНИВЕРСИТЕТТИҢ КОРПОРАТИВТИ ПОРТАЛЫНЫҢ АРАЛАС ДЕРЕКТЕР АҒЫНЫН БАСҚАРУҒА БЕЙІМДЕЛГЕН БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ҚҰРУ

### Аңдатпа

Бұл мақалада университеттің корпоративтік деректер қорын басқару жүйесін құрудың маңыздылығы мен қажеттілігі талқыланады. Мәліметтер қорын басқару білім беру үдерістерінің, әкімшілік қызметтің және стратегиялық шешімдер қабылдаудың тиімділігіне әсер ететін заманауи университет менеджментінің маңызды аспектісі болып табылады. Мақалада университеттің деректер қорын басқарудағы бар мәселелерді қысқартудың және осы мәселелерді шеше алатын корпоративтік жүйе тұжырымдамасын ұсынады. Мұндай жүйені әзірлеу үшін әртүрлі деректер ағындарын араластыру кезінде, корпоративтік жүйенің динамикалық ағындарын өңдейтін оңтайлы алгоритмі құрылды. Құрылған алгоритмді қолданыстағы алгоритмдермен салыстыру жүргізілді. Нәтижесінде құрылған алгоритмнің деректерді басқаруда уақытты тиімді пайдаланатындығы анықталды. Бұл жұмыс білім беру саласында аралас деректер ағынын басқаруды автоматтандыруға ықпал етеді. Бұл өз кезегінде пайдаланушының уақытын үнемдеп, жылдам әрі нақты жауап алуына көмегін тигізеді.

**Түйін сөздер:** деректер қоры, алгоритм, автоматтандыру, өңдеу.

Ж.Н. Оразбеков<sup>1</sup>, О.М. Мусилим<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский Национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан  
**РАЗРАБОТКА КОРПОРАТИВНОГО ПОРТАЛА УНИВЕРСИТЕТА, АДАПТИРОВАННОГО ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СМЕШАННОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ ДАННЫХ**

### Аннотация

В данной статье рассматривается важность и необходимость системы кооперативного управления университета. Информационный менеджмент является важным аспектом современного управления университетом, который приводит к эффективности образовательного процесса, административной службы и принятия стратегических решений. В статье предлагается концепция кооперативной системы, которая способна решить основные проблемы вуза и решить проблему. Для моделирования такой системы при смешивании различных потоков данных был создан оптимальный алгоритм обработки динамических потоков корпоративной системы. Созданный алгоритм сравнивался с существующими алгоритмами. В результате было определено, что созданный алгоритм эффективно использует время при управлении данными. Данная работа способствует автоматизации управления смешанными потоками данных в сфере образования. Это, в свою очередь, помогает пользователю экономить время и получить быстрый и точный ответ.

**Ключевые слова:** база данных, алгоритм, автоматизация, обработка.

ZH.N. Orazbekov<sup>1</sup>, O.M. Mussilim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan  
**DEVELOPMENT OF A UNIVERSITY CORPORATE PORTAL ADAPTED FOR MANAGING A MIXED DATA FLOW MANAGEMENT SYSTEM**

### Abstract

This article discusses the importance and necessity of a cooperative university management system. Information management is an important aspect of modern university management, which leads to the effectiveness of the educational process, administrative service and strategic decision-making. The article proposes a concept of a cooperative system that can solve the main problems of the university and solve the problem. To model such a system when mixing different data flows, an optimal algorithm for processing



dynamic flows of the corporate system was created. The created algorithm was compared with existing algorithms. As a result, it was determined that the created algorithm effectively uses time when managing data. This work contributes to the automation of mixed data flow management in the field of education. This, in turn, helps the user save time and get a quick and accurate answer.

**Keywords:** database, algorithm, automation, processing.

### **Негізгі ережелер**

Бұл зерттеудің негізі идеясы – тиімді ақпаратты басқаруды қамтамасыз ететін және шешім қабылдау үдерісін жеделдететін университет үшін корпоративтік деректер қорын басқару жүйесін құру қажеттілігін негіздеу. AnyLogic модельдеу ортасы университет деректерін басқару үшін икемді және масштабталатын архитектураны қамтамасыз ете отырып, осы жүйені әзірлеу және сынау үшін пайдаланылады. Зерттеу мақсаттарына қол жеткізу үшін университеттің деректер қорын басқару бойынша қолданыстағы шешімдерге талдау жүргізілді. Университетте корпоративтік деректер қорын басқару жүйесін құру, білім беру мен басқару сапасын арттыру жолындағы маңызды қадам болып табылатынын атап көрсетуге негізделген. AnyLogic ортасында жасалған жүйе деректерді басқару тиімділігін айтарлықтай арттыра отырып, студенттер мен мұғалімдер үшін ақпараттың қолжетімділігін қамтамасыз етіп басқару шешімдерін қабылдауды жеңілдетеді.

### **Кіріспе**

Университеттердегі ақпараттың көптігі және олардың өңделіп тиісті орындарға жеткізілуі қазіргі таңдағы университет әкімшілігімен жүйе құрастырушыларының үлкен проблемасы болып табылады. Уақытты тиімді пайдалану және жүйе жұмысын оңтайландыру мақсатында университеттің корпоративтік деректер қорын басқарудың автоматтандырылған жүйесін құру тиімді болып табылады. Бұл өз кезегінде тұтынушылар үшін ең бағалы уақытты үнемдеуге және сапалы қызмет сапасын көрсетуге көмегін тигізеді.

### **Зерттеудің әдіснамасы**

Зерттеу Алматы қаласында жүргізілді. Университеттердің корпоративтік деректер қорының ақпаратты автоматты түрде өңдеудің тиімділігін айқындау мақсатында Any Logic ортасында арнайы макет құрастырылып, онда университеттің деректер қорының жұмысын имитациялайтын шағын модель құрылды. Құрылған жүйе құрастырылған алгоритмнің тиімділігіне көз жеткізуге және тиімділігін нақты сандармен дәлелдеуге мүмкіндік береді.

Бөлінген ақпаратты өңдеуді басқарудың автоматтандырылған жүйесін қажет ететін бірнеше себептер бар. Солардың бірі деректер көлемінің ұлғайуы. Қазіргі университеттердегі деректер көлемі күрт өсті. Бұл студенттер, оқытушылар мен ғылыми жобалар санының артуы, білім беруде цифрлық технологиялардың кеңінен қолданылуымен байланысты. Деректерді басқарудың автоматтандырылған жүйесін құру үлкен көлемдегі деректерді жинау, өңдеу және сақтау процесін жеңілдетуге және оңтайландыруға көмектеседі.

Деректерге жылдам қол жеткізу қажеттілігі: университет ортасы оқыту, зерттеу, қаржы және ресурстарды басқару сияқты әртүрлі салаларда маңызды шешімдер қабылдау үшін деректерге жылдам қол жеткізуді талап етеді. Деректерді басқарудың автоматтандырылған жүйесін құру дұрыс деректерге жылдам қол жеткізуге және шешім қабылдау процесін жылдамдатуға мүмкіндік береді.

#### *Зерттеудің мақсаты мен міндеттері*

Жұмыстың мақсаты - университеттің корпоративтік деректер қорын басқару жүйесін құрудың қажеттілігін анықтап, деректер қорының мәліметтерді өңдеудегі қиындықтарын анықтап оның шешу жолдарын ұсыну. AnyLogic ортасында моделін әзірлеу.

Қазіргі таңда университеттерде ақпаратты өңдеу барысында төмендегідей қиындықтар туындайды:

- Деректердің үлкен көлемі: университетте өңделетін деректер көлемі өте үлкен болуы мүмкін. Бұл деректерді жинау, сақтау және өңдеу процесінде қиындықтар тудыруы мүмкін. Ол үлкен көлемдегі мәліметтерді тиімді өңдеуді қамтамасыз ете алатын арнайы технологиялар мен бағдарламалық құралдарды қолдануды талап етеді.

- Деректерді дұрыс сақтау: Бөлінген ақпаратты өңдеуді басқарудың негізгі аспектілерінің бірі деректерді сақтау болып табылады. Деректерді дұрыс сақтамау деректердің жоғалуына, ақпарат қауіпсіздігі мен құпиялылығының бұзылуына және деректерге қол жеткізу уақытының ұлғаюына әкелуі мүмкін. Қауіпсіздік пен тиімділікті қамтамасыз ету үшін деректерді сақтаудың дұрыс құрылымы мен әдістерін қолдану қажет.

- Деректерге қол жеткізу проблемалары: Деректерге қол жеткізу шектеулі болуы мүмкін немесе пайдаланушы үшін ыңғайсыз болуы мүмкін, бұл деректерді өңдеу кезінде қиындықтар туғызады. Құпия деректерге қол жеткізу қауіпсіздігі мәселелері де туындауы мүмкін. Пайдаланушылар үшін деректерге тиімді және қауіпсіз қол жеткізуді қамтамасыз ету маңызды.

- Желіні басқарудағы қиындықтар: Желілік технологиялар университетте таратылған ақпаратты өңдеуде де маңызды рөл атқарады. Қауіпсіздік мәселелері сияқты желіні басқарудағы мәселелер деректерді өңдеуде қиындықтар тудыруы мүмкін. Желілерді қауіпсіз және тиімді сақтау үшін дұрыс құралдар мен технологияларды пайдалану маңызды.

Ақпаратты өңдеудің автоматтандырылған басқару жүйесін құру қажет, өйткені қазіргі университеттік орта күрделене түсті және деректерді тиімді басқаруды талап етеді.

Деректер қауіпсіздігін жақсарту: университет ортасындағы деректер көлемі артқан сайын деректердің жоғалу немесе ұрлану қаупі де артады. Деректерді басқарудың автоматтандырылған жүйесін құру деректердің қауіпсіздігін жақсартады және оларды рұқсатсыз кіруден қорғайды.

Жұмыс тиімділігін арттыру: Деректерді басқарудың автоматтандырылған жүйесі деректермен жұмыс істеу процестерін жеңілдетуге және деректерді өңдеуге кететін уақытты оңтайландыруға мүмкіндік береді. Бұл мұғалімдердің, ғылыми қызметкерлердің және жалпы әкімшіліктің жұмысының тиімділігін арттырады [1].

Білім сапасын арттыру: Деректерді басқарудың автоматтандырылған жүйесін құру білім сапасын арттыруға көмектеседі [2]. Деректерді дәлірек және уақтылы өңдеу білім беру және ғылыми-зерттеу саласында анағұрлым негізделген шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді, бұл түптеп келгенде университеттегі білім сапасын арттыруға мүмкіндік береді.

Осы мәселелерді ешу үшін бізге ең алдымен тиімді жұмыс жасайтын алгоритмдер керек. Алгоритмдер – белгілі бір мәселені шешу үшін орындалатын әрекеттер тізбегі. Алгоритмдер мәліметтерді өңдеумен және олардың негізінде шешім қабылдаумен байланысты процестерді автоматтандыруға және жеңілдетуге мүмкіндік береді [3]. Мысалы, университеттің корпоративтік деректер қорын басқару контекстінде ақпаратты сақтау, іздеу және өңдеу процесін оңтайландыру үшін алгоритмдерді қолдануға болады, бұл өз кезегінде шешім қабылдауды тездетеді және басқару сапасын арттырады. Қазіргі таңдағы университеттердің деректер қорын басқаруда қолданылатын бірнеше алгоритмдерге талдау жасайық. (Кесте №1)

Осы алгоритмдердің жұмыс жасау принциптерін салыстыра келе ең тиімдісі Dijkstra (Дейкстра) алгоритміне тоқтадық. Университеттің деректер қорын өңдеудің автоматты жүйесін құруда Дейкстар алгоритмін төмендегі көрсетілген 1 сурет бойынша пайдалану тиімді болып келеді [4]. Алгоритм барлық нүктелерге жеткенде немесе барлық нүктелерге шексіз қашықтыққа ие болғанда (яғни бастапқы шыңнан жету мүмкін емес) аяқталады.

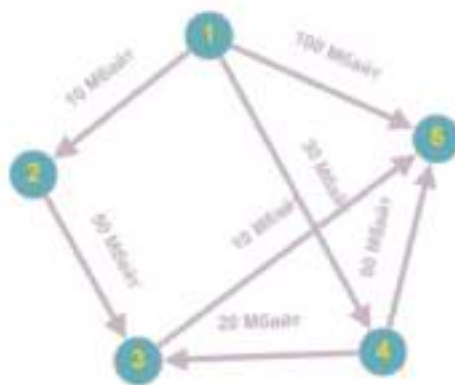
Дейкстра алгоритмі ашкөз алгоритм болып табылады, себебі ол әрбір қадамда бастапқы шыңнан ең аз ағымдағы қашықтығы бар шыңды таңдайды [5]. Ол барлық жиектер салмақтары теріс емес болса ғана жақсы жұмыс істейді. Егер салмақтар теріс болуы мүмкін болса, онда Беллман-Форд алгоритмі қолайлырақ алгоритмге айналады [6].

Кесте №1. Деректер қорымен жұмыс жасауға арналған алгоритмдерді салыстыру

Алгоритм	Сипаттама	Артықшылықтары	Кемшіліктер
A Алгоритмі	Графикте оңтайлы жолды табу алгоритмі	Оңтайлы шешімдер және жұмыстың жоғары жылдамдығы	Күрделі басқару жүйелеріне қолдану шектеулі
BFS алгоритмі	Графикте кеңдік бірінші іздеу алгоритмі	Іске асырудың қарапайымдылығы және жақсы өнімділік	Үлкен графиктерге қолдану шектелген
DFS алгоритмі	Графиктегі бірінші тереңдік іздеу алгоритмі	Іске асырудың қарапайымдылығы және графиктің барлық шыңдарын айналып өту мүмкіндігі	Детерминизм және циклдің мүмкіндігі
Dijkstra алгоритмі	Графиктегі ең қысқа жолдарды табу алгоритмі	Ең қысқа жол кепілдігі және жоғары өнімділік	Теріс мәнге ие болғанда тиімсіздік
K-means Алгоритмі	Деректерді кластерлеу алгоритмі	Деректерді талдау және жіктеуді жеңілдету	Белгілі бір деректер түрлеріне қолдану шектелген
Генетикалық бағдарламалау алгоритмі	Бағдарлама кодын оңтайландыру алгоритмі	Оңтайландыру процесін автоматтандыру және өнімділікті жақсарту	Бағдарлама кодынның белгілі бір түрлерімен шектелген
Кросс-энтропия әдісінің алгоритмі	Біқтималды модельді қолдану арқылы функцияларды оңтайландыру алгоритмі	Іске асырудың қарапайымдылығы және тез конвергенция	Функциялардың белгілі бір түрлерін қолдануда шектелген

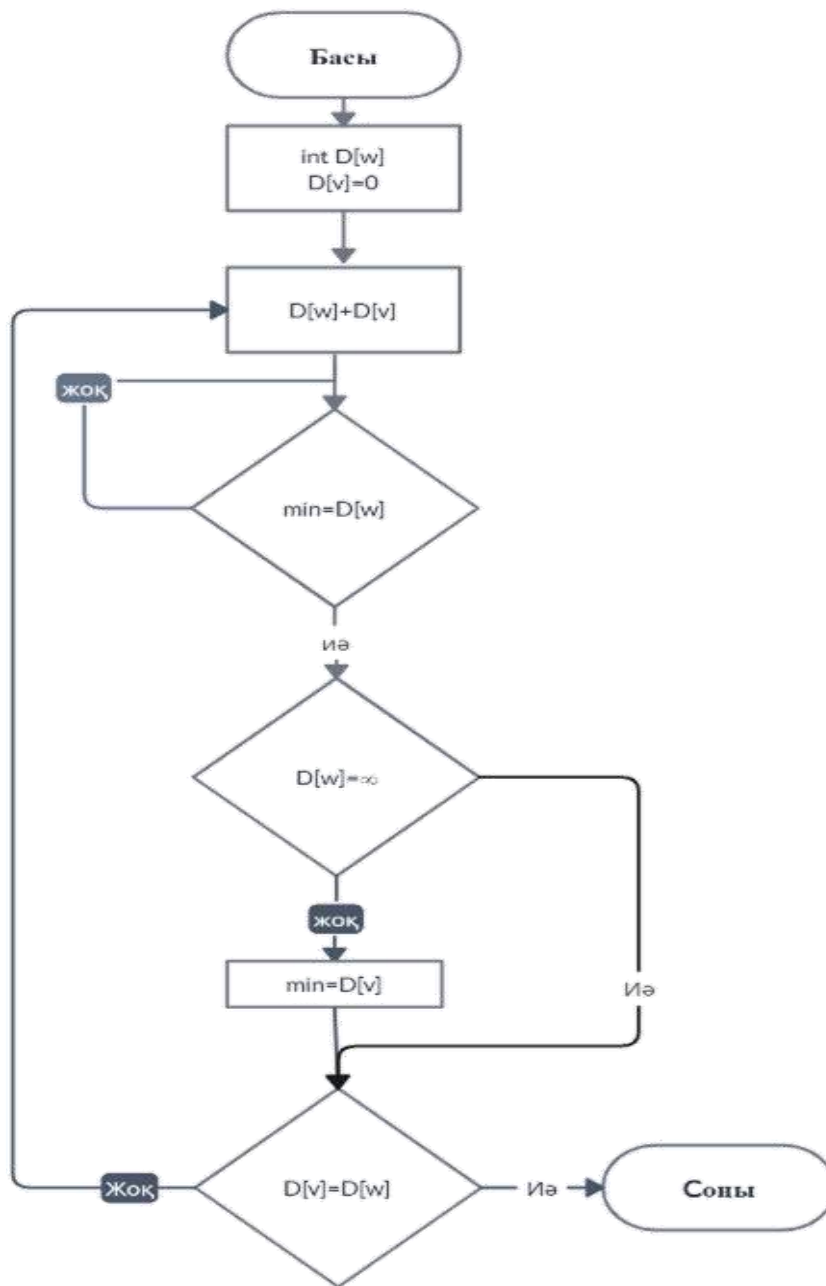
Дейкстра алгоритмі сұрыптау алгоритмдерінің ішіндегі А нүктесінен В нүктесінедейінгі аралықтағы ең қысқа жолды жылдам табатын алгоритм болып табылады [7].

Алгоритм деректер қорына келген сұраныстардың өңдеу ретін анықтайтын болады. Қазіргі таңда университеттердің басым көпшілігі деректер қорындағы ақпаратты өңдеуі «First In First Out» (FIFO) әдісі негізінде жұмыс жасайды [8]. Бұл деректер қорына кім сұранысты бірінші берсе сол бірінша жауап алады. Ең соңғы сұраныс берген тұтынушы өзінің жауабын күтіп қалады. Бұл сұраныстар бірнеше есе артқанда, сервердің құлауына немесе қатып қалу, ұзақ күттіру деген секілді қиындықтарға алып келеді [9]. Осы тұста 1 суретте көрсетілген Дейкстра алгоритмінің жұмыс жасауы сызбасын қарастырайық



Сурет 1. Дейкстра алгоритмі бойынша деректерді сұрыптау

Мұнда деректер қорына бір уақытта бірнеше сұраныс бірге келіп түскен. Және олардың ақпараттық салмағы әр түрлі [10]. Алгоритм көмегімен бір уақытта келіп түскен ең кіші көлемдегі сұранысты тауып аламыз. Алгоритм келген бес сұраныстың ішінен ең кішісін табады. Оны өңдеуге жібереді [11]. Сәйкесінше кіші көлемдегі ақпараттың өңделуіде аз уақыт алады. Алгоритмнің сұрыптауды жүргізуі 2 суретте берілген . Алгоритм екінші интрецияда қалған төрт ақпараттың ішіндегі ең кішісін тауып өңдеуге жібереді (Сурет 2).



Сурет 2. Дейкстра алгоритмінің блок схемасы

Осылайша соңғы итерацияға дейін жалғасады [12]. Алгоритмнің итерацияларының орындалуы 2 кестеде көрсетілгендей жүзеге асырылады.

$$D[v] := \min(D[v], D[w] + C[w, v])$$

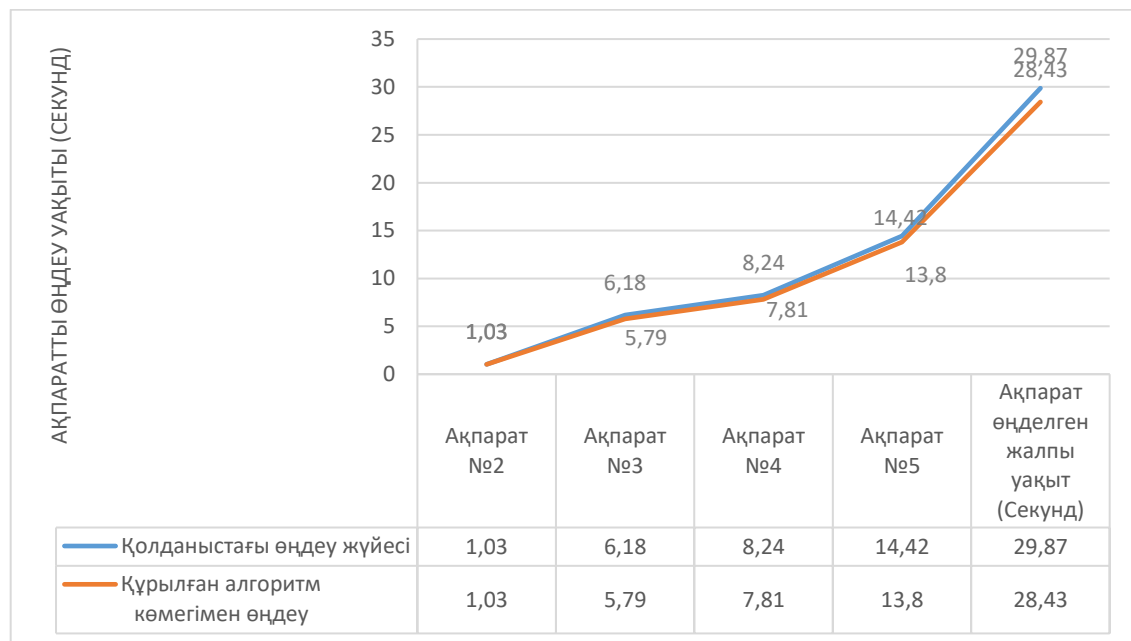
Алгоритмнің деректерді өңдеудеу ретін анықтауы төмендегі кестеде (кесте 2) көрсетілгендей түрде жүзеге асырылады.

Кесте № 2. Алгоритмнің формула бойынша мәліметтерді талдауы

Интерация	S	w	D[2]	D[3]	D[4]	D[5]
Басы	{1}	-	10	$\infty$	30	100
1	{1,2}	2		60	30	100
2	{1,2,4}	4		50		90
3	{1,2,4,3}	3	—————			60
4	{1,2,4,3,5}	5	10	50	30	60

**Зеріктеудің нәтижесі**

Алгоритм бізге жоғарыдағы айтылған талаптарға сай жұмыс істеп тұрғанына көз жеткізу үшін қолданыстағы деректер қорының деректерді өңдеуге жұмсайтын уақытымен осы алгоритм негізіндегі деректерді өңдеуге жұмсайтын уақытын салыстырмалы түрде төмендегі суреттен көре аламыз. (Сурет 3).



Сурет 3. Қолданыстағы мен жаңа құрылған алгоритм жұмысын салыстыру

Салыстыру барысында біз бір уақытта деректер қорына бес түрлі мәліметті жібереміз. Ол мәліметтердің салмағы әр түрлі болады [13]. Бізге осы мәліметтердің орындалу уақыты маңызды. Ол үшін біз мәліметті деректер қорына жібергеннен бастап жауап келгенше уақты есептейтін боламыз. Уақытты есептеуді біз Any logic ортасында жүзеге асырсақта болады.

**Дискуссия**

Зеріктеу нәтижелері университеттің корпоративтік деректер қорын басқаруда ақпаратты автоматты түрде өңдейтін Дейкстра алгоритмінің тиімділігін көрсетті. Атап айтқанда дейкстра алгоритмі жүйеге бір мезетте мыңдаған сұраныстар түскенде, жүйенің ақпаратты автоматты және жылдам өңдеуінде түрлі артықшыларды берді. Деректерді өңдеудің тиімділігін арттыратын қолданыста жүрген бірнеше алгоритмдері алып салыстыру жұмыстары жүргізілді. Дейкстра алгоритмі ақпаратты өңдеу уақыты жағынан, жүйеге түсетін жүктеме бойынша жоғары көрсеткіштерге ие екенін көрсетті. Алгоритмнің жүйедегі сұраныстарды өңделу уақыты бойынша жүргізетін сұрыптаудың блок схемасы көрсетілген. Бұл зерттеудің

маңыздылығы университеттердің деректер қорындағы ақпаратты автоматты өңдеуде уақытты тиімді пайдалауда жатыр. Сондай-ақ корпоративті деректер қорындағы ақпаратты өңдеуді автоматтандыру мен тиімділігін жақсарту болашағы ашық болып тұр.

### Қорытынды

Осылайша университеттің деректер қорын өңдеудің автоматтандырылған жүйесі құрылды. Ең алдымен қазіргі тағдағы университеттердің деректер қорын басқарудағы қиындықтарын ескеріп, осы мәселелерді шешу үшін алгоритмдерге талдау жасалынды. Оларды салыстыра келе ең тиімдісін тандап оны деректер қорымен жұмыс жасауға негіздеп құрдық. Алгоритм өз кезегінде студенттер мен университет әкімшілігінің уақытын үнемдеп, бір мезетте келген мәліметтерді автоматты түрде сұрыптап, өңдеуге жіберіп отырады. Бұл университет жүйесінің бір мезетте жасалынатын сұраныстар кезінде жүйенің құлауы немесе тұтынушылар жасаған сұраныстардың өңделу уақытының тым ұзап кетуінің алдын алады. Жүйенің пайдалы екеніне көз жеткізу үшін қалданыстағы деректер қорының мәліметтерді өңдеу уақыты мен құрылған алгоритм көмегімен мәліметті өңдеу уақыттары салыстырылды. Нәтижесінде құрылған алгоритм қолданыстағы деректер қорын өңдеуден жалпы суммасы 1,44 секунд жылдам екенін көрсетті (Сурет 3). Құрастырылған жүйені Any Logic ортасында демонстрациялау арқылы біз жүйенің дұрыс жұмыс жасайтынына көз жеткізе аламыз. Any Logic көмегімен біз жүйеге түсетін ауыртпашылықты жасанды түрде көбейтіп, жүйе бір уақытта келген жүздеген, мыңдаған сұраныстарды қаншалықты жылдам орындайтынына көз жеткізе аламыз. Өзірленген жүйе тек университет аясында ғана емес сонымен қатар деректер қорымен жұмыс жасайтын басқада салаларда пайдалы болуы мүмкін.

#### Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

[1] Мурлин А, Мурлина В, Янаева М, Косолапова Е.В Разработка технологии синхронизации данных в системе территориально-распределённого программного комплекса // Вестник НГИЭИ Княгинино Россия 2018 №12 (91) б. 18-25 <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologii-sinhronizatsii-dannyh-v-sisteme-territorialno-raspredelyonnogo-programmnogo-kompleksa/viewer>

[2] Видовский Л, Янаева М, Мурлин А, Мурлина В, Гвозденко А. Анализ возможности использования технологии обработки больших данных в системах для территориально-распределённых комплексов // Научный журнал КубГАУ Краснодар Россия 2018 №132(08) б 3-11 <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vozmozhnosti-ispolzovaniya-tehnologii-obrabotki-bolshih-dannyh-v-sistemah-dlya-territorialno-raspredelennyh-kompleksov/viewer>

[3] Оразбеков Ж. Мамандандырылған корпоративті мәліметтер қорын басқару үшін ақпараттық жүйесін құру // Диссертациялық жұмыс Алматы Қазақстан 2018 б 31-38

[4] Ирзаев М.Г. Корпоративная база персональных данных сотрудников с доступом для мобильных клиентов. Махачкала Дагестан 2016 б 77-82 <https://cyberleninka.ru/article/n/korporativnaya-baza-personalnyh-dannyh-sotrudnikov-s-dostupom-dlya-mobilnyh-klientov>

[5] Олег К. Эффективный алгоритм обработки больших баз данных MLM-структур 2023 <https://habr.com/ru/articles/732012/>

[6] Чухраев И, Жукова И, Алгоритм разработки базы данных для информационной системы промышленного предприятия // Калуга Россия МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «СИМВОЛ НАУКИ» №5/2016 ISSN 2410-700X б 115-118 file:///C:/Users/User/Downloads/algorithm-razrabotki-bazy-dannyh-dlya-informatsionnoy-sistemy-promyshlennogo-predpriyatiya.pdf

[7] Виталий А.Г, Искусственный Интеллект. Секреты датасетов: практическое руководство по анализу и обработке данных. 2023, б 52-63 <https://flibusta.su/book/166526-sekretyi-datasetov-prakticheskoe-rukovodstvo-po-analizu-i-obrabotke-da/read/>

[8] Абдуллина.В.З. Базы данных в информационных системах // Учебник. – Алматы: КазНТУ, Алматы Казахстан 2015. Б 47-51.

[9] Б. А. Новиков, Е. А. Горшкова, Н. Г. Графеева. Основы технологий баз данных. Москва Россия 2020, б 169-172 <https://edu.postgrespro.ru/dbtech.pdf>



[10] Головкова А.С., Колос Н.В. Системный анализ и управление system Analysis and processing of knowledge // Экономика. Информатика. Белгород Россия 2023. Т. 50, № 1 (1 73-182) DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-1-173-182

[11] Корнеова О.С. Базы данных как основа информационных систем предприятий Сохалинск Россия 2019 б 168-175 <https://cyberleninka.ru/article/n/bazy-dannyh-kak-osnova-informatsionnyh-sistem-predpriyatij/viewer>

[12] С. В. Самуйлов, С. В. Самуйлова, Л. В. Гурьянов. Структуры и алгоритмы обработки данных // Пенза Издательство ПГУ 2023 б (40-43) <https://elib.pnzgu.ru/files/eb/gxiEozRBcbXY.pdf>

[13] Щербакова Е.А. Использование баз данных в построении и развитии бизнеса // электронно научный-экономический журнал Том 8, № 9 Ирвайн США (2020) Business Strategies стр 241-246. DOI: 10.17747/2311-7184-2020-9-240-241

Reference:

[1] Murlin A, Murlina V, Janaeva M, Kosolapova Elena Valentinovna (2018) Razrabotka tehnologii sinhronizatsii dannyh v sisteme territorial'no-raspredel'yonnoogo programmnoogo kompleksa [Development of data synchronization technology in a geographically distributed software system]. Vestnik NGIJeI, №12 (91), 18-25. Knjaginino Rossija <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologii-sinhronizatsii-dannyh-v-sisteme-territorialno-raspredel'yonnoogo-programmnoogo-kompleksa/viewer> (In Russian)

[2] Vidovskij L, Janaeva M, Murlin A, Murlina V, Gvozdenko A. (2018) Analiz vozmozhnosti ispol'zovaniya tehnologii obrabotki bol'shih dannyh v sistemah dlja territorial'no-raspredelennyh kompleksov [Analysis of the possibility of using big data processing technology in systems for geographically distributed complexes]. Nauchnyj zhurnal KubGAU №132(08) б 3-11 Krasnodar Rossija <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vozmozhnosti-ispolzovaniya-tehnologii-obrabotki-bolshih-dannyh-v-sistemah-dlya-territorialno-raspredelennyh-kompleksov/viewer> (In Russian)

[3] Orazbekov Zh. (2018) Mamandandyrylgan korporativni malimetter qoryn basqaru ushin aqparattyq zhyiesin quru [Mamandandyrylgan corporate malimetter karyn baskar ushin akparattyq zhuyesin kuru]. //Dissertatsialyq zhумыs, Almaty Kazahstan 31-38. (In Russian)

[4] Irzaev M.G. (2016) Korporativnaja baza personal'nyh dannyh sotrudnikov s dostupom dlja mobil'nyh klientov [Corporate database of personal employee data with access for mobile clients]. 77-82. Mahachkala Dagestan <https://cyberleninka.ru/article/n/korporativnaja-baza-personal'nyh-dannyh-sotrudnikov-s-dostupom-dlya-mobil'nyh-klientov> (In Russian)

[5] Oleg K. (2023) Jeффективный алгоритм обработки больших баз данных [Efficient algorithm for processing large databases]. MLM-структур <https://habr.com/ru/articles/732012/> (In Russian)

[6] Chuhraev I, Zhukova I. (2016) Algoritm razrabotki bazy dannyh dlja informacionnoj sistemy promyshlennogo predpriyatija [Algorithm for developing a database for an industrial enterprise information system]. Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «SIMVOL NAUKI» №5/2016, 115-118. Kaluga Rossija <file:///C:/Users/User/Downloads/algoritm-razrabotki-bazy-dannyh-dlya-informatsionnoj-sistemy-promyshlennogo-predpriyatija.pdf> (In Russian)

[7] Vitalij A.G. (2023) Iskusstvennyj Intellekt. Sekrety datasetov: prakticheskoe rukovodstvo po analizu i obrabotke dannyh. [Artificial Intelligence. Secrets of Datasets: A Practical Guide to Data Analysis and Processing]. 52-63. <https://flibusta.su/book/166526-sekretyi-datasetov-prakticheskoe-rukovodstvo-po-analizu-i-obrabotke-da/read/> (In Russian)

[8] Abdullina.V.Z. (2015) Bazy dannyh v informacionnyh sistemah [Databases in information systems]. Uchebnik. Almaty Kazahstan: KazNTU, 47-51 (In Russian)

[9] B. A. Novikov, E. A. Gorshkova, N. G. Grafeeva. (2020) Osnovy tehnologij baz dannyh. [Fundamentals of Database Technologies]. 169-172. Moskva Rossija <https://edu.postgrespro.ru/dbtech.pdf> (In Russian)

[10] Golovkova A.S., Kolos N.V. (2023) Sistemnyj analiz i upravlenie system [System analysis and management system] Analysis and processing of knowledge // Jekonomika. Informatika. Т. 50, № 1, 173-182. DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-1-173-182. Belgrad Rossija

[11] Korneova O.S. (2019) Bazy dannyh kak osnova informacionnyh sistem predpriyatij [Databases as the basis of enterprise information systems]. 168-175. Sohalinsk Rossija <https://cyberleninka.ru/article/n/bazy-dannyh-kak-osnova-informatsionnyh-sistem-predpriyatij/viewer> (In Russian)

[12] S. V. Samujlov, S. V. Samujlova, L. V. Gur'janov. (2023) Struktury i algoritmy obrabotki dannyh [Structures and algorithms for data processing]. Penza Izdatel'stvo PGU. 40-43. <https://elib.pnzgu.ru/files/eb/gxiEozRBcbXY.pdf> (In Russian)

[13] Shherbakova E.A. (2020) Ispol'zovanie baz dannyh v postroenii i razvitii biznesa [Using databases in building and developing a business]. jelektronno nauchnyj-jekonomicheskij zhurnal Tom 8, № 9. Business Strategies, 241-246. DOI: 10.17747/2311-7184-2020-9-240-241. Irvaйн SShA (In Russian)



A.T. Tursynova<sup>1\*</sup>, B.S. Omarov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: azhar.tursynova1@gmail.com

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ENSEMBLE MODEL FOR STROKE CLASSIFICATION

### Abstract

This study investigates the efficacy of an ensemble model in classifying stroke images, combining CNN (Convolutional Neural Network), EfficientNetB7, and DenseNet201 architectures. Utilizing a dataset of 2,501 black-and-white images from the Kaggle stroke dataset, the research addresses the challenges posed by limited data and explores data augmentation techniques to improve model performance. The ensemble model's performance is compared against individual models such as MobileNetV2, EfficientNetB0, ResNet50, and DenseNet201. Results demonstrate that, while the ensemble model shows potential, its accuracy does not significantly exceed that of the top-performing standalone models, highlighting the need for larger datasets and more sophisticated ensemble techniques to enhance reliability. This work provides insights into the application of ensemble learning for stroke classification, paving the way for advancements in AI-driven stroke diagnostics.

**Keywords:** stroke classification, ensemble learning, CNN, EfficientNetB7, DenseNet201, data augmentation, medical image analysis, artificial intelligence, deep learning, brain imaging.

А.Т. Турсынова<sup>1</sup>, Б.С. Омаров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИ АНСАМБЛЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ИНСУЛЬТА

### Аннотация

В данном исследовании изучается эффективность ансамблевой модели для классификации изображений инсульта, объединяющей архитектуры CNN (Convolutional Neural Network), EfficientNetB7 и DenseNet201. Используя набор данных из 2501 черно-белого изображения из открытого набора данных Kaggle для инсульта, исследование направлено на преодоление проблем, связанных с ограниченным объемом данных, и включает применение методов аугментации для улучшения производительности модели. Производительность ансамблевой модели сравнивается с отдельными моделями, такими как MobileNetV2, EfficientNetB0, ResNet50 и DenseNet201. Результаты показывают, что, хотя ансамблевая модель демонстрирует потенциал, её точность незначительно превышает показатели лучших отдельных моделей, что подчеркивает необходимость использования более крупных наборов данных и более сложных методов ансамблирования для повышения надежности. Это исследование предоставляет ценные данные о применении ансамблевого обучения для классификации инсульта, открывая перспективы для развития диагностики инсульта на основе ИИ.

**Ключевые слова:** классификация инсульта, ансамблевое обучение, CNN, EfficientNetB7, DenseNet201, аугментация данных, анализ медицинских изображений, искусственный интеллект, глубокое обучение, визуализация мозга.

А.Т. Турсынова<sup>1</sup>, Б.С. Омаров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

## ИНСУЛЬТТИ ЖІКТЕУГЕ АРНАЛҒАН АНСАМБЛЬ МОДЕЛІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

### Аңдатпа

Осы зерттеуде CNN (Convolutional Neural Network), EfficientNetB7 және DenseNet201 архитектураларын біріктіретін ансамбльдік модельдің инсульт суреттерін классификациялаудағы тиімділігі қарастырылады. Kaggle ашық инсульт деректер жинағынан алынған 2501 кара-ақ суреттер жиынтығын пайдалана отырып, зерттеу деректердің шектеулі көлемімен байланысты мәселелерді

шешуге бағытталған және модельдің өнімділігін арттыру үшін аугментация әдістерін қолдануды қамтиды. Ансамбльдік модельдің өнімділігі MobileNetV2, EfficientNetB0, ResNet50 және DenseNet201 сияқты жеке модельдермен салыстырылады. Нәтижелер көрсеткендей, ансамбльдік модель әлеуетке ие болғанымен, оның дәлдігі үздік жеке модельдердің көрсеткіштерінен аз ғана жоғары, бұл сенімділікті арттыру үшін үлкен деректер жиынтықтарын және күрделірек ансамбль әдістерін қолданудың қажеттілігін көрсетеді. Бұл зерттеу инсультті классификациялау үшін ансамбльдік оқытуды қолдану туралы құнды ақпарат береді, жасанды интеллект негізіндегі инсульт диагностикасын дамытуға перспективалар ашады.

**Түйін сөздер:** инсультті классификациялау, ансамбльдік оқыту, CNN, EfficientNetB7, DenseNet201, деректерді аугментациялау, медициналық суреттерді талдау, жасанды интеллект, терең оқыту, ми визуализациясы.

### **Main provisions**

This study looks at how well an ensemble model works for classifying stroke images, combining CNN, EfficientNetB7, and DenseNet201. With a limited dataset, the research shows the ensemble model only gives a small boost in accuracy compared to single models like MobileNetV2 and EfficientNetB0. Using data augmentation techniques made the training set more diverse and improved overall model performance; still, the ensemble method did not offer a big advantage. These results stress the importance of having bigger and more varied datasets, along with better ensemble methods, to see real gains in classification accuracy. This research gives useful insights into using ensemble learning for stroke diagnosis, opening doors for future progress in AI-based medical diagnostics.

### **Introduction**

Stroke is a major health issue around the world, being a top cause of death and lasting disability. The World Health Organization (WHO) reports that about 15 million people have a stroke every year, with 5 million ending in death and another 5 million facing lasting disabilities [1]. The serious effects of stroke affect not just the individuals who survive but also create heavy costs for healthcare systems globally. Quick and correct identification of stroke is key to lowering the death rate and the long-term issues related to it, as it allows for timely treatment [2, 3]. This is especially significant as ischemic and hemorrhagic strokes are treated differently. Neuroimaging studies, and especially CT, are crucial for stroke diagnosis as they enable neurotherapists to quickly evaluate the patients' and/or their brain images. Although MRI is suggested to have superior imaging quality, CT is more useful in emergency cases because it is readily available, quick to perform, and inexpensive [4].

AI and deep learning, in particular, have emerged as technology that can change the game in medicine, enabling improvements in the automated diagnosis over the past few years. Strokedetection is one of the brain imaging classification tasks that have implemented CNNs heavily [5]. CNNs learn from labeled examples of different classes many compounds and features, which leads to sufficiently high levels of output accuracy that can be comparable to those achieved by humans in certain areas. Nevertheless, architectures such as MobileNetV2, EfficientNetB0, ResNet50 and DenseNet201 have some disadvantages [6]. These shortcomings may be more pronounced in the case of small data sets characteristic of medical imaging due to data size and confidentiality issues [6, 7].

Ensemble learning methods have emerged in response to the single-minded models by incorporating the best of the several models [8] and are able to improve accuracy and robustness. The use of ensemble models in the classification of medical images has been encouraging because models with different learning architectures can use them to make improved predictions. This study aims to evaluate the performance of an ensemble model comprising of CNN, EfficientNetB7 and DenseNet201 for stroke classification, arguing that such a combination could perform better than any of the architectures in isolation. In this study we compare this ensemble model with mobile v2, efficientnetb0, resnet50, densenet201 standalone networks to determine whether such ensemble methods provide direct improvement in classification performance as seen in [8].

This research has two primary goals: the first one is about determining whether an ensemble approach can enhance stroke image classification on a small dataset, and the second is concerned with the extent to which the ensemble performs better than the individual models. It is anticipated that the results of this research will show how stroke diagnostics can benefit from the use of ensemble learning and foster further developments in the AI-supportive systems aimed at improving the performance of health practitioners through more accurate and time sensitive diagnosis. In view of the market demands for better instruments towards clinical practice especially in less well-equipped societies, such work makes a contribution towards further development of AI in medical imaging [9].

### *Literature Review*

Stroke remains an issue, for health and is the second most common cause of death and a major contributor to long term disability on a worldwide scale. It is crucial to detect strokes accurately to enhance outcomes through timely intervention since ischemic and hemorrhagic strokes necessitate different treatment strategies. Diagnosing strokes typically begins with neuro imaging techniques, like computed tomography (CT scan ) and magnetic resonance imaging (MRI) which are commonly utilized in practice. In emergency situations, like acute care settings where time's crucial and availability is key doctors usually opt for CT scans because they are fast and widely accessible. On the hand MRI scans offer image quality and resolution enhancements albeit at a higher price and limited availability.

Traditional methods, for analyzing stroke images [4] heavily depend on radiologists expertise – a time consuming and error prone process that has sparked an interest in intelligence (AI) deep learning (DL). The use of Convolutional Neural Networks (CNNs) a DL architecture tailored for image analysis tasks like medical image classification for stroke detection and categorization – has shown potential, in providing automated and accurate solutions. Convolutional Neural Networks (CNN) acquire knowledge from collections of categorized images by identifying intricate visual attributes without the need, for extensive manual input; hence they are well suited for tasks such, as stroke categorization.

Research, on learning models for categorizing strokes primarily focuses on neural networks (CNN) and their variations. CNN technology is commonly used to analyze CT and MRI scans to differentiate between hemorrhagic strokes with accuracy. Although CNN models excel in this task on datasets in medical imaging applications due to their effectiveness in extracting features from brain images they encounter challenges when dealing with smaller datasets due to privacy concerns and limited accessibility. For example a study referenced as [1] showcases the capability of CNN models in extracting features, from brain images. Also points out the difficulty they face in generalizing results when trained on limited data. Moreover because MRI data offers tissue details algorithms trained on MRI datasets typically exhibit precision, in detecting subtle stroke related variations when compared to models based on CT scans. However in situations CT scans still present, as the alternative.

In order to improve the precision of diagnoses and address the constraints of using CNN structures researchers have been exploring alternative DL models such, as ResNet, EfficientNet and DenseNet. For example EfficientNet effectively adjusts network parameters to capture image details with less computational effort. On the hand DenseNet has been found to enhance the flow of information, across layers, which proves useful in capturing structural features within regions affected by stroke. Although these models have shown success individually they may encounter performance challenges in situations. When the training dataset lacks diversity.

Ensemble learning has demonstrated outcomes in bolstering the effectiveness of stroke classification systems by merging models to enhance predictive accuracy collectively. In this approach each model lends its patterns to offset model shortcomings and improve the systems overall efficiency. Researchers have investigated combining models, like CNN, EfficientNetB7 Densenet201 to elevate classification precision by leveraging the strengths of each architecture. For example a study analyzed a combination of MRI data, with MobileNet V2. Achieved promising results in identifying signs of a stroke, in the brain.

Additionally incorporating techniques, like information and feature importance ranking has enhanced the effectiveness of models in categorizing strokes. Research has demonstrated that these combined systems not enhance classification accuracy metrics such as sensitivity and specificity but also make it easier to understand the model by emphasizing the crucial image characteristics. This strategy has shown success when employing gradient boosting algorithms such as LightGBM or CatBoost in conjunction, with CNN result.

In the field of stroke image analysis and segmentation models working together have made an impact far. Identifying the areas, in the brain is crucial for classifying strokes and planning treatment. A notable event in this domain is the Ischemic Stroke Lesions Segmentation (ISLES) challenge [10] which has played a role, in developing and evaluating deep learning algorithms for segmenting stroke lesions. The ISLES 2018 challenge especially has significantly contributed to improving segmentation techniques by providing a dataset containing types of CT and MRI images. Having access, to these datasets has allowed researchers to enhance models for segmentation. This is important, for recognizing tissue in cases of strokes [11].

The effectiveness of division and categorization models, in medical image tasks demonstrates how ensemble techniques can be flexible and versatile in scenarios, within the field of healthcare technology. One example is the Stroke Unet network. An architecture based on the Internet of Medical Things (IoMT) specifically crafted for stroke analysis [12]. It merges UNet with layers customized for high resolution CT scans to enable instant data processing that aids clinical decision making processes. This combined method takes advantage of UNets proficiency in segmentation while also utilizing IoMT to integrate with clinical protocols. By integrating a combination of models into the Internet of Medical Things (IoMT) medical professionals can improve the availability of data to allow for monitoring and analysis, in acute stroke care scenarios that support treatment responses.

Although ensemble models have benefits to offer in fields including medicine, they also come with their own set of challenges that are particularly prominent, in healthcare settings. These challenges include demands, the requirement for extensive and well labelled datasets and the complexities involved in deploying such models. Initiatives such as the ISLES challenge have played a role in establishing datasets for research purposes, however there is still a crucial need for more diverse and larger datasets to effectively train models capable of generalizing across different populations. Moreover developing frameworks that're both efficient in terms of computation and adaptable [13], to different clinical scenarios remains an ongoing area of exploration and study.

In the studies could look into enhancing structures to smoothly integrate with current clinical setups in places, with limited resources. It is important to combine IoMT frameworks with models for diagnostic processes through quick data processing and decision making support. Improving the interpretability of models is crucial for giving clinicians insights that build confidence in AI assisted diagnostics. Eventually creating scalable systems will be key, to unlocking the full potential of deep learning and artificial intelligence in improving stroke diagnosis and treatment.

### **Research methodology**

In this research project, a collection of 2,501 and white pictures (650 pixels by 650 pixels ) sourced from the available Kaggle stroke dataset was utilized. The collection was split into three parts: 70 %, for training purposes 20 % for validation tasks and 10 %, for testing procedures. The information was classified into two groups. “normal” and “stroke” creating a classification challenge. Training the model to achieve performance was challenging due, to the dataset size which required the implementation of data augmentation techniques to expand the training data artificially and enhance the models overall performance.

To enhance the variety within the training set we implemented data augmentation methods. These techniques comprised rotations, flips along the axis adjustments, in width and height as well, as zooming effects. The selection of these augmentations aimed to encompass viewpoints and boost the models resilience by mimicking real world scenarios. Each modification was randomly introduced

during training to ensure that each epoch involved modified renditions of the data, which helped prevent overfitting and promoted generalization.

The main model used in this research was a model that integrated forecasts, from three structures namely CNN, EfficientNetB7 and DenseNet201. The blending method was crafted to utilize the features of each structure possibly offsetting any shortcomings. The structural design of the model as shown in Figure 1 consists of the elements:

1. A unique CNN design featuring convolution and pooling layers tailored for this dataset was developed by CNN.
2. EfficientNetB7 is a performing model that has been trained on ImageNet and is renowned for its adjustments, in depth width and resolution.
3. DenseNet201 enhances the flow of gradients, throughout the models layers and is especially advantageous, for handling datasets.

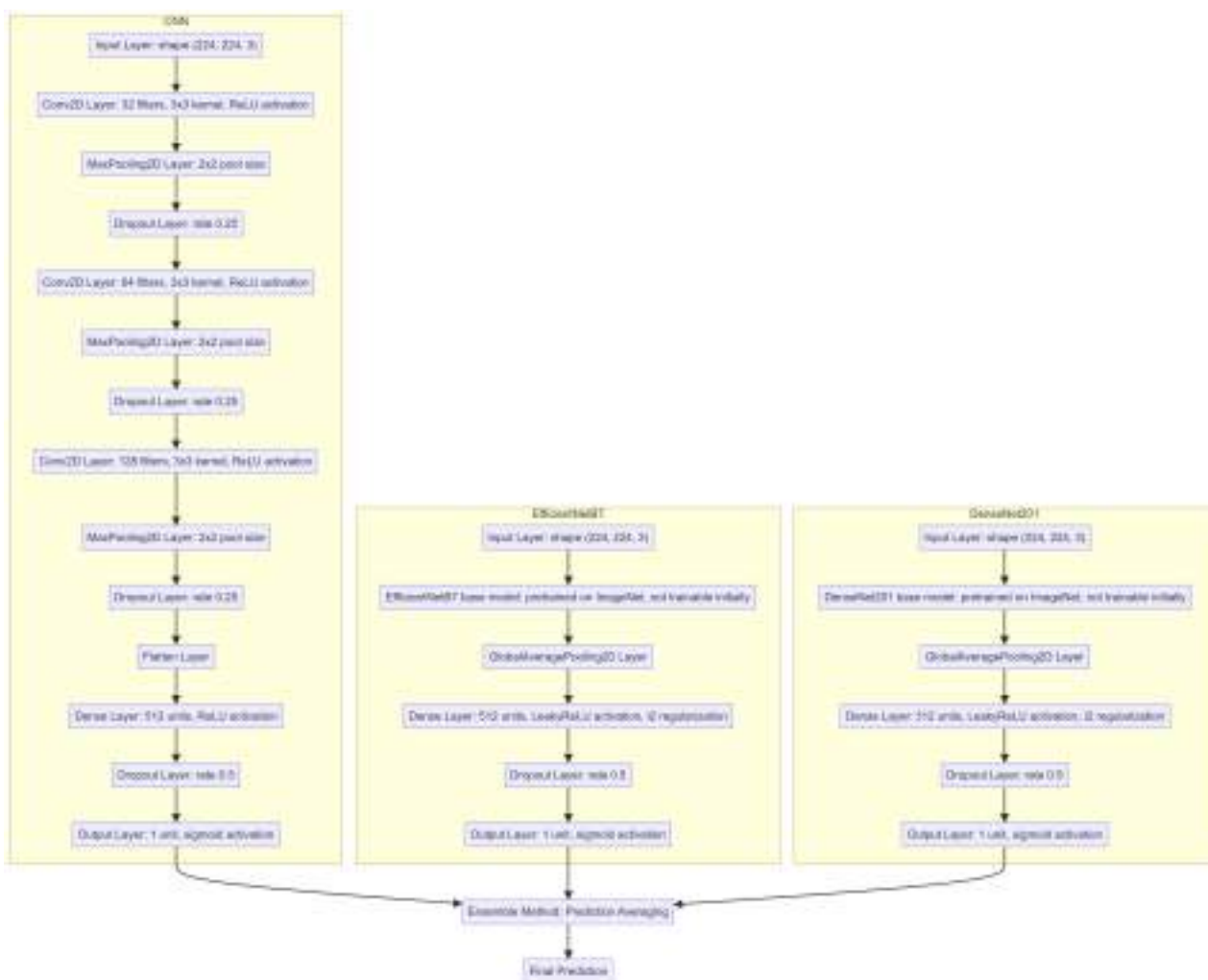


Figure 1. The design of a collective model structure, for classifying brain images

Each model was adjusted to work with the dataset by adding connected layers designed for identifying stroke images accurately. The results, from these models were averaged to create the outcome of the group model that utilizes the advantages of each network.

To assess how well the ensemble model performed in comparison, to the baseline models training and testing processes involved working with four models:

- Mobile Net V2 and Efficient Net B0 used the pre-existing ImageNet. Layers have been added to adapt them for stroke classification purposes. The models were compiled using the Adam optimizer with a binary cross-entropy loss function and accuracy as an indicator of performance measurement.

To optimize the effectiveness of training and prevent problems with retraining during the model training period, adjustments to the learning rate were included in 50 epochs. The mechanisms of early stopping with the help of callbacks are implemented.

- Both ResNet50 and the custom CNN model utilized trained weights that underwent fine tuning by adding extra layers like the other models did too Class weights were also tweaked to handle the imbalance, in dataset classes Both models underwent an initial 10 epochs of training followed by an additional 20 epochs, to fine tune the last layers.

In order to work well with trained models and their weights that are set for a certain size, like 224 by 224 pixels all the images in the research were adjusted to this size for uniform comparison and integration, into the model ensemble.

### Results of the study

Here are the main results, from comparing the combined model with structures, on the training set and testing set using accuracy and loss measurements to assess each models performance. MobileNetV2 exhibited the test accuracy of 65 625% as depicted in figure 2 and demonstrated via training and validation loss graphs souvenir whereas EfficientNetB0 also delivered results with a final accuracy score of 59 375%. These outcomes underscore the challenges faced by models when dealing with data sets.

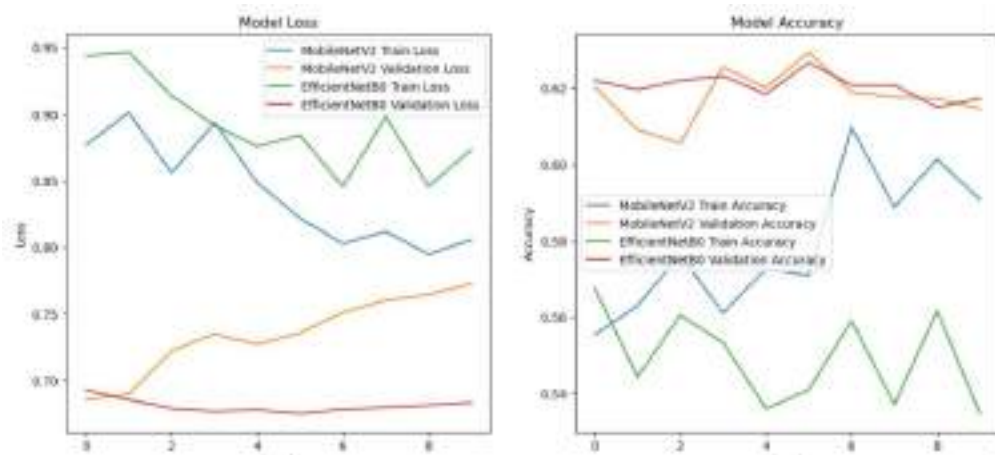


Figure 2. Loss in training and validation of MobileNetV2 and EfficientNetB0 models

After some additional adjustments and fine tuning, to the ResNet50 model in our study experiment showed outcomes with a peak test accuracy of 61,5% The training process details are represented in figure 3 with insights on the variations in both training and validation losses highlighted This evidence suggests that advanced models, like ResNet50 encounter challenges when working with limited datasets.

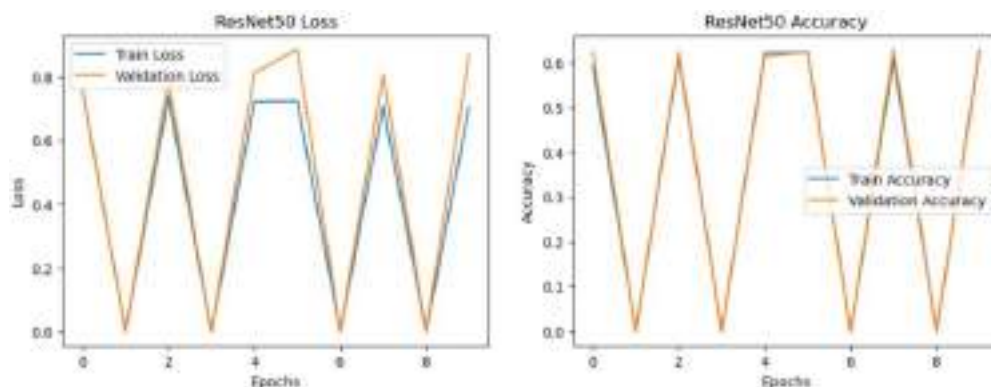


Figure 3. The ResNet50 model showed both train and validation losses during the training process



In an attempt to improve accuracy rates than 61,5% a combination of CNN models, like EfficientNetB7 and DenseNet201 was utilized in an approach as supported by Figure 4. Though ensemble learning is theoretically advantageous in boosting accuracy levels of models in practice; this combination failed to achieve an improvement beyond what was achieved by individual models, like MobileNetV2.

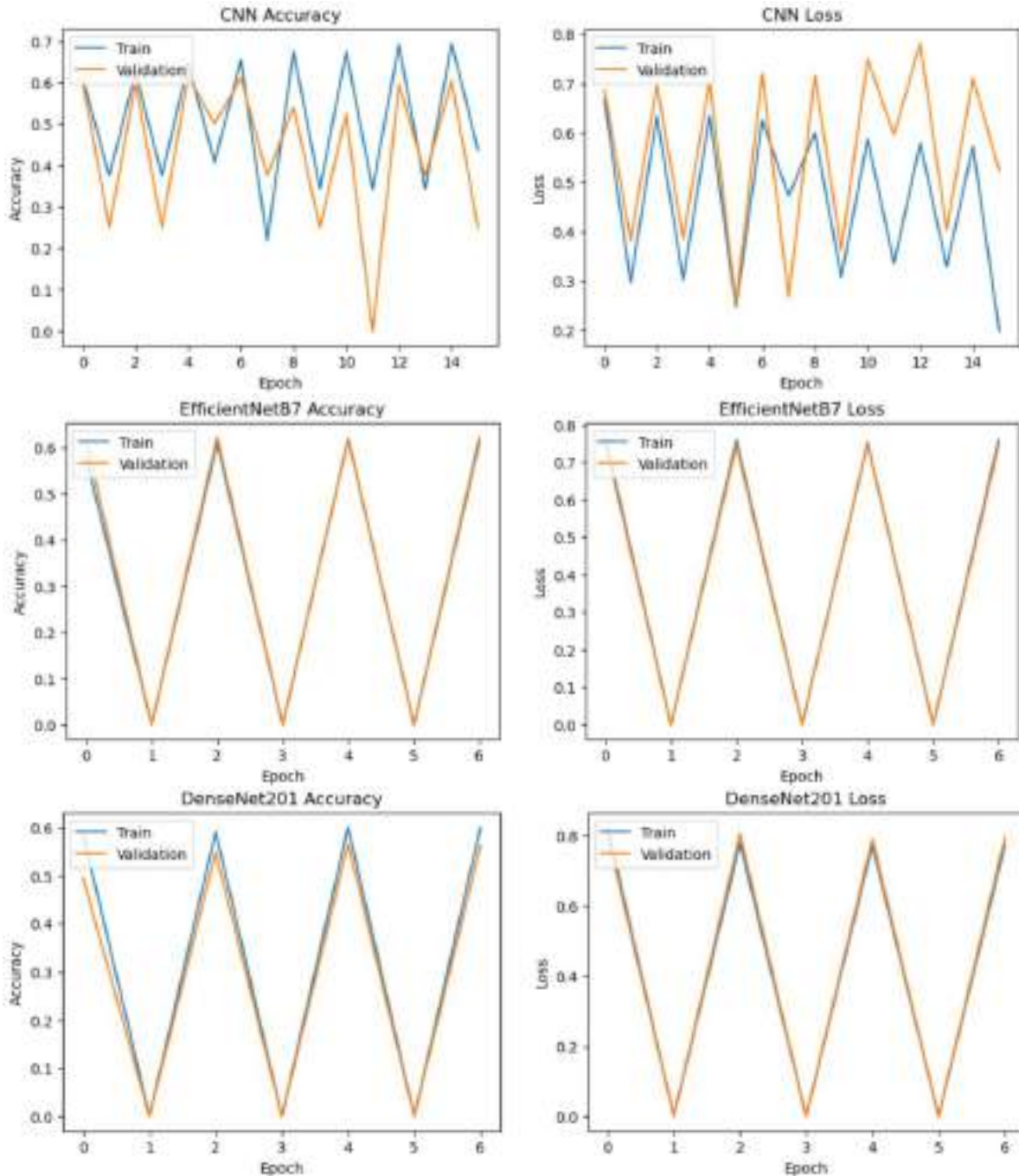


Figure 4. Train and Validation Loss of CNN, EfficientNetB7, DenseNet201 ensemble Models

Table 1 presents an overview of the accuracy findings, for all models on the test set and training sets as the validation dataset results and performance metrics displayed a close match between the top performing individual models and the ensemble models highest test accuracy level which indicates a requirement, for a more extensive dataset to enhance meaningful progress.



Table 1. Results, for accuracy, on the validation and training set for all models.

Model	Test acc	Validation acc	Train acc
MobileNetV2	65.625%	61.83%	65.39%
EfficientNetB0	59.375%	62.07%	62.21%
ResNet50	61.5%	60.48%	67.95%
EfficientNetB7	62.5%	60.48%	67.95%
DenseNet201	60%	60.56%	61.72%
CNN	61.17%	61.91%	61.16%
Ensemble model	61.5%	56.25%	80.73%

## Discussion

The results of the experiment suggest that combining models does not always result in enhancements, in accuracy when categorizing data sets. The combined model displayed an enhancement compared to individual models, however these outcomes are constrained by the quantity and variety of the data used. These discoveries align with research that highlights how the effectiveness of combined models is influenced by both the abundance and caliber of the data.

The models potential is greatly hampered by the dataset size. Even though using data augmentation techniques helped broaden the variety in the training set it was not sufficient to make up for the shortage of data. This underscores the importance of expanding the dataset whether through growing the volume of data or utilizing data and other augmentation strategies. In the studies could concentrate on enhancing data augmentation methods and utilizing data to address the challenges of working with a limited dataset size effectively. It might prove beneficial to delve into sophisticated ensemble strategies, like weighted averaging and stacking in conjunction, with other deep learning approaches.

The outcomes coincide with discoveries, in the realm of stroke categorization that underscore the significance of varied data sets in attaining superior precision levels. Moreover numerous research studies have highlighted that sophisticated ensemble approaches yield outcomes across various data sets validating the need for continued enhancements, in this domain.

## Conclusion

This research delved into how combining CNN with EfficientNetB7 and DenseNet201 could be used to classify stroke images from a dataset. Even though using architectures, in a model showed promise the results highlighted that the accuracy and reliability of the model were limited by the datasets size and complexity. The test accuracy reached was similar, to what individual baseline models achieved emphasizing the importance of improving both data availability and model refinement in studies.

In order to overcome these constraints in the work of us will concentrate on implementing the following enhancements:

- Data Expansion Strategy involves enlargening the dataset to offer a range of training examples, for the models to learn from and improve their ability to generalize effectively.
- Advanced data augmentation involves using techniques to generate a range of training samples that can assist models in adjusting to the intricate patterns found in stroke images.
- Enhanced Refinement Technique; exploring the inclusion of layers, in existing models to grasp more intricate nuances that might enhance the precision of categorization.
- Utilizing a range of model designs in the ensemble to capture aspects of the data and potentially strengthen the ensembles effectiveness, through diversity, in model integration.
- Fine tuning Parameters Systematically. Adjusting factors like learning rates and batch sizes along with tweaking layer setups to enhance the models effectiveness.

In summary although the ensemble method shows potential, for categorizing strokes achieving strong and practical performance relies on using datasets and improving model settings. Subsequent

research in this area focuses on boosting the models precision and dependability which will help create instruments, for managing strokes.

### Acknowledgment

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant No. AP22686812).

### References

- [1] Bathla P., Kumar R. A hybrid system to predict brain stroke using a combined feature selection and classifier // *Intelligent Medicine*. – 2024. – T. 4. – №. 02. – pp. 75-82. <https://doi.org/10.1016/j.imed.2023.06.002>
- [2] Chaki J., Woźniak M. Deep learning and artificial intelligence in action (2019-2023): A review on brain stroke detection, diagnosis, and intelligent post-stroke rehabilitation management // *IEEE Access*. – 2024. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10485414>
- [3] Abulfaraj A. W., Dutta A. K., Sait A. R. W. Ensemble Learning-based Brain Stroke Prediction Model Using Magnetic Resonance Imaging // *Journal of Disability Research*. – 2024. – T. 3. – №. 5. – pp. 1-9. <https://www.scienceopen.com/hosted-document?doi=10.57197/JDR-2024-0061>
- [4] Feigin V. L. et al. World Stroke Organization (WSO): global stroke fact sheet 2022 // *International Journal of Stroke*. – 2022. – T. 17. – №. 1. – pp. 18-29. doi: 10.1177/17474930221080343
- [5] Tursynova A. et al. Deep learning-enabled brain stroke classification on computed tomography images // *Comput. Mater. Contin.* – 2023. – T. 75. – №. 1. – pp. 1431-1446. <https://doi.org/10.32604/cmc.2023.034400>
- [6] Thiyagarajan S. K., Murugan K. A systematic review on techniques adapted for segmentation and classification of ischemic stroke lesions from brain MR images // *Wireless Personal Communications*. – 2021. – T. 118. – №. 2. – pp. 1225-1244. <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08069-z>
- [7] Douaud G. et al. SARS-CoV-2 is associated with changes in brain structure in UK Biobank // *Nature*. – 2022. – T. 604. – №. 7907. – pp. 697-707. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04569-5>
- [8] Ke Q. et al. Adaptive independent subspace analysis of brain magnetic resonance imaging data // *Ieee Access*. – 2019. – T. 7. – pp. 12252-12261. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2893496>
- [9] You W., Henneberg R., Henneberg M. Healthcare services relaxing natural selection may contribute to increase of dementia incidence // *Scientific Reports*. – 2022. – T. 12. – №. 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12678-4>
- [10] Fan L., Zhang L. Multi-system fusion based on deep neural network and cloud edge computing and its application in intelligent manufacturing // *Neural Computing and Applications*. – 2022. – T. 34. – №. 5. – pp. 3411-3420. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-05735-y>
- [11] Lo C. M., Hung P. H., Hsieh K. L. C. Computer-aided detection of hyperacute stroke based on relative radiomic patterns in computed tomography // *Applied Sciences*. – 2019. – T. 9. – №. 8. <https://doi.org/10.3390/app9081668>
- [12] Shinohara Y. et al. Development of a deep learning model to identify hyperdense MCA sign in patients with acute ischemic stroke // *Japanese journal of radiology*. – 2020. – T. 38. – pp. 112-117. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11604-019-00894-4>
- [13] Shin H. et al. Automated segmentation of chronic stroke lesion using efficient U-Net architecture // *Biocybernetics and Biomedical Engineering*. – 2022. – T. 42. – №. 1. – pp. 285-294. <https://doi.org/10.1016/j.bbe.2022.01.002>

G.S. Shaimerdenova<sup>1\*</sup>, Zh. Zh. Azhibekova<sup>2</sup>, E.B. Mussirepova<sup>1</sup>,  
Z.Z. Esenkulova<sup>1</sup>, N.M. Zhailaubayev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan  
<sup>2</sup>Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Almaty, Kazakhstan  
\*e-mail: [danel01kz@gmail.com](mailto:danel01kz@gmail.com)

## A REVIEW OF CYBER DEFENSE MECHANISMS IN AUTONOMOUS ELECTRICAL SYSTEMS

### Abstract

This systematic review examines the essential aspects of cybersecurity in the rapidly evolving field of autonomous electrical systems. As critical components of modern smart grids, these systems are increasingly vulnerable to advanced cyber threats due to their reliance on automation and connectivity. The review synthesizes existing research to identify current vulnerabilities, evaluate the effectiveness of implemented cyber defense mechanisms, and explore emerging trends and technologies aimed at improving the security and resilience of these infrastructures. By systematically analyzing peer-reviewed journals, conference proceedings, and industry reports from the past decade, the review highlights major cyber threats, including ransomware, DDoS attacks, and phishing, which pose significant risks to autonomous electrical systems. It investigates the use of cutting-edge technologies such as machine learning algorithms for detecting anomalies, blockchain for ensuring data integrity, and quantum cryptography for secure communication. A particular focus is given to artificial intelligence's role in predictive cybersecurity, which enables the anticipation of threats before they materialize, enhancing the proactive capabilities of defense systems. The review also examines the application of established frameworks like the NIST Cybersecurity Framework and the Zero Trust Model, which have been instrumental in shaping security strategies for the sector. It discusses both the challenges and opportunities associated with adapting to evolving cyber threats and integrating next-generation technologies into existing systems. This analysis aims to provide cybersecurity professionals, policymakers, and researchers with actionable insights and a comprehensive understanding of the cyber risks and defense strategies related to autonomous electrical systems. Ultimately, the review seeks to contribute to the development of more robust security measures, strengthen grid resilience, and ensure the reliable operation of future energy systems.

**Keywords:** Cybersecurity, Autonomous Electrical Systems, Smart Grids, Machine Learning, Zero Trust Model.

Г.С. Шаймерденова<sup>1</sup>, Ж.Ж. Ажибекова<sup>2</sup>, Э.Б. Мүсірепова<sup>1</sup>, З.З. Есенкулова<sup>1</sup>, Н.М. Жайлаубаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан,

<sup>2</sup>С. Ж. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университет, Алматы қ., Қазақстан  
**АВТОНОМИЯЛЫ ЭЛЕКТР ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ КИБЕР ҚОРҒАНУ МЕХАНИЗМДЕРІНЕ  
ШОЛУ**

### Аңдатпа

Бұл жүйелі шолу автономды электр жүйелеріндегі киберқауіпсіздіктің маңызды аспектілерін зерттейді. Заманауи ақылды желілердің негізгі компоненттері ретінде бұл жүйелер автоматтандыру мен байланыстың арқасында күрделі киберқауіптерге осал. Шолу қазіргі осалдықтарды анықтау, іске асырылған киберқорғау механизмдерінің тиімділігін бағалау және осы инфрақұрылымдардың қауіпсіздігі мен тұрақтылығын жақсартуға бағытталған жаңа технологиялар мен трендтерді зерттеу үшін бар зерттеулерді біріктіреді. Соңғы онжылдықта жарияланған ғылыми журналдар, конференция материалдары және сала есептерін жүйелі талдау арқылы шолу автономды электр жүйелеріне айтарлықтай қауіп төндіретін негізгі кибершабуылдарды, соның ішінде ransomware, DDoS шабуылдары және фишингті атап көрсетеді. Ол аномалияларды анықтауға арналған машина оқыту алгоритмдерін, деректер тұтастығын қамтамасыз ету үшін блокчейнді және қауіпсіз байланыс үшін кванттық криптографияны қоса алғанда, алдыңғы қатарлы технологияларды қолдануды зерттейді. Шолу қауіптерді алдын ала анықтау мүмкіндігін арттыратын және киберқорғаудың проактивті

қабілеттерін жақсартатын жасанды интеллектті қолдануға ерекше назар аударады. Сондай-ақ, шолу NIST киберқауіпсіздік құрылымы және Zero Trust моделі сияқты сектордың қауіпсіздік стратегияларын қалыптастыруда маңызды рөл атқаратын қолданыстағы құрылымдарды зерттейді. Ол киберқауіптердің өзгеруіне бейімделу және жаңа буын технологияларын бар жүйелерге біріктірумен байланысты қиындықтар мен мүмкіндіктерді талқылайды. Бұл талдау энергетика секторындағы киберқауіпсіздік мамандарына, саясаткерлерге және зерттеушілерге қолдануға болатын түсініктер мен автономды электр жүйелеріндегі киберқауіптер мен қорғау стратегиялары туралы толыққанды түсінік беруді мақсат етеді. Ақыр соңында, шолу мықты қауіпсіздік шараларын әзірлеуге, желі тұрақтылығын нығайтуға және болашақ энергетикалық жүйелердің сенімді жұмысын қамтамасыз етуге үлес қосуға бағытталған.

**Түйін сөздер:** киберқауіпсіздік, автономды электр жүйелері, ақылды желілер, машина оқыту, Zero Trust моделі.

Г.С. Шаймерденова<sup>1</sup>, Ж.Ж. Ажибекова<sup>2</sup>, Э.Б. Мусирепова<sup>1</sup>, З.З. Есенкулова<sup>1</sup>, Н.М. Жайлаубаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан,

<sup>2</sup>Казахский Национальный медицинский университет имени С. Д. Асфендиярова,  
г. Алматы, Казахстан

## **ОБЗОР МЕХАНИЗМОВ КИБЕРЗАЩИТЫ В АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ**

### *Аннотация*

Этот систематический обзор изучает ключевые аспекты кибербезопасности в области автономных электрических систем. Будучи важными компонентами современных умных сетей, эти системы становятся уязвимыми перед сложными киберугрозами из-за своей автоматизации и подключённости. Обзор объединяет существующие исследования для выявления текущих уязвимостей, оценки эффективности внедрённых механизмов киберзащиты и изучения новых технологий и тенденций, направленных на повышение безопасности и устойчивости этих инфраструктур. Анализируя научные журналы, материалы конференций и отраслевые отчёты за последнее десятилетие, обзор выделяет основные типы киберугроз, такие как программы-вымогатели (ransomware), DDoS-атаки и фишинг, которые представляют значительные риски для автономных электрических систем. Он исследует использование передовых технологий, таких как алгоритмы машинного обучения для обнаружения аномалий, блокчейн для обеспечения целостности данных и квантовая криптография для безопасной коммуникации. Особое внимание уделяется применению искусственного интеллекта в прогнозировании киберугроз, что позволяет выявлять их до их возникновения, улучшая проактивные возможности систем защиты. Обзор также рассматривает применение таких рамочных концепций, как NIST Cybersecurity Framework и Zero Trust Model, которые играют важную роль в формировании стратегий безопасности в этом секторе. Также обсуждаются вызовы и возможности, связанные с адаптацией к изменяющимся киберугрозам и интеграцией технологий нового поколения в существующие системы. Этот анализ нацелен на предоставление специалистам в области кибербезопасности, политикам и исследователям практических рекомендаций и глубокого понимания киберугроз и стратегий защиты в автономных электрических системах. В конечном счёте, обзор направлен на содействие разработке более надёжных мер безопасности, укрепление устойчивости сетей и обеспечение надёжной работы энергетических систем будущего.

**Ключевые слова:** кибербезопасность, автономные электрические системы, умные сети, машинное обучение, модель Zero Trust.

### **Main provisions**

Significant emphasis is placed on the utilization of artificial intelligence for forecasting cyber dangers, enabling their detection prior to manifestation, thereby augmenting the proactive functionalities of security systems. The review analyzes the implementation of framework principles, including the NIST Cybersecurity Framework and the Zero Trust Model, which are essential in formulating security policies within this industry. The discourse encompasses the problems and opportunities linked to adapting to evolving cyber threats and incorporating next-generation technologies into current systems. This analysis seeks to furnish cybersecurity experts, policymakers, and researchers with actionable advice and a comprehensive understanding of cyber dangers and protective solutions in autonomous electrical systems. The evaluation seeks to enhance the

creation of dependable security measures, bolster network resilience, and guarantee the consistent operation of future energy systems.

### **Introduction**

Autonomous power systems are complex, autonomous power grids that use computer-based automation and control to distribute and manage electricity without ongoing human intervention. They are the foundation of modern smart grids that integrate conventional power systems with advanced information and communication technologies to improve efficiency, reliability, and sustainability. These systems include elements such as advanced computing infrastructure (AMI), automated controls, and real-time data monitoring that enable them to quickly adapt to fluctuations in electricity consumption and conditions. Using algorithms and artificial intelligence, they can predict power demands, optimize resources, and quickly identify bottlenecks to avoid outages [1]. They can also more effectively integrate renewable energy sources such as wind and solar, and adapt to their variable outputs through flexible control systems. This capability facilitates the transition to clean energy by increasing the use of renewable sources and reducing dependence on fossil fuels. The technologies facilitate two-way communication between providers and consumers, improving energy-efficient choices and managing peak demand.

These devices increase efficiency while simultaneously improving the security and stability of power grids. Integrated cybersecurity protocols enable real-time detection and response to potential cyberattacks, protecting critical infrastructure and customer data from threats [2]. This level of protection is critical as grids become increasingly computerized and interconnected with other systems, increasing vulnerability. Automation facilitates remote diagnostics and maintenance, thereby reducing downtime and the need for on-site technicians, which is beneficial for locations with difficult-to-reach or harsh conditions.

A key characteristic of autonomous power systems is their ability to evolve and improve over time using data analytics. This versatility allows utilities to respond to current conditions and anticipate and prepare for future challenges, including adverse weather conditions and changing customer behavior [3]. Their decentralized control allows local grid segments, or microgrids, to operate autonomously when disconnected from the main grid, providing a reliable option for improving grid stability and resilience in diverse locations.

Autonomous power systems are transforming the energy sector by integrating sophisticated technologies with new management strategies. They are essential for creating a sustainable, secure, and flexible energy future in which energy production, distribution, and consumption are more closely aligned with environmental and societal demands.

The increasing reliance on these technologies highlights the critical need for robust cybersecurity measures. Autonomous systems that leverage digital connectivity and data-driven approaches to power management are vulnerable to cyberthreats, including hacking, data breaches, and cyber-physical attacks. These threats can lead to major power outages, the exposure of sensitive customer data, or potential physical damage to infrastructure. Implementing robust cyber defenses is essential to protect these systems, ensuring uninterrupted operations, and a reliable energy supply. Cybersecurity protects the integrity of the grid, ensuring its resilience to disruptions and its ability to meet the demands of a highly interconnected society [4].

Cybersecurity is essential in autonomous power systems, protecting the data transmission networks that connect the various components of the smart grid. These networks carry sensitive information such as customer energy usage, operational data and control signals, making them prime targets for cybercriminals who can exploit vulnerabilities to disrupt energy distribution or steal personal information. The increasing use of Internet of Things (IoT) devices in grid networks highlights the need for robust cybersecurity protocols, as these devices can create vulnerabilities if not adequately protected.

In addition to protecting against external attacks, effective cybersecurity also addresses the risks posed by insider threats and accidental breaches, which can be equally damaging. Implementing strict access controls, conducting regular security audits, using real-time threat detection and providing ongoing training for employees are essential to maintaining system security against both internal and external threats. This integrated strategy will increase consumer confidence in digital infrastructure and enable autonomous power systems.

In addition, these cybersecurity initiatives facilitate compliance with national and international requirements for the protection of critical infrastructure [5]. Therefore, investing in cybersecurity is not just a technical necessity; it is a strategic imperative that ensures operational reliability, protects public trust, and enhances the safety and functionality of modern energy systems.

This systematic review seeks to thoroughly analyze and synthesize current knowledge on cybersecurity measures in autonomous power systems, focusing on important trends, challenges, and technological advances. It examines the spectrum of cyber threats facing these systems, the operational vulnerabilities that make them vulnerable to threats, and the various security strategies that have been proposed or adopted to mitigate these challenges. The assessment examines hardware and software solutions, regulatory frameworks, and procedural procedures designed to protect infrastructure from cyber-physical attacks, data breaches, and various security risks.

The review provides a thorough examination of current and emerging cybersecurity technologies, drawing on a variety of academic studies, case studies, and industry reports. It assesses the effectiveness of these solutions in different situations and identifies knowledge gaps for future research to address [3]. The review also considers the broader implications of these measures, including their impact on system performance and user privacy, while providing a balanced view that encompasses technical and ethical issues. The assessment aims to serve as a useful resource for researchers, industry professionals, and policymakers by carefully assessing these factors to enhance the resilience and security of critical energy infrastructure.

### **Research methodology**

To ensure comprehensive coverage of relevant studies, a comprehensive literature search was conducted across various scientific databases for the systematic review. Prominent databases included IEEE Xplore, ScienceDirect, and SpringerLink, which are recognized for their extensive collections of technical and engineering literature. Additional platforms such as Google Scholar and ACM Digital Library were used to capture a broad spectrum of multidisciplinary research linking cybersecurity and electrical engineering.

The search strategy was carefully designed with specific keywords and phrases selected to retrieve the most relevant articles. Phrases such as “autonomous power systems,” “cyberdefense,” “cybersecurity,” “smart grid,” “information security,” “cyber threats,” “vulnerabilities,” “cyberphysical systems,” and “network security” were included. Logical operators such as “AND” and “OR” were used to effectively combine different phrases, facilitating a targeted yet thorough search. To improve the results, queries such as “autonomous power systems AND cybersecurity” and “smart grid AND cyber threats” were conducted.

This systematic approach ensured that the collected literature was not only relevant to the focus of the review, but also sufficiently comprehensive to include diverse perspectives on the topic. The assessment attempted to provide a comprehensive and unbiased review of cybersecurity practices in autonomous power systems by including a variety of sources [6].

The systematic review used specific criteria to ensure the inclusion of high-quality and relevant studies. Inclusion requirements required that studies be peer-reviewed articles or conference proceedings published in reputable scientific journals or collections. The review focused on articles from the last decade that were designed to reflect current and emerging trends in cybersecurity for autonomous power systems [1]. Eligible studies should focus on cybersecurity measures, vulnerabilities, or responses to threats related to autonomous power systems, including entities such as smart grids and IoT integration within these frameworks.

Exclusion criteria were similarly stringent to maintain focus and quality. Studies were excluded if they were not in English, lacked empirical evidence, or were purely theoretical with no practical application to autonomous systems. In addition, short abstracts, opinion articles, or editorial content without a comprehensive review were excluded. Studies focused on non-electrical fields, such as general IT systems or unrelated industrial controls, were not included unless they offered specific analogies or insights relevant to autonomous electrical systems.

This systematic approach ensured that a thorough, relevant, and up-to-date literature collection was created, providing a solid foundation for analyzing and discussing cybersecurity in autonomous electrical systems.

### **Results of the study**

The systematic review clearly defines key terms to ensure clarity and accuracy. Autonomous power systems refer to complex power grids that use automation and sophisticated control technology to operate autonomously without ongoing human supervision. These systems are typically components of large-scale smart grid structures that integrate sensors, controllers, and associated communication technologies to dynamically adjust power distribution using real-time data and predictive analytics. Their independent functions improve the efficiency, reliability, and sustainability of power generation and delivery.

Cybersecurity encompasses the tactics, methodologies, and processes used to protect cyber-physical systems, networks, and data from attacks, unauthorized access, and various digital threats that can disrupt operations. In autonomous power systems, cybersecurity combines hardware and software solutions, security implementations, and proactive strategies to protect critical infrastructure from vulnerabilities and



cyberattacks [7]. Maintaining the integrity and security of power systems is critical as they are increasingly targeted by sophisticated cyberattacks due to their importance to national infrastructure.

Many established models and theories are essential for formulating cyber defense solutions for power systems. The NIST Cybersecurity Framework is a fundamental framework that provides a systematic approach to detecting, protecting, detecting, responding to, and recovering from cyber incidents. Its versatility and effectiveness make it a widely recognized standard in the power sector. The CIA triad is a fundamental principle that emphasizes the protection of confidentiality, integrity, and availability of information, essential for protecting data and protecting the operational performance of power systems from unauthorized access and disruption. In addition, the \*Defense in Depth\* approach, which establishes multiple layers of security to protect against cyber threats, is often used. This layered strategy ensures that if one defense mechanism fails, others will continue to provide protection. Intrusion Detection Systems (IDS) and Intrusion Prevention Systems (IPS) are essential for protecting network traffic by detecting and mitigating anomalies that indicate cyber attacks. Machine Learning (ML) models are becoming more widespread because they are adept at pattern analysis and detecting sophisticated cyberattacks across large datasets, providing superior performance compared to traditional methods [8]. The Zero Trust model, which requires continuous verification of all users and devices regardless of their network location, is becoming increasingly important as power systems become more interconnected and vulnerable to multiple access points. These models and tactics will help develop effective cyber defense mechanisms that are tailored to the dynamic and complex characteristics of autonomous power systems. They will enable these systems to withstand and recover from cyberattacks while maintaining the integrity of their critical operations. Autonomous power systems, which are essential for modern smart grids, are particularly vulnerable to cyber threats due to their complex and interconnected architecture. Phishing attacks are a common problem where criminals trick individuals into revealing sensitive information that compromises system security. Ransomware attacks pose a significant threat by encrypting critical operational data and demanding a ransom to decrypt it, potentially disabling grid operations. Distributed denial-of-service (DDoS) attacks can overwhelm networks, disrupting services and operational efficiency. In addition, as these systems increasingly integrate IoT devices, they are exposed to other threats, including device hijacking and botnet attacks, where compromised devices are used to carry out additional cyberattacks [9]. Supply chain attacks pose a significant risk, with criminal entities exploiting the software or hardware of third-party providers to gain access to the network's operational network. In addition, insider threats – whether intentional or unintentional – can lead to significant security breaches, highlighting the need for robust access controls and ongoing monitoring. The integration of AI and machine learning can also introduce algorithmic vulnerabilities, as the reliance on data-driven decision-making exposes the system to data manipulation or poisoning attacks that distort operational efficiency.

Man-in-the-middle (MitM) attacks, in which cybercriminals intercept and potentially alter communications between two parties, pose a significant threat to systems that rely on real-time data sharing for critical operational decisions. Zero-day exploits targeting undisclosed vulnerabilities in software or firmware pose a persistent challenge because they can be exploited before developers have the opportunity to patch them. Such vulnerabilities highlight the need for flexible and adaptable cybersecurity solutions to protect the integrity and reliability of autonomous power systems. (Figure 1).

In autonomous electrical systems, advanced cybersecurity tools and strategies are employed to safeguard infrastructure from cyber threats and maintain strong defenses. Firewalls and intrusion detection systems (IDS) serve as the initial defense, with firewalls managing network traffic based on established security rules and IDS detecting unusual or suspicious activities. Intrusion prevention systems (IPS) take this a step further by proactively blocking identified threats. Encryption plays a vital role by protecting sensitive data both in transit and at rest, ensuring it remains secure from unauthorized access or interception.

Endpoint security solutions are widely implemented to protect every device connected to the network, including servers and operational technology (OT) components like smart meters and controllers, from malware and other cyber exploits. Security Information and Event Management (SIEM) systems enhance real-time monitoring by analyzing security alerts from network hardware and applications, enabling rapid responses to potential threats. Network segmentation further strengthens security by dividing the network into isolated zones, limiting the spread of breaches and restricting attackers' lateral movement within the system [10].



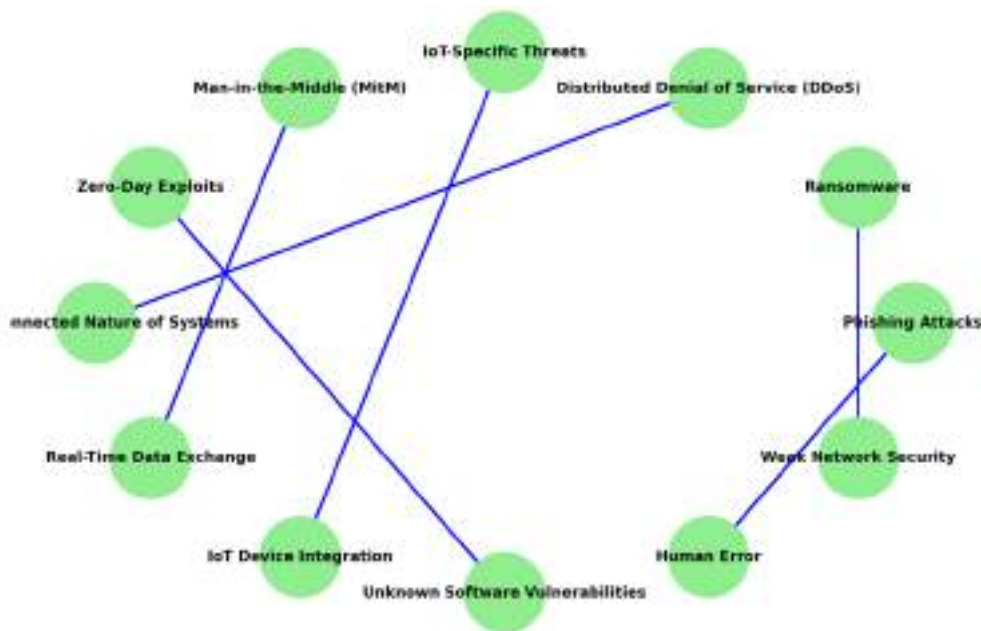


Figure 1. Cyber Threats and Vulnerabilities in Autonomous Electrical Systems: A Circular Representation

Identity and Access Management (IAM) systems play a critical role in securing access to essential systems by enforcing strict authentication and attribute-based access control policies for users. With the increasing adoption of IoT devices, specialized IoT security platforms are now commonly used to monitor and manage the security of these devices. Additionally, Zero Trust architectures are gaining traction, operating on the principle that all users and devices, whether inside or outside the network, must be continuously verified before gaining access. This approach significantly enhances the overall security framework by addressing both internal and external threats (Tables 1-2).

Table 1. Security Measures Overview

Category	Components
Network Security	Firewalls, Intrusion Detection Systems (IDS), Intrusion Prevention Systems (IPS)
Data Security Measures	Encryption Technologies, Data Masking, Tokenization
Application Security	Security Testing, Application Firewalls, Secure Coding Practices

Table 2. Advanced Security Layers

Category	Components
Identity Management	Biometric Systems, Two-Factor Authentication, Single Sign-On (SSO)
Endpoint Security	Anti-Virus and Anti-Malware, Mobile Device Management
Cloud Security	Cloud Access Security Brokers (CASB), Secure Cloud Storage, Virtual Private Networks (VPN)
Evaluation	Effectiveness, Compliance with Regulations, Integration with Existing Systems

The adoption of automated security solutions powered by artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) is on the rise. These technologies enhance the ability to predict and respond to cyber threats by analyzing historical data and detecting patterns that signal potential security breaches. Together, they form a robust cybersecurity strategy designed to protect autonomous electrical systems from a wide range of threats while maintaining their operational reliability and continuity. Real-world

incidents underscore the critical importance of cybersecurity in these systems. For example, the 2015 cyberattack on Ukraine's power grid demonstrated how hackers used phishing schemes to deploy malware, enabling them to remotely disable substations and leave approximately 230,000 people without power for several hours. This was the first documented attack to successfully disrupt operational technology within a power grid. Similarly, the Stuxnet worm, discovered in 2010, targeted SCADA systems used in Iran's nuclear facilities. It manipulated centrifuges to self-destruct while displaying normal operations, showcasing a highly sophisticated cyber-physical attack (Clark, 2021). In practice, frameworks like the North American Electric Reliability Corporation (NERC) Critical Infrastructure Protection (CIP) standards exemplify efforts to secure critical power systems. These standards mandate utilities to implement robust protection measures for cyber assets crucial to the reliability of the electric grid. To comply, many organizations are adopting advanced tools such as Security Information and Event Management (SIEM) systems and next-generation firewalls, which strengthen their cybersecurity posture [11].

The Dragonfly 2.0 campaign, active between 2011 and 2017, highlighted vulnerabilities in the energy supply chain by attempting to gain remote access to power grid operations in the US and Europe. This incident emphasized the importance of securing network boundaries and enforcing strict access controls. On a proactive front, many utilities now employ machine learning algorithms to predict and mitigate cyber threats before they materialize. These systems are integrated into operational networks to enable real-time threat monitoring and response.

These examples illustrate the evolving threats facing autonomous electrical systems and highlight the advanced strategies required to safeguard them against increasingly sophisticated cyberattacks. Building on the discussion of real-world examples highlighting the importance of cybersecurity in autonomous electrical systems, the 2017 WannaCry ransomware attack serves as a significant case study. Although its targets were broad, the attack exposed the vulnerability of critical infrastructures, including the energy sector, to global cyber threats. WannaCry exploited outdated, unpatched, or unsupported Windows systems, encrypting data and demanding ransom payments for decryption. This incident emphasized the urgent need for regular updates and security patches in critical infrastructure systems to prevent exploitation by similar malware campaigns (Foster, 2022). In response to such threats, energy companies are increasingly adopting advanced persistent threat (APT) protection techniques. These include network segmentation, continuous monitoring, and anomaly detection systems to identify and neutralize threats before they can execute or move within the network. For example, Southern California Edison (SCE) has implemented cutting-edge cybersecurity solutions to protect its operational technology. The company employs real-time monitoring and advanced analytics to detect unusual network activity, a potential sign of a cyberattack. Additionally, multi-factor authentication (MFA) and strict access controls ensure that only authorized personnel can access critical systems, reducing the likelihood of insider threats.

A suspected attack on India's power grid in 2019, allegedly carried out by state-sponsored entities, highlights the vulnerabilities facing autonomous power systems. While it has not been extinguished, it appears to have been a reconnaissance effort to map grid infrastructures for potential sabotage. The incident has prompted utilities around the world to improve their cybersecurity protocols, focusing on preventing breaches and understanding potential threats to formulate specific countermeasures (O'Donnell, 2020). These examples highlight the dynamic nature of cyberthreats to autonomous power systems and the imperative for robust, multifaceted countermeasures. Effective approaches must combine new technologies with human oversight to protect critical energy infrastructure.

Recent advances in cybersecurity are revolutionizing the way autonomous power systems are protected from the growing threat landscape. Artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) technologies have significantly improved the detection and response to cyber threats by analyzing large datasets to identify patterns that indicate attacks. These systems can quickly detect anomalies and eliminate threats in real time, thereby reducing response times and limiting potential damage. Blockchain technology is also emerging as a viable tool for securing data transmissions and

transactions in energy networks. A decentralized, tamper-resistant ledger system ensures data integrity and traceability, increasing system security. Together, these advances are changing the cybersecurity landscape for autonomous power systems, facilitating proactive and effective defense. The advent of quantum cryptography is a significant advance in cybersecurity, using concepts from quantum mechanics to protect data transmissions. This technology provides unique encryption that can potentially protect against even the most sophisticated cyberthreats, including threats from quantum computers. The introduction of zero-tolerance security models is revolutionizing conventional security methodologies. Unlike perimeter-based approaches, zero trust assumes that no person or device is inherently trusted, regardless of their location in relation to the network. This paradigm requires continuous verification of all activities, thereby significantly reducing the potential attack surface. Security automation, automation and response (SOAR) systems are increasingly important in a modern cybersecurity strategy. These solutions simplify threat detection, intelligence analysis and automation of response actions, which allows enterprises to quickly address cyber threats while conducting threat intelligence. Sophisticated endpoint detection and response (EDR) systems, combined with SOAR tools, provide extensive monitoring and response functions across all network devices, which makes it easier to quickly identify and mitigate potential threats. In the field of IoT security, which is critical for autonomous power systems, specialized platforms are being created to protect device connectivity and monitor the lifecycle of IoT devices. These technologies identify sensitive devices, facilitate rapid updates and monitor irregular activities that may indicate a security breach. Overall, these advances significantly improve the security of critical infrastructure, especially in autonomous power systems, where the consequences of attacks are severe. They offer a more flexible and robust cybersecurity framework that is better suited to address the changing threat landscape.

Artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) have become essential components of modern cyber defenses, especially in protecting autonomous power systems. These technologies provide enhanced analytics capabilities that enhance threat detection and response. AI and machine learning can rapidly analyze large data sets, identify trends and anomalies that may indicate a cyberattack. By analyzing historical data, they can predict and adapt to new strategies used by competitors. Anomaly detection algorithms can monitor network traffic in real time, identifying anomalies such as atypical data transfers or suspicious login requests that may indicate a potential breach or attack attempt. These capabilities make AI and ML indispensable tools for ensuring the security and reliability of autonomous power systems [12-13].

Machine learning (ML) is important in predictive cybersecurity because it studies patterns and trends to predict potential attacks. This allows enterprises to implement preventive strategies against potential threats, which is especially effective in autonomous power systems where minimizing downtime is critical. In addition, AI-driven security automation technologies can autonomously address identified risks by isolating affected systems or implementing remediation without human intervention. This automation significantly reduces response time and reduces the risks associated with human error. AI extends behavioral analysis by creating baseline profiles for typical network activity and identifying anomalies that may indicate malicious activity. It is particularly effective in identifying insider threats and advanced malware that can bypass conventional detection methods. In addition, AI improves phishing detection by systematically evaluating email and web content with accuracy that exceeds human capabilities. This reduces the likelihood of phishing attempts, often a prelude to large-scale, significant breaches. Applying AI and ML to cybersecurity practices will increase the security of autonomous power systems by providing scalability and efficiency. These technologies will allow defenses to dynamically respond to the ever-evolving threat landscape, addressing emerging vulnerabilities and attack methodologies. The ability to rapidly evolve is critical to maintaining an edge over cyberthreats in a dynamic and ever-changing landscape.

## Discussion

This systematic review examines the complex cybersecurity challenges facing autonomous power systems, assessing threats, vulnerabilities, and current defense solutions for these critical components of critical infrastructure. The increasing integration of modern technologies such as IoT and reliance on real-time data analytics have made these systems attractive targets for attacks. Recent advances in cybersecurity, such as the integration of artificial intelligence, machine learning, blockchain technology, and quantum cryptography, have significantly increased the ability to predict, detect, and mitigate cyberattacks. These solutions enhance security and operational efficiency, providing a dual advantage to autonomous power systems. Implementing a zero-trust architecture and endpoint detection and response systems demonstrates a proactive cybersecurity strategy that prioritizes ongoing verification and rapid threat mitigation. Artificial intelligence has transformed cybersecurity by automating and improving threat detection and mitigation, leading to more agile and adaptive systems that can respond to the evolving cyberthreat landscape. Despite these advances, the assessment highlights the need for ongoing research to address emerging vulnerabilities and the importance of maintaining robust security policies to protect against both external and internal threats. This work provides a comprehensive review of cybersecurity in critical electrical infrastructures, highlighting the need for continued innovation and vigilance. As reliance on autonomous systems increases, so too must the ability to protect them.

## Conclusion

This systematic review examines the complex cybersecurity challenges facing autonomous power systems, assessing threats, vulnerabilities, and current defense solutions for these critical components of critical infrastructure. The increasing integration of modern technologies such as IoT and reliance on real-time data analytics have made these systems attractive targets for attacks. The assessment highlights the evolution of threats, from ransomware to advanced state-sponsored cyber operations, citing real-world incidents such as the attack on Ukraine's power grid and the Stuxnet virus as clear examples of the concerns that are being raised. Recent advances in cybersecurity, such as the integration of artificial intelligence, machine learning, blockchain technology, and quantum cryptography, have significantly increased the ability to predict, detect, and mitigate cyberattacks. These solutions enhance security and operational efficiency, providing a dual advantage to autonomous power systems. Implementing a zero-trust architecture and endpoint detection and response systems demonstrates a proactive cybersecurity strategy that prioritizes ongoing verification and rapid threat mitigation. Artificial intelligence has transformed cybersecurity by automating and improving threat detection and mitigation, leading to more agile and adaptive systems that can respond to the evolving cyberthreat landscape. Despite these advances, the assessment highlights the need for ongoing research to address emerging vulnerabilities and the importance of maintaining robust security policies to protect against both external and internal threats. This paper provides a comprehensive review of cybersecurity in critical electrical infrastructures, highlighting the need for continued innovation and vigilance. As reliance on autonomous systems increases, so too must the ability to protect them.

## References

- [1] Brown M., Foster L. (2016) *Zero Trust Model: Rethinking Security in the Age of Remote Operations*. *Cybersecurity Rev.* 12, 213–230. URL: <https://doi.org/10.48047/nq.2022.20.6.NQ23044>
- [2] Clark J., Patel K. (2021) *Ransomware Attacks in the Energy Sector: A Call for Advanced Cybersecurity Measures*. *J. Energy Security*. 6, 92–107. URL: <https://doi.org/10.1080/02646811.2021.1943935>
- [3] Davis S., Kumar P. (2018) *Machine Learning for Network Security: A Review of Threat Detection Techniques*. *Network Security*. 6, 19–25. URL: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.107840>

- [4] Edwards C., Robinson N. (2019) IoT Security Management in Electrical Systems. *J. Internet Things*. 5, 89–104.
- [5] Foster J., Greenwood A. (2022) Application of Blockchain in Securing Autonomous Energy Systems. *Blockchain in Business*. 3, 78–89. URL: [DOI:10.1088/1742-6596/1626/1/012057](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1626/1/012057)
- [6] Garcia M., Thompson H. (2018) The Role of Machine Learning in Predictive Cyber Defense. *AI & Society*. 33, 117–129. URL: <https://doi.org/10.1145/3545574>
- [7] Bonandir, N. A., Jamil, N., Nawawi, M. N. A., Jidin, R., Rusli, M. E., Yan, L. K., & Maudau, L. L. A. D. (2021, March). A review of cyber security assessment (CSA) for industrial control systems (ICS) and their impact on the availability of the ICS operation. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1860, No. 1, p. 012015). IOP Publishing. Harrison G., Sanders T. (2019) A Comprehensive Study on IoT Security in Smart Grids. *Smart Grid Tech*. 4, 154–165. URL: [DOI:10.1088/1742-6596/1860/1/012015](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1860/1/012015)
- [8] Andoni, M., Robu, V., Flynn, D., Abram, S., Geach, D., Jenkins, D., ... & Peacock, A. (2019). Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. *Renewable and sustainable energy reviews*, 100, 143-174. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.014>
- [9] Machová K., Mach M., Porezaný M. Deep learning in the detection of disinformation about COVID-19 in online space // *Sensors*. – 2022. – T. 22. – №. 23. – С. 9319. URL: <https://doi.org/10.3390/s22239319>
- [10] Singh J. P. et al. Attention-based LSTM network for rumor veracity estimation of tweets // *Information Systems Frontiers*. – 2022. – С. 1-16. URL: <https://doi.org/10.1007/s10796-020-10040-5>
- [11] Al-Ibrahim R. M., Ali M. Z., Najadat H. M. Detection of hateful social media content for arabic language // *ACM Transactions on Asian and Low-Resource Language Information Processing*. – 2023. – T. 22. – №. 9. – С. 1-26. URL: <https://doi.org/10.1145/3592792>
- [12] Chung J. Empirical evaluation of gated recurrent neural networks on sequence modeling // *arXiv preprint arXiv:1412.3555*. – 2014. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1412.3555>

**ИНФОРМАТИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ. БІЛІМ БЕРУДІ АҚПАРАТТАНДЫРУ**  
**МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОРМАТИКИ. ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**METHODS OF TEACHING COMPUTER SCIENCE. INFORMATIZATION OF EDUCATION**

ҒТАХР 14.25.09

10.51889/2959-5894.2024.88.4.020

Ә.Б. Абдулаева<sup>1\*</sup>, Б.Р. Сакибаева<sup>1</sup>, Қ.Р. Жақпаев<sup>1</sup>, Н.Ж. Жанатбекова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>«І.Жансүгіров атындағы Жетісу университеті» КЕАҚ, Талдықорған қ., Қазақстан  
<sup>\*</sup>*e-mail: abdulaeva1aigerim@gmail.com*

**ФИЗИКАНЫ ОҚЫТУДА КОМПЬЮТЕРДІ ҚОЛДАНУ МҮМКІНДІКТЕРІ:  
ОПТИКА БОЙЫНША ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫСТЫ ОРЫНДАУ МЫСАЛЫНДА**

*Аңдатпа*

Мақалада оптика бойынша зертханалық жұмыстарды орындауда («Ньютон сақиналары арқылы линзаның қисықтық радиусын анықтау» зертханалық жұмысын орындау мысалында) компьютерді қолдану мүмкіндіктері қарастырылған. Зерттеудің мақсаты экспериментті жүргізу, деректерді өңдеу және нәтижелерді ұсыну процесінде компьютерді пайдаланудың артықшылықтары мен кемшіліктерін анықтау болды. Зерттеу барысында зертханалық жұмыстарды орындау барысында дәстүрлі әдістер де, компьютерлік бағдарламалар да қолданылды. Кейін зертханалық жұмыстарды орындаудың әрбір түрінің білім алушылардың қабылдауына, алынған нәтижелердің дәлдігіне және тиімділігіне әсері салыстырмалы түрде талданды. Зерттеу нәтижелері компьютерлік бағдарламалар өлшеу дәлдігін арттыруды, деректерді өңдеу процесін жылдамдату және нәтижелерді көрнекі етуді қамтамасыз ететінін көрсетті. Дегенмен, техникалық жабдықтарға тәуелділік және білім алушыларды бағдарламалық жасақтамамен жұмыс істеуге алдын ала дайындау қажеттілігі сияқты кейбір шектеулер де анықталды. Зерттеудің маңыздылығы физиканы оқытуда компьютерлік технологияларды қолдану әдістемесін жетілдірумен байланысты болып табылады. Бұл мамандарды дайындау сапасын арттыруға мүмкіндік береді және заманауи білім беру стандарттарына сәйкес келеді.

**Түйін сөздер:** толқындық оптика, интерференция, Ньютон сақиналары, компьютер, зертханалық жұмыс, физиканы оқыту әдістемесі.

А.Б. Абдулаева<sup>1</sup>, Б.Р. Сакибаева<sup>1</sup>, Қ.Р. Жақпаев<sup>1</sup>, Н.Ж. Жанатбекова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НАО «Жетісуский университет имени И.Жансугурова», г. Талдықорған, Казахстан  
**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРА ПРИ ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ:  
НА ПРИМЕРЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ОПТИКЕ**

*Аннотация*

Статья посвящена исследованию применения компьютера в образовательном процессе при выполнении лабораторных работ по оптике, на примере эксперимента «Определение радиуса кривизны линзы с помощью колец Ньютона». Цель исследования заключалась в выявлении преимуществ и недостатков использования компьютера в процессе проведения экспериментов, обработки данных и представления результатов. Методология исследования включала проведение лабораторной работы с использованием как традиционных методов, так и компьютерных программ, с последующим сравнительным анализом эффективности, точности и восприятия обучающимися различных подходов. Результаты исследования продемонстрировали, что компьютерные программы обеспечивают повышение точности измерений, ускоряют процесс обработки данных и делают результаты более наглядными. Однако выявлены и некоторые ограничения, такие как зависимость от технического оснащения и необходимость предварительной подготовки обучающихся к работе с



программным обеспечением. Значимость исследования заключается в развитии методического подхода к внедрению цифровых технологий в естественнонаучное образование, что способствует совершенствованию лабораторного практикума, повышению качества подготовки специалистов и соответствию современным образовательным стандартам.

**Ключевые слова:** волновая оптика, интерференция, кольца Ньютона, компьютер, лабораторные работы, методика преподавания физики.

A. Abdulayeva<sup>1</sup>, B. Sakibayeva<sup>1</sup>, K. Zhakpayev<sup>1</sup>, N. Zhanatbekova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>NPJSC «Zhetysu University named after I. Zhansugurov», Taldykorgan, Kazakhstan

### **POSSIBILITIES OF COMPUTER USE IN TEACHING PHYSICS: THE EXAMPLE OF LABORATORY WORK ON OPTICS**

#### *Abstract*

The article is devoted to the study of computer application in the educational process when performing laboratory works in optics, on the example of the experiment «Determination of the radius of curvature of a lens using Newton's rings». The aim of the study was to identify the advantages and disadvantages of using a computer in the process of conducting experiments, data processing and presentation of results. The methodology of the study involved conducting laboratory work using both traditional methods and computer software, followed by a comparative analysis of the effectiveness, accuracy and learner perception of the different approaches. The results of the study demonstrated that computer programmes provide improved accuracy of measurements, speed up data processing and make the results more visible. However, some limitations, such as dependence on technical equipment and the need for prior training of learners to use the software, were also identified. The significance of the study lies in the development of a methodological approach to the introduction of digital technologies in science education, which contributes to the improvement of laboratory practice, enhancing the quality of specialist training and compliance with modern educational standards.

**Keywords:** wave optics, interference, Newton's rings, computer, labwork, methods of teaching physics.

#### **Негізгі ережелер**

Зерттеу білім беру процесінде, әсіресе физиканы оқыту контекстінде компьютерлік технологияны қолдану мәселелеріне бағытталған. Зерттеудің мақсаты «Ньютон сақиналары арқылы линзаның қисықтық радиусын анықтау» зертханалық жұмысын орындау үшін компьютерлік бағдарламаларды пайдалану болып табылады. Зерттеу нәтижелері физикалық шама сенсорларынан деректерді компьютерлік өңдеу – өлшеу процесін жеңілдетіп қана қоймай, оны білім алушылар үшін қол жетімді және қызықты ететінін растады. Осылайша, мақала білім алушылардың физикалық процестер туралы түсінігін жақсартуға және олардың оқуға деген ынтасын арттыруға ықпал ететін физика саласындағы білім беру процесіне компьютерлік технологияның оң әсерін растайтын зерттеу болып табылады.

#### **Кіріспе**

Заманауи жаратылыстану ғылыми білім беру – білікті мамандарды даярлаудың ажырамас бөлігіне айналған цифрлық технологияларды белсенді енгізуді талап етеді. Компьютерлік техника мен бағдарламалық қамтамасыз етудің қарқынды дамуы жағдайында білім беру процесінде цифрлық әдістерді қолдану оқытудың тиімділігін арттыру үшін жаңа мүмкіндіктер ашады. Атап айтқанда, зертханалық жұмыстарды орындауда компьютерлік технологияларды қолдану өлшеу дәлдігін арттыруға, эксперименттік деректерді өңдеуді оңтайландыруға және нәтижелерді көрнекі түрде ұсынуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, білім беру процесіне цифрлық құралдарды енгізу бірқатар әдіснамалық және практикалық қиындықтармен байланысты. Осындай қиындықтардың бірі цифрлық технологиялардың техникалық мүмкіндіктері мен білім алушылардың зерттеу және практикалық дағдыларын дамытуға бағытталған білім беру мақсаттары арасындағы сәйкестікті қамтамасыз ету болып табылады. Сонымен қатар, компьютерлік технологияларды қолдану білім алушыларды бағдарламалық



жасақтамамен жұмыс істеуге алдын-ала дайындауды талап етеді, бұл компьютерді жаппай тәжірибеге енгізу процесін қиындатуы мүмкін.

Зерттеудің мақсаты физика бойынша зертханалық жұмыстарды орындауда компьютерді пайдаланудың артықшылықтары мен кемшіліктерін анықтау болып табылады. Зерттеу жоғары өлшеу дәлдігін және деректерді мұқият өңдеуді қажет ететін «Ньютон сақиналары арқылы линзаның қисықтық радиусын анықтау» зертханалық жұмысының мысалында жүргізілді.

Заманауи компьютер біздің өміріміздің ажырамас бөлігі болып табылады, ол тек техникалық құрал ретінде ғана емес, сонымен қатар жаңа білім, білік және дағдыларды игеру құралы ретінде де қолданыла алады. Компьютерді оқу процесіне интеграциялау эксперименттер мен зерттеулерді дербес түрде сапалы жүргізуді қамтамасыз ете отырып, білім алу мүмкіндіктерін кеңейтеді.

Зертханалық жұмыстарды орындау кезінде білім алушылар физикалық құбылыстарды бақылайды, физикалық құралдарды қолдануға үйренеді, сонымен қатар деректерді талдау дағдыларын дамытады. Дегенмен, уақыттың шектеулілігі және зертханалық жабдықты жаңартуға байланысты қиындықтар болады. Көптеген зерттеушілер мен физика пәні мұғалімдері зертханалық сабақтарға компьютерлік технологияны енгізу аталған мәселелерді шеше алады деп есептейді. Мәселен, Fiolhais C., Trindade J. [1] физиканы оқытудағы өз тәжірибелерін сипаттай отырып, оқушылардың үлгерімін арттырудағы есептеу технологияларының ролін жан-жақты талдаған. Ал білім берудегі бағдарламалық қамтамасыз етудің тиімді бағалау жүйесін Avouris N. M. және оның әріптестері [2] зерттеулерінде келтірген. Авторлар оқу бағдарламалық қамтамасыз ету жүйесінің қолдану тиімділігін бағалаумен байланысты сұрақтар мен әдістерді сипаттаған. Aşıksoy G., Islek D. [3] білім алушылардың виртуалды зертханалық жұмыстарға пікірін білу мақсатында тестке дейінгі (pretest) және тесттен кейінгі (post-test) бақылау тобы әдісін қолданған. Зерттеу барысында жүргізілген жартылай құрылымдалған сұхбаттасу нәтижелері білім алушылардың виртуалды физикалық зертхананы орындауға қатысты оң пікірінің қалыптасқандығын көрсетті. Алайда, виртуалды зертханалық жұмыстар табиғи эксперименттерді толығымен алмастыра алмайтындығын түсіну қажет. Бұл Словениялық орта мектепте жүргізілген Špernjak A., Šorgo A. [4] зерттеуі нәтижелерімен сәйкес келеді. Дәстүрлі әдістер мен заманауи тәсілдердің ақылға қонымды үйлесімі білім алушылардың негізгі дағдыларын ғана емес, зерттеу дағдыларын да қалыптастыруға ықпал етеді.

Әдебиеттерге жасалған талдау көрсеткендей, жаратылыстану пәндерін оқытуда компьютерлік технологияларды қолдану дәстүрлі әдістермен тиімді үйлесіп, білім алушылардың берік білімін қалыптастыруға және зерттеу дағдыларын дамытуға ықпал етеді. Мысалы, Garraway Lashley Y. [5] зерттеуі квазиэксперименттік әдіс арқылы жүргізілген, эксперименттік топта биологияны оқуда компьютерлік технологиялар, бақылау тобында дәстүрлі оқыту әдістері қолданылған. Зерттеу барысында эксперименттік топ білім алушылары айтарлықтай жақсы нәтиже көрсеткені анықталды. Бұл оқу үлгерімін арттыру үшін компьютерлік технологияларды қолданудың маңыздылығын айқындайды.

Blanco-García J. мен Dorrió B. V. [6] білім алушыларды оптиканың негізгі принциптерімен және оның практикалық қолданылуымен таныстыру үшін бірқатар демонстрациялық эксперименттер құрастырған. Зерттеу нәтижелері білім алушыларға негізгі ғылыми тұжырымдамаларды таныстырудағы интерактивті оқытудың маңыздылығын көрсетеді.

Gormally C. және оның әріптестері [7] зерттеуінде зертханалық сабақтардың оқушылардың ғылыми сауаттылығын және зерттеу дағдыларын дамытудағы мүмкіндіктерін сипаттаса, Putri L. A. бастаған ғалымдар тобы [8] зерттеу жұмысы білім алушылардың жарық және оптика саласындағы ғылыми сауаттылығын арттыру мақсатында виртуалды зертхананы қолдануды талдауға бағытталған. Толқындық оптика бойынша табиғи оқу эксперименттерінің саны көп емес. Бұл тұрғыда компьютерлік модельдеу физикалық процестердің көрнекілігі мен егжей-тегжейлілігін жақсартуға мүмкіндік беретін маңызды қосымшаға айналады. Оптиканы

оқытумен байланысты зерттеулердің көпшілігі компьютер арқылы оқу процесін басқаруға қатысты мәселелерге бағытталған, кейбір зерттеулерде компьютерлік технологиялардың дидактикалық мүмкіндіктері қарастырылған. Мәселен, Donald C. O'Shea өз зерттеуінде оптика зертханаларын сипаттады. Автор білім алушылар қарапайым эксперименттер жиынтығынан бастап заманауи оптикалық аспаптар қолданылатын төрт эксперименттер жиынтығына, содан кейін оптикалық тестілеу, өндіріс, электрооптика, линзалар дизайны және оптомеханикалық дизайн бойынша мамандандырылған зертханалар жиынтығына ауыса алатынын атап өтті [9].

Gilani T. H. мен Dushkina N. M. [10] Массачусетс штатындағы Миллерсвилл университетінде 2007 жылы жүргізілген PHYS 331 Optics курсы сипаттаған. Бұл курстың зертханалық бөлімінде жаңалықтарға негізделген тәсіл қолданылған. Білім алушылар гипотезаны зерттеген, эксперименттер әзірлеген және жүргізген, қатынастар мен нәтижелерді болжаған, деректерді өңдеген. Бұл курс бакалавриаттың зерттеу және оқу бағдарламаларына әсер еткен. Jesús Blanco-García, Benito V. Dorrió [6] мақаласында негізгі оптикалық ұғымдарды демонстрациялау тәжірибесін және олармен байланысты қолданбалы технологияларды қарастырған. Оптикалық құбылыстарды зерттеудің өзектілігі Ndihokubwayo K., Uwamahoro J., Ndayambaje I. [11] мақаласында сипатталған. Зерттеуде білім алушылардың үлгерімі оқудан бұрын және одан кейінгі әр топ үшін геометриялық оптиканы тұжырымдамалық түсіну тестін өткізу арқылы бағаланды. PhET модельдеу және YouTube видеоматериалдары қолданылған топтардағы білім алушылардың үлгерімінің орташа өсімі сәйкесінше 12% және 11% құрады, ал тек дәстүрлі оқыту әдістерін қолданған топта тек 2% -ға өскен. Бұл нәтижелер білім алушылардың манипуляциясыз PhET модельдеуін қолдану (осы зерттеуде қолданылғандай) YouTube видеоларын пайдалану сияқты тиімді екенін көрсетеді. Laura Lobato және басқалары [12] зерттеуінде SummerLight білім беру жобасы сипатталған, зерттеу авторлары физиканы оқытуда үлкен маңызға ие және білім алушыларға интерактивті және практикалық тәсіл арқылы күрделі ұғымдарды түсінуге мүмкіндік беретін оптикалық эксперименттерді ерекшелеген.

Әдебиеттерге жасалған талдау негізінде толқындық оптика бойынша білім алушылардың білім деңгейін арттыруға келесі тәсілдер ықпал ететіндігі болжанды:

1. Толқындық оптика бойынша дәстүрлі экспериментті күшейту және жетілдіру.

2. Зертханалық жұмысты орындау барысында компьютерлік бағдарламаларды қолдану арқылы толқындық оптика бойынша оқу эксперименттерін жетілдіру.

Зерттеу нәтижелері өлшеу дәлдігі мен деректерді өңдеу тиімділігін арттыру үшін компьютерлік технологияны қолданудың орындылығын растайды деп күтілді. Сондай-ақ, компьютерлік бағдарламаларды қолдану материалды саналы түрде игеруге ықпал ете отырып, білім алушылардың физикаға деген қызығушылығын арттырады деп болжанды.

Зерттеудің маңыздылығы компьютерлік технологияларды оқу процесіне интеграциялаудың әдістемесін жетілдірумен байланысты.

### **Зерттеу әдіснамасы**

Зерттеу мақсатына жету үшін дәстүрлі әдістер мен компьютерлік технологияларды қолдана отырып, екі кезеңге бөлінген эксперименттік тәсіл қолданылды. Бірінші кезеңде білім алушылар экранда Ньютон сақиналарын бақылап, интерференциялық сақиналардың радиустарын тіркеді және төменде көрсетілген есептеу формулаларын қолдана отырып линзаның қисықтық радиусын есептеді. Ньютон сақиналарын бақылауға арналған қондырғы 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1. Ньютон сақиналарын бақылауға арналған қондырғы

Жарық көзі – қуат көзі бар, екі конденсорлы сынап лампа. Конденсор немесе жарықтандырушы линза Ньютон сақиналарын алуға арналған қондырғы мен сынап шамының арасына орнатылады. Жинағыш линза көмегімен светофильтрі бар ұстағыш арқылы экранға сақиналардың және миллиметрлік өлшеу шкаласының үлкейтілген кескіні проекцияланады. Экран оптикалық үстелде линзадан 40 см қашықтықта орналасқан. Шкаланың бөлік құны 1 мм. Ньютон сақиналарын бақылау өткінші жарықта жүзеге асырылады.

Бұл қондырғыда түйісу нүктесінен  $r$  қашықтықтағы ауа саңылауының қалыңдығы  $d \pm \Delta d$  болады, линза мен пластинканың түйісуі идеал емес. Егер линза мен пластинка арасында шаң бөлшектері болса  $\Delta d$  шамасы оң мәнге ие, линзаның пластинкаға түсіретін жоғары қысымы жағдайында теріс мәнге ие болады. Сонымен, интерференцияланатын сәулелер жүрісінің оптикалық айырмасы:

$$\Delta = 2(d \pm \Delta d)$$

$$R^2 = r^2 + (R - d)^2, r^2 = 2Rd - d^2 \text{ сәйкес, себебі } d^2 \ll 2Rd, r^2 = 2Rd, r = \sqrt{2Rd}$$

$$\Delta = 2 \left( \frac{r^2}{2R} \pm \Delta d \right) = \frac{r^2}{R} \pm 2\Delta d$$

Қараңғы сақина үшін  $\Delta = (2m - 1) \frac{\lambda}{2}$ , яғни

$$\frac{r^2}{R} \pm 2\Delta d = (2m - 1) \frac{\lambda}{2}$$

екі әртүрлі сақиналар үшін

$$\left. \begin{aligned} \frac{r_m^2}{2R} \pm 2\Delta d &= (2m - 1) \frac{\lambda}{2} \\ \frac{r_n^2}{2R} \pm 2\Delta d &= (2n - 1) \frac{\lambda}{2} \end{aligned} \right\} \rightarrow R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{\lambda(m - n)}$$

Есептеулер үшін алынған формуланы келесідей жазайық:

$$R = \frac{(r_m - r_n)(r_m + r_n)}{\lambda(m - n)}$$

Монохроматты жарықтың  $\lambda$  толқын ұзындығын біле отырып және қондырғыдағы сақиналардың радиустарын өлшеп  $R = \frac{(r_m - r_n)(r_m + r_n)}{\lambda(m - n)}$  формуласын қолданып линзаның  $R$  қисықтық радиусын есептеуге болады.

$$\lambda = \frac{(r_m - r_n)(r_m + r_n)}{R(m - n)}$$

өрнегі белгілі қисықтық радиус бойынша толқын ұзындығын анықтауға мүмкіндік береді.

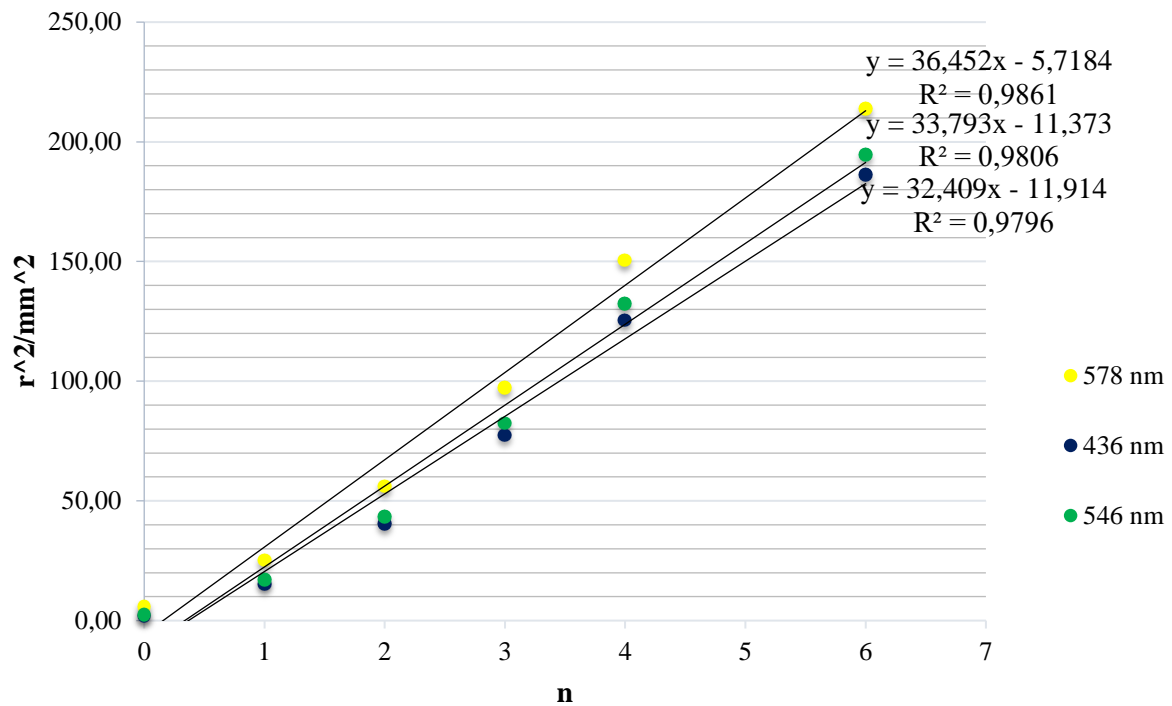
Деректерді талдау үшін MS Excel кестелік процессоры пайдаланылды, бұл әртүрлі толқын ұзындықтары үшін интерференциялық сақина радиусының реттік нөмірге тәуелділік графигін сызуға; тренд сызығын құру функциясын қолдана отырып, эксперименттік деректерді аппроксимациялауға мүмкіндік берді. Бұл кезеңде компьютерлік бағдарламалар есептеу мен аналитикалық процестерді жеңілдете отырып, деректерді өңдеу мен визуализациялау үшін қолданылды. Екінші кезеңде эксперимент компьютерге жалғанған жарық датчигінің көмегімен толықтырылды. Ньютон сақиналары бақыланған экран - арақашықтыққа байланысты жарықтың қарқындылығын тіркейтін датчикпен ауыстырылды. Алынған мәліметтер өлшеулерді автоматтандыруға және олардың дәлдігін арттыруға мүмкіндік беретін бағдарламалық жасақтаманың көмегімен өңделді.

### **Зерттеу нәтижелері**

Оптикада зерттелетін құбылыстар ауқымы үнемі кеңейіп отырады және іс жүзінде оптика негізгі физикалық көзқарастар мен жаңалықтардың, көптеген іргелі зерттеулердің дамуына үлкен әсер етеді. Физиканы оқытуда оптикалық құбылыстарды, оптика заңдарының қолданылуын зерттеу білім алушылардың жаратылыстану дүниетанымын, әдіснамалық білімін қалыптастыруда, олардың логикалық және теориялық ойлауын, политехникалық білімін дамытуда үлкен маңызға ие.

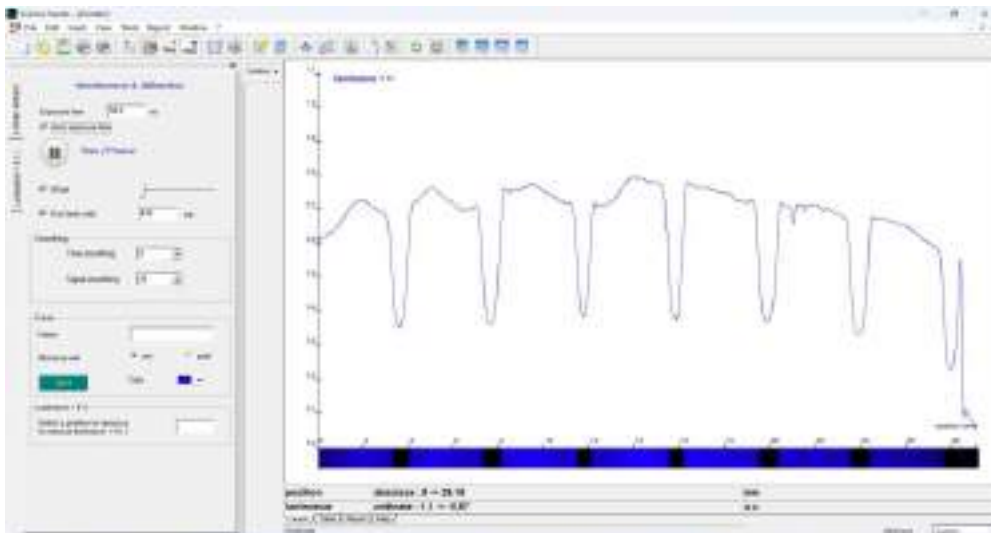
Оқыту тәжірибесі көрсеткендей, білім алушылардың толқындық оптика негіздерін зерттеуі мен қабылдауы оптикалық ұғымдардың абстрактілігімен, жарық қасиеттерінің қарама-қайшылығымен, кванттық зерттеу объектілерінің көрнекілігінің аздығымен; оқытушылардың ауызша оқыту әдісін негізгі әдіс ретінде қолдануымен; табиғи эксперименттің шектеулі мүмкіндіктерімен байланысты оптиканы зерттеу процесін эксперименттік қолдаудың жеткіліксіздігімен түсіндірілетін бірқатар қиындықтармен бірге жүреді; табиғи эксперимент әрдайым көрнекі бола бермейді және көбінесе сапалы сипатқа ие. Мұның бәрі білім алушылардың толқындық оптика бойынша негізгі білімдері мен эксперименттік дағдыларының қажетті деңгейде қалыптаспауына алып келеді. Білім алушыларда жарықтың интерференциясы мен дифракциясы, когеренттілік ұғымы және т.б. сияқты оптикалық құбылыстар туралы қажетті білім қалыптаспағандықтан, олар алған білімдерін физикалық құбылыстарды түсіндіруде қолдана алмайды және нақты физикалық есептерді шеше алмайды. Интерференция теориясы табиғаты әртүрлі (механикалық, электромагниттік, кванттық-толқындық) толқындық процесстердің жалпы физикалық теориясы болып табылады.

Зертханалық жұмыс екі кезеңде орындалды. Бірінші кезеңде білім алушылар экранда Ньютон сақиналарын бақылап, сақиналардың радиустарын жазып, есептеу формулаларын қолдана отырып, линзаның қисықтық радиусын анықтады. Алынған сандық деректерді пайдалана отырып, білім алушылар интерференциялық сақиналардың радиусының әртүрлі толқын ұзындықтары үшін реттік нөмірге тәуелділігін графикке салды, бұл тапсырманы орындау үшін MS Excel кестелік процессоры пайдаланылды. Эксперименттік деректерді жуықтау графикте тренд сызығын құру арқылы жүзеге асырылды. Жұмыс нәтижелері 2-суретте көрсетілген. Түзулердің көлбеулігі бойынша білім алушылар линзаның қисықтық радиусын анықтады.



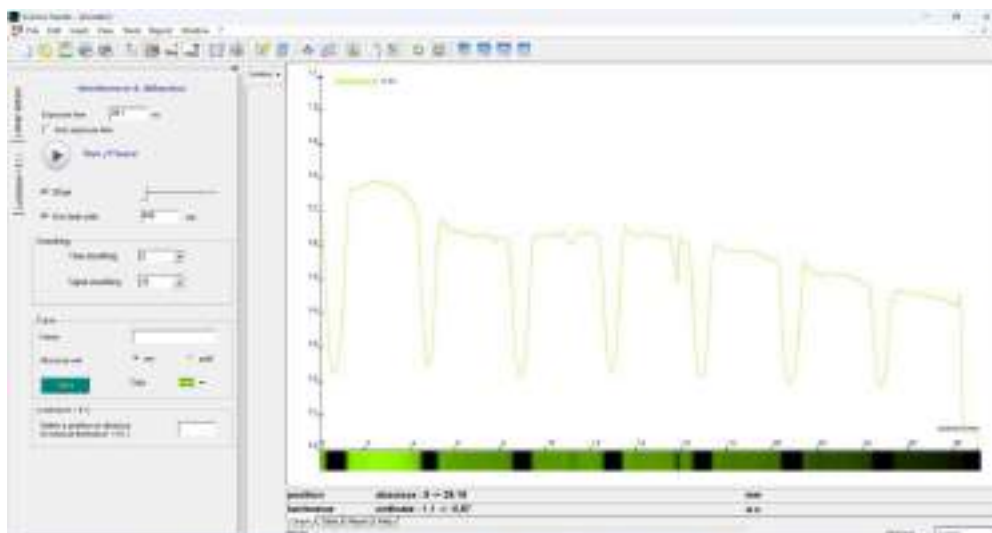
Сурет 2. Әртүрлі толқын ұзындықтары үшін интерференциялық сақина радиустарының реттік номерге тәуелділігі

Эксперименттердің екінші кезеңінде білім алушылар экранды компьютерге қосылған жарық датчигімен ауыстырды. Үшінші - бесінші суреттерде алынған нәтижелер көрсетілген. 3-суретте жарықтылықтың арақашықтыққа тәуелділігі көрсетілген (толқын ұзындығы 436 нм үшін).



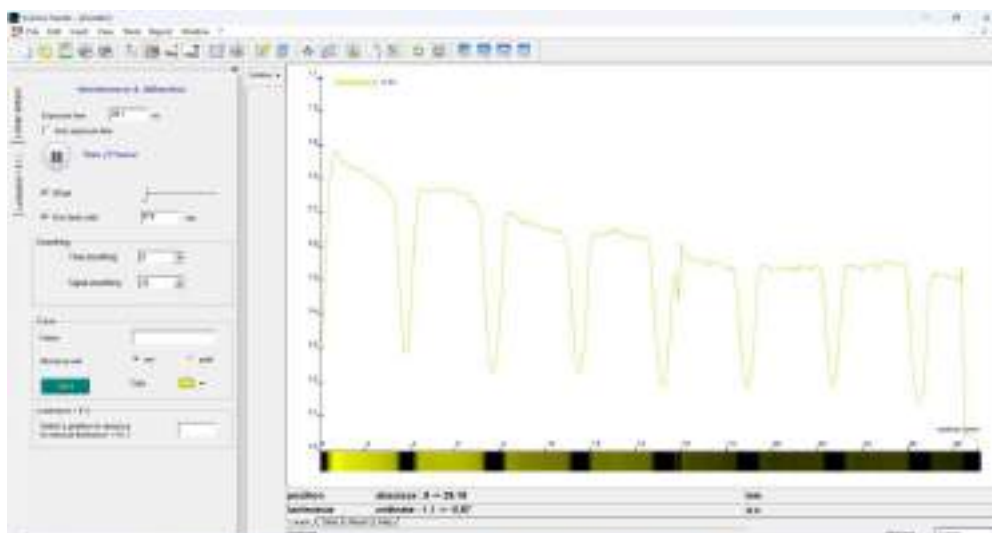
Сурет 3. Жарықтылықтың арақашықтыққа тәуелділігі (толқын ұзындығы 436 нм)

4-суретте толқын ұзындығы 546нм жарық үшін жарықтылықтың арақашықтыққа тәуелділігі көрсетілген.



Сурет 4. Жарықтылықтың арақашықтыққа тәуелділігі (толқын ұзындығы 546 нм)

5-суретте жарықтылықтың арақашықтыққа тәуелділігі көрсетілген (толқын ұзындығы 578 нм үшін).



Сурет 5. Жарықтылықтың арақашықтыққа тәуелділігі (толқын ұзындығы 578 нм)

Зертханалық жұмысты орындауда осы кезеңдерді қолдану білім алушылардың жарық интерференциясымен байланысты Ньютон сақиналарының пайда болуы құбылысын тереңірек түсінуіне ғана емес, заманауи ақпараттық технологияларды қолдана отырып, эксперименттік деректерді өңдеу және талдау әдістерін игеруіне мүмкіндік берді. Бұл осы зерттеудің ғылыми маңыздылығын айқындайды.

### Дискуссия

Опиканы оқыту процесін жетілдіру, біздің ойымызша, компьютерлік технологияларды қолдана отырып, эксперименттік қолдауды жетілдіру арқылы қамтамасыз етіледі. Компьютерлік модельдеуді қолдану нақты көрінетін физикалық процестердің ғана емес, сонымен қатар тікелей бақылау үшін қол жетімді емес құбылыстардың көрнекі динамикалық иллюстрацияларын жасауға мүмкіндік береді. Бұл оқу физикалық эксперименттерін жүргізуде және әртүрлі есептерді шешуде үлкен дәлдікті қамтамасыз етеді.

Заманауи компьютерлік эксперименттер көмекші жабдықпен бірге әртүрлі процестерді жоғары деңгейде зерттеуге мүмкіндік береді. Оптиканы оқытуда осындай компьютерлік әдістерді қолдану нақты эксперименттер жүргізуге байланысты мәселелерді жеңуге мүмкіндік береді және тиімді оқыту мүмкіндігін тудырады. Бұл білім алушылардың тұлғалық дамуына және жаңа білім беру міндеттерін қоюға және шешуге, соның ішінде модельдік идеяларды қалыптастыруға, ақпараттық және коммуникативтік дағдыларды дамытуға ықпал етеді.

Оптика өзінің жоғары танымдық құндылығына, оптикалық құбылыстардың диалектикасына және жарық туралы қазіргі тұжырымдардың әдіснамалық сипатына байланысты физикалық білім беруде ерекше орын алады. Ол сондай-ақ маңызды қолданбалы мәнге ие және ғылыми-техникалық прогресте шешуші рөл атқарады. Жарық ілімінің артындағы идеялар қазіргі физиканың дамуымен тығыз байланысты, соның ішінде жарық жылдамдығының инварианттылығы мен шектілігі, сәулеленудің дискретті табиғаты және атомдардың жарықты сіңіруі және мектептегі физика курсына оқытылатын жарықтың корпускулалық-толқындық қасиеттері.

Ньютон сақиналарымен тәжірибе жасау - бұл интерференцияның әдемі және маңызды көрінісі. Компьютерді пайдаланбай жүргізілетін осы зертханалық жұмыс білім алушылардың көпшілігіне жақсы таныс. Экспериментті орындау кезінде білім алушылар компьютерді деректерді жинау және талдау құралы ретінде пайдаланды. Эксперименттер кезінде білім алушылар перифериялық ақпарат ішінде адаспай, интерференциялық эффектілердің мәнін түсінуге назар аударды. Сонымен қатар, компьютер линзаның қисықтық радиусын анықтау үшін де қолданылды. Деректер бағдарламалық жасақтамада жасаған нәтижелермен бірге экранға шығарылды.

### **Қорытынды**

Ньютон сақиналары арқылы жарықтың интерференциясын бақылауға бағытталған зерттеу нәтижесінде жарықтың табиғаты туралы теориялық және эксперименттік деректерді талдау үшін компьютерді қолдану мүмкіндігін сипаттайтын маңызды ғылыми тұжырымдарға қол жеткізілді.

Жасалған эксперимент нәтижелері жарық интерференциясының теориялық моделімен сәйкес келді. Сақина радиустарын өлшеу және әртүрлі толқын ұзындықтары үшін Ньютон сақиналарының радиусының реттік нөмірге тәуелділік графигін сызу - толқын ұзындығы сияқты параметрдің өзгеруі интерференциялық көрініске қалай әсер ететінін көрсетті. Тренд графигі негізінде линзаның қисықтық радиусын анықтау эксперименттік деректердің теориялық болжамдарға сәйкестігін растады.

Эксперименттің екінші кезеңінде экранды заманауи жарық датчигімен ауыстыру - өлшеу дәлдігін едәуір арттырды. Әртүрлі толқын ұзындықтары үшін жарықтылықтың арақашықтыққа тәуелділігі таңдалған эксперименттік әдістің сенімділігін растай отырып, интерференцияның теориялық модельдерімен жоғары үйлесімділікті көрсетті.

Эксперименттік деректерді өңдеу үшін MS Excel кестелік процессорын қолдану, соның ішінде тренд сызығы арқылы деректерді жуықтау нәтижелерді талдау мен визуализациялауда жоғары тиімділікті көрсетті. Бұл үлкен көлемдегі деректерді өңдеуге ғана емес, сонымен қатар эксперимент нәтижелерін дәлірек жуықтауға және түсіндіруге мүмкіндік беретін ғылыми талдау құралы ретінде ақпараттық технологияларды қолданудың маңыздылығын растайды.

Зерттеу нәтижелері физиканы оқытуда заманауи технологиялар мен эксперименттік қондырғыларды қолданудың практикалық маңыздылығын көрсетеді. Ньютон сақиналары жарықтылығының арақашықтық пен жарықтың толқын ұзындығына тәуелділігі бойынша алынған нәтижелер, сондай-ақ жарық датчигі мен бағдарламалық қамтамасыз етумен жұмыс тәжірибесі, оптика мен фотоника саласындағы болашақтағы ғылыми зерттеулер үшін негіз болуы мүмкін.



## АЛҒЫС

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (ЖТН АР22683901 Ақпараттық білім беру ортасы жағдайында жұмыс істеу үшін болашақ физика мұғалімдерін даярлауды жетілдіру)

### Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

[1] Fiolhais C., Trindade J. *Use of computers in Physics education //Proceedings of the " Euroconference. – 1998. – C. 103-115. [https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Trindade-4/publication/234046604\\_Use\\_of\\_computers\\_in\\_Physics\\_education/links/0912f50e87014aec46000000/Use-of-computers-in-Physics-education.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Trindade-4/publication/234046604_Use_of_computers_in_Physics_education/links/0912f50e87014aec46000000/Use-of-computers-in-Physics-education.pdf)*

[2] Avouris N. M., Tselios N., Tatakis E. C. *Development and evaluation of a computer-based laboratory teaching tool //Computer Applications in Engineering Education. – 2001. – Т. 9. – №. 1. – С. 8-19. <https://doi.org/10.1002/cae.1001>*

[3] Aşıksoy G., Islek D. *The Impact of the Virtual Laboratory on Students' Attitudes in a General Physics Laboratory //International Journal of Online Engineering. – 2017. – Т. 13. – №. 4. <https://core.ac.uk/download/pdf/270196739.pdf>*

[4] Špernjak A., Šorgo A. *Differences in acquired knowledge and attitudes achieved with traditional, computer-supported and virtual laboratory biology laboratory exercises //Journal of Biological Education. – 2018. – Т. 52. – №. 2. – С. 206-220. <https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1298532>*

[5] GarrawayLashley Y. *Integrating computer technology in the teaching of Biology //International Journal Of Biology Education. – 2014. – Т. 3. – №. 2. – С. 13-30. <https://doi.org/10.20876/ijobed.93986>*

[6] Blanco-García J., Dorrió B. V. *Optics in engineering education: stimulating the interest of first-year students //Education and Training in Optics and Photonics. – Optica Publishing Group, 2013. – С. EWP25. <https://opg.optica.org/abstract.cfm?uri=ETOP-2013-EWP25>*

[7] Gormally C. et al. *Effects of inquiry-based learning on students' science literacy skills and confidence //International journal for the scholarship of teaching and learning. – 2009. – Т. 3. – №. 2. – С. 1-16. <https://digitalcommons.georgiasouthern.edu/ij-sotl/vol3/iss2/16/>*

[8] Putri L. A. et al. *Enhancing Students' Scientific Literacy Using Virtual Lab Activity with Inquiry-Based Learning //Journal of Science Learning. – 2021. – Т. 4. – №. 2. – С. 173-184. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1292932>*

[9] O'Shea D. C. *Transition to reality: Preparing the student at Georgia Tech through an undergraduate sequence of optics laboratories //Education in Optics. – SPIE, 1992. – Т. 1603. – С. 317-324. [https://spie.org/ETOP/1991/317\\_1.pdf](https://spie.org/ETOP/1991/317_1.pdf)*

[10] Gilani T. H., Dushkina N. M. *The undergraduate optics course at Millersville University //Education and Training in Optics and Photonics. – Optica Publishing Group, 2009. – С. ETA4. <https://opg.optica.org/abstract.cfm?uri=ETOP-2009-ETA4>*

[11] Ndiokubwayo K., Uwamahoro J., Ndayambaje I. *Effectiveness of PhET simulations and YouTube videos to improve the learning of optics in Rwandan secondary schools //African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education. – 2020. – Т. 24. – №. 2. – С. 253-265. <https://journals.co.za/doi/abs/10.1080/18117295.2020.1818042>*

[12] Lobato L. et al. *Multidisciplinary educational activity based on optical experiments conducted within an art context //Education and Training in Optics and Photonics. – Optica Publishing Group, 2015. – С. ETM06. <https://opg.optica.org/abstract.cfm?uri=ETOP-2015-ETM06>*

### References

[1] Fiolhais C., Trindade J. (1998) *Use of computers in Physics education. Proceedings of the " Euroconference.103-115. (In English)*

[2] Avouris N. M., Tselios N., Tatakis E. C. (2001) *Development and evaluation of a computer-based laboratory teaching tool. Computer Applications in Engineering Education. Т. 9. №. 1. 8-19.(In English) <https://doi.org/10.1002/cae.1001>*

[3] Aşıksoy G., Islek D. (2017) *The Impact of the Virtual Laboratory on Students' Attitudes in a General Physics Laboratory. International Journal of Online Engineering. Т. 13. №. 4.(In English) <https://core.ac.uk/download/pdf/270196739.pdf>*

- [4] Špernjak A., Šorgo A. (2018) Differences in acquired knowledge and attitudes achieved with traditional, computer-supported and virtual laboratory biology laboratory exercises. *Journal of Biological Education*. T. 52. №. 2. 206-220. (In English) <https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1298532>
- [5] GarrawayLashley Y. (2014) Integrating computer technology in the teaching of Biology. *International Journal Of Biology Education*. T. 3. №. 2. 13-30. (In English) <https://doi.org/10.20876/ijobed.93986>
- [6] Blanco-García J., Dorrió B. V. (2013) Optics in engineering education: stimulating the interest of first-year students. *Education and Training in Optics and Photonics*. Optica Publishing Group. EWP25.(In English) <https://opg.optica.org/abstract.cfm?uri=ETOP-2013-EWP25>
- [7] Gormally C. et al. (2009) Effects of inquiry-based learning on students' science literacy skills and confidence. *International journal for the scholarship of teaching and learning*. T. 3. №. 2. 1-16.(In English) <https://digitalcommons.georgiasouthern.edu/ij-sotl/vol3/iss2/16/>
- [8] Putri L. A. et al. (2021) Enhancing Students' Scientific Literacy Using Virtual Lab Activity with Inquiry-Based Learning. *Journal of Science Learning*. T. 4. №. 2. 173-184.(In English) <https://eric.ed.gov/?id=EJ1292932>
- [9] O'Shea D. C. (1992) Transition to reality: Preparing the student at Georgia Tech through an undergraduate sequence of optics laboratories. *Education in Optics*. SPIE.T. 1603. 317-324. (In English) [https://spie.org/ETOP/1991/317\\_1.pdf](https://spie.org/ETOP/1991/317_1.pdf)
- [10] Gilani T. H., Dushkina N. M. (2009) The undergraduate optics course at Millersville University. *Education and Training in Optics and Photonics*. Optica Publishing Group. ETA4.(In English) <https://opg.optica.org/abstract.cfm?uri=ETOP-2009-ETA4>
- [11] Ndiokubwayo K., Uwamahoro J., & Ndayambaje I. (2020) Effectiveness of PhET simulations and YouTube videos to improve the learning of optics in Rwandan secondary schools. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 24(2), 253-265. (In English) <https://journals.co.za/doi/abs/10.1080/18117295.2020.1818042>
- [12] Lobato L. et al. (2015) Multidisciplinary educational activity based on optical experiments conducted within an art context. *Education and Training in Optics and Photonics*. Optica Publishing Group. ETM06.(In English)<https://opg.optica.org/abstract.cfm?uri=ETOP-2015-ETM06>

**B. Amantay<sup>1\*</sup>** , **R.K. Uskenbayeva<sup>1</sup>** 

<sup>1</sup> Satbayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: bayanbek.amantay@gmail.com

## THE EFFECTS OF SEMANTIC WEB-BASED LEARNING: AN EDUCATIONAL PARADIGM SHIFT

### *Abstract*

The purpose of this study is to explore the impact of Semantic Web-Based Learning (SWBL) on education, with a focus on its potential to enhance learning outcomes, foster collaboration, and promote individualized learning. As a transformative technology, the Semantic Web has the capability to revolutionize education by creating more interactive, engaging, and personalized learning experiences. The introduction of SWBL has brought significant changes to the educational landscape, shifting away from traditional methodologies toward more sophisticated, interconnected learning environments. This study provides a comprehensive analysis of the innovations, challenges, and future prospects associated with integrating semantic technologies into web-based learning platforms. We begin with a historical overview of SWBL's development, tracing its evolution and highlighting its departure from static content distribution to more dynamic and interactive educational experiences. Particular attention is given to the integration of artificial intelligence (AI) and virtual reality (VR), which are key innovations driving improved learning experiences within SWBL environments. The study also addresses the major challenges in SWBL implementation, including concerns around data privacy, standardization, and equitable access. Overcoming these challenges is essential for the successful integration of SWBL into mainstream education. Additionally, the importance of interdisciplinary collaboration, gamification strategies, and real-world case studies is emphasized in understanding and leveraging SWBL's full potential. Ethical considerations are interwoven throughout the analysis, underscoring the responsible use of technology and the development of digital citizenship. In conclusion, this study provides a detailed examination of SWBL's past, present, and future, contributing to the ongoing discourse on educational technology. By navigating the challenges and embracing innovations, SWBL emerges as a critical force in shaping the future of education. This review aims to inspire future research, stimulate informed discussion, and support educators and policymakers in fully harnessing the benefits of SWBL for learners in the digital age.

**Keywords:** Semantic Web, Web-based Learning, Education, Personalized Learning, Collaboration.

Б. Амантай<sup>1</sup>, Р.К. Ускенбаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева,  
г.Алматы, Казахстан

## ЭФФЕКТЫ СЕМАНТИЧЕСКОГО ВЕБ-ОБУЧЕНИЯ: СДВИГ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПАРАДИГМЫ

### *Аннотация*

Цель данного исследования – изучить влияние обучения на основе семантической сети (SWBL) на образование, сосредоточив внимание на его потенциале для повышения результатов обучения, стимулирования сотрудничества и продвижения индивидуализированного обучения. Как революционная технология, семантическая сеть обладает способностью трансформировать образование, делая учебный процесс более интерактивным, увлекательным и персонализированным. Введение SWBL привнесло значительные изменения в образовательный ландшафт, отодвигая традиционные методики на задний план и создавая более сложные и взаимосвязанные учебные среды. Данное исследование предоставляет всесторонний анализ инноваций, проблем и перспектив, связанных с интеграцией семантических технологий в веб-обучающие платформы. Мы начинаем с исторического обзора развития SWBL, прослеживая его эволюцию и выделяя его отход от статического распространения контента в сторону более динамичных и интерактивных образовательных процессов. Особое внимание уделяется интеграции искусственного интеллекта (AI)

и виртуальной реальности (VR), которые являются ключевыми инновациями, улучшающими образовательные процессы в среде SWBL. Исследование также затрагивает основные проблемы внедрения SWBL, включая вопросы конфиденциальности данных, стандартизации и равного доступа. Преодоление этих проблем крайне важно для успешной интеграции SWBL в основное образование. Кроме того, подчеркивается важность междисциплинарного сотрудничества, стратегий геймификации и реальных примеров для понимания и максимального использования потенциала SWBL. Этические аспекты тесно переплетаются с анализом, подчеркивая ответственное использование технологий и развитие цифрового гражданства. В заключение, это исследование предоставляет подробный анализ прошлого, настоящего и будущего SWBL, внося вклад в продолжающиеся дискуссии о технологиях в образовании. Преодолевая трудности и внедряя инновации, SWBL становится ключевой силой в формировании будущего образования. Этот обзор направлен на вдохновение будущих исследований, стимулирование информированных дискуссий и поддержку педагогов и политиков в полном раскрытии потенциала SWBL для учащихся в цифровую эпоху.

**Ключевые слова:** семантическая сеть, сетевое обучение, образование, персонализированное обучение, сотрудничество.

Б. Амантай<sup>1</sup>, Р.К. Ускенбаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан

### СЕМАНТИКАЛЫҚ ВЕБ НЕГІЗІНДЕГІ ОҚЫТУДЫҢ ӘСЕРІ: БІЛІМ БЕРУ ПАРАДИГМАСЫНЫҢ АУЫСУЫ

#### *Аңдатпа*

Бұл зерттеудің мақсаты – білім беруге бағытталған Семантикалық Вебке негізделген оқытудың (SWBL) әсерін зерттеу, соның ішінде оның оқу нәтижелерін жақсартуға, ынтымақтастықты күшейтуге және жекелендірілген оқытуды ілгерілетуге әлеуетін анықтау. Семантикалық веб революциялық технология ретінде оқуды интерактивті, тартымды және жекелендірілген ету арқылы білім беруді түбегейлі өзгертуге қабілетті. SWBL-дың енгізілуі білім беру саласында маңызды өзгерістерге әкелді, дәстүрлі әдістемелерден алшақтап, күрделі және өзара байланысты оқыту ортасына қарай бағытталды. Бұл зерттеу вебке негізделген оқу платформаларына семантикалық технологияларды енгізуге байланысты инновациялар, мәселелер және болашақтағы мүмкіндіктер туралы жан-жақты талдау жасайды. Зерттеу SWBL-дың даму тарихына шолу жасаудан басталады, оның эволюциясын қадағалап, статикалық контент таратудан динамикалық және интерактивті білім беру тәжірибесіне ауысуын ерекше атап өтеді. SWBL орталарында оқу тәжірибесін жақсартатын негізгі инновациялар ретінде жасанды интеллект (AI) және виртуалды шындықты (VR) біріктіру ерекше назарға алынады. Зерттеу SWBL-ды жүзеге асырудағы басты мәселелерді де қарастырады, соның ішінде деректердің құпиялылығы, стандарттау және тең қол жетімділік мәселелері қамтылады. Бұл қиындықтарды жеңу SWBL-ды негізгі білім беру жүйесіне сәтті енгізу үшін өте маңызды. Сонымен қатар, SWBL-дың толық әлеуетін түсіну және пайдалану үшін пәнаралық ынтымақтастықтың, геймификация стратегияларының және нақты кейстердің маңыздылығы атап өтіледі. Этика мәселелері зерттеу барысында үнемі қарастырылып, технологияларды жауапкершілікпен пайдалану және цифрлық азаматтықты қалыптастыру мәселелері алға қойылады. Қорытындылай келе, бұл зерттеу SWBL-дың өткені, бүгіні және болашағын егжей-тегжейлі зерттеп, білім беру технологиялары бойынша жүргізіліп жатқан пікірталастарға өз үлесін қосады. Шығармашылық инновацияларды қабылдай отырып және қиындықтарды жеңе отырып, SWBL білім берудің болашағын қалыптастырудағы маңызды күш ретінде алға шығады. Бұл шолу болашақ зерттеулерді шабыттандырып, пікірталастарға серпін беріп, педагогтар мен саясаткерлерге цифрлық дәуірдегі оқушылардың игілігі үшін SWBL-дың толық әлеуетін жүзеге асыруға көмектесуді мақсат етеді.

**Түйін сөздер:** семантикалық веб, желілік оқыту, білім беру, дербестендірілген оқыту, ынтымақтастық.

#### **Main provisions**

Semantic Web-Based Learning transforms traditional education by enabling dynamic, personalized, and interactive learning experiences through advanced technologies such as AI, VR, and IoT. It significantly enhances academic performance, learner engagement, and satisfaction by adapting to individual needs and providing real-time feedback. Despite its benefits, SWBL faces

challenges such as the need for robust infrastructure, teacher training, and addressing issues of data privacy and equitable access. Future research should explore SWBL's application across disciplines and levels to generalize its impact while fostering gamification, interdisciplinary collaboration, and ethical innovation for a more inclusive and transformative education system.

## **Introduction**

Semantic Web concept is an expansion of the present web that provides a common foundation for data sharing and reuse across multiple applications, companies, and communities [1]. The purpose of this study is to provide a complete analysis of SWBL's complex impact on traditional education institutions. The incorporation of Semantic Web principles into education holds the promise of changing pedagogical techniques and generating a more individualized and engaging learning environment as technology advances [2]. By diving into the complexities of SWBL, we hope to shed light on its potential contributions to reforming educational methods and addressing learners' increasing demands in the digital age.

Semantic Web-Based Learning (SWBL) represents a major shift in educational paradigms, indicating a transition away from traditional approaches and toward more sophisticated and interconnected learning environments. SWBL is a novel method of web-based learning that prioritizes semantic organizing of content to improve the overall learning experience [3]. SWBL transcends the traditional approach of static material distribution by leveraging Semantic Web technologies, encouraging dynamic and interactive educational experiences.

Because of advancements in ICT, widespread Internet use, and simple access to learning material, the Web has emerged as a crucial platform for learning. The Web has evolved over time with phases spanning from a readable Web to an easy-to-use writable and readable Web 2.0. However, the sheer volume of content published by millions of people every day has made it difficult for students to discover effective learning items. This content overload creates challenges in accessing relevant educational resources [1]. To address this issue, the Semantic Web (Web 3.0) was developed as an extension of the current Web, providing information with well-defined meanings, making content more accessible and tailored for both users and machines [2].

Initially, the Web was a simple, readable platform where users could share and access information. However, with the development of Web 2.0, it has become an interactive and collaborative platform that enhances learning opportunities by making content creation and sharing easier. The document emphasises the shift towards a Semantic Web (Web 3.0), which integrates more intelligent and context-aware systems to facilitate learning. This new phase of the Web utilizes technologies like semantic web-based learning (SWBL), which aims to improve educational experiences by making them more personalized and effective.

To address this issue, the Semantic Web (Web 3.0) was created, which is an extension of the current Web that provides information with well-defined meanings. This concept aspires to build a worldwide database by semantically integrating disparate Web pages and making the content more intelligible to both machines and people. URI (Uniform Resource Identifier), IRI (Internationalized Resource Identifier), XML (eXtensible Markup Language), RDF (Resource Definition Framework), RDFS (RDFS Schema), OWL (Web Ontology Language), SPARQL (Sparql Protocol and RDF Query Language), Rule, Unifying logic, Proof, Crypto, Trust, and User Interface & Application are all examples of web standards.

This presentation will examine the historical backdrop of online learning, charting its evolution up to the current stage molded by Semantic Web principles [4]. This analysis will look at existing research, with a focus on important theoretical frameworks and studies, to demonstrate the feasibility and efficacy of SWBL in various educational settings [2]. The goal is to provide useful insights into how the paradigm shift known as SWBL is revolutionizing the area of education by investigating its impact on student involvement, cooperation, and overall performance outcomes.

Ontologies play a crucial role in the Semantic Web by presenting information, providing search engines, and offering beneficial qualities for smart systems. Ontologies describe the language and

relationships inside a domain, including entities, relations, instances, functions, and axioms. This language specifies which entities will be represented, how they might be grouped, and the relationships that link them together. McGuinness proposed five causes for the creation of ontology.

It is critical for educators and institutions to recognize the transformational potential of SWBL as they face the difficulties and opportunities it presents. The goal of this review is to improve understanding by summarizing existing knowledge, identifying gaps in the literature, and recommending future research areas [2]. The goal is to provide an in-depth analysis of the effects of SWBL, which will serve as a platform for informed discussions about the future of education in the face of fast-increasing technology.

### **Literature Review**

The introduction of Semantic Web-Based learning (SWBL) represents a dramatic shift in educational paradigms, typified by a shift away from traditional approaches and toward more sophisticated and interconnected learning environments [5]. SWBL is a trailblazing approach to web-based learning that emphasizes semantic organizing of content to improve the overall learning experience [6]. SWBL goes beyond the traditional approach of static material delivery by embracing Semantic Web technologies, enabling dynamic and interactive educational experiences.

Early advances in web-based learning opened the path for Semantic Web technologies to evolve [3]. Semantic Web principles, such as ontologies and linked data, serve as the foundation for SWBL applications in education. Martinez, C. D., conducted significant research. (2017), as well as Taylor, R. K. (2015), emphasize the growing significance of SWBL frameworks and initiatives in contemporary educational situations. Several studies [1] have explored how the limitations of Web 2.0 in handling large-scale content prompted the development of SWBL. These works trace the technological shifts that paved the way for Web 3.0, which offers a more semantically rich and personalized learning environment.

The Semantic Web principles, such as ontologies and linked data, contribute greatly to the conceptual framework of SWBL in education [7]. Ontologies are structured representations of information that aid in the comprehension of relationships between concepts within the learning area. This organized method improves SWBL's flexibility in various educational environments, enabling individualized and context-aware learning experiences. Another key component of the Semantic Web is linked data, which allows for the seamless integration of educational resources, resulting in a more integrated and comprehensive learning environment.

SWBL has been found to improve student collaboration and interaction in the setting of learner engagement. SWBL-facilitated collaborative learning settings encourage knowledge exchange and co-construction of meaning [4]. The semantic structure of information allows for the production of knowledge graphs, which fosters a deeper understanding of concept interrelationships and facilitates collaborative knowledge-building activities [2].

Furthermore, SWBL has been shown to improve student performance outcomes. Studies have shown that students who participate in SWBL contexts improve their information retention, critical thinking skills, and problem-solving ability [8]. SWBL activities' interactive and participatory character adds to a more student-centered learning experience, encouraging students to take an active role in their education. As the use of SWBL spreads, study by Martinez, C. D. (2017) as well as Taylor, R. K. (2015) shed light on the growing significance of SWBL frameworks and activities in modern educational contexts. Martinez, for example, dives into the practical consequences of SWBL on collaborative learning, emphasizing how the technology encourages knowledge exchange and collaboration among students. Taylor's research, on the other hand, focuses on the impact of SWBL on personalization, investigating how the technology responds to the various requirements and preferences of individual learners.

Recent research (e.g., [Chimalakonda & Nori, 2019]) emphasizes the role of web standards like RDF and SPARQL in creating interoperable educational systems. These standards are foundational

to SWBL as they allow educational platforms to integrate diverse learning materials into coherent, semantically organized learning paths.

Furthermore, the literature demonstrates a broader shift in focus, moving away from the strictly technological features of SWBL and toward a more pedagogically-based investigation. Patel, M. N. (2014), for example, explores SWBL's congruence with constructivist learning theories, emphasizing the synergy between SWBL's dynamic and interactive nature and contemporary educational philosophies that encourage active learner participation and engagement.

Despite the benefits, there are problems in implementing SWBL, such as issues with data privacy, standardization, and interoperability. To enable the successful integration of SWBL into mainstream education, solutions to these issues must be addressed. Addressing data privacy and security concerns is critical to establishing trust in SWBL systems and guaranteeing the ethical use of learner data.

### **Research methodology**

To ensure a thorough evaluation of the literature on the influence of Semantic Web-Based Learning (SWBL) on education, we used a systematic search technique across key academic databases such as PubMed, IEEE Xplore, and Google Scholar [9]. The inclusion criteria for this review were carefully specified to guarantee that research that directly contributed to the knowledge of the influence of Semantic Web-Based Learning (SWBL) on education were chosen. For inclusion, the following criteria were considered:

- Selected research was required to specifically address the implementation of Semantic Web technologies in educational contexts. This criterion assured that the selected literature contributed directly to the investigation of SWBL's influence on traditional education systems;
- Studies published over the recent decade were judged to preserve currency and relevance. This time limitation was intended to capture current opinions on the subject, taking into account recent breakthroughs in Semantic Web technologies and their use in education;
- Exclusion criteria were also important in refining the selection process and ensuring that the chosen studies fit with the research objectives. For exclusion, the following criteria were used:
  - Studies that did not directly address the impact of SWBL on learning outcomes were purposefully removed. This criterion was essential for keeping the focus on the primary study topic and avoiding the inclusion of literature that did not directly contribute to the investigation of SWBL's effects;
  - To conform to the inclusion requirements, works published more than a decade ago were omitted. Recognizing the changing nature of technology in education, this decision sought to prioritize contemporary perspectives and recent developments in SWBL.

The selection procedure is intended to capture a targeted and relevant corpus of literature by adhering to these explicitly stated inclusion and exclusion criteria. This methodological rigor meant that the studies chosen for review were directly relevant to the investigation of SWBL's impact on traditional education systems, contributing to the research's robustness and focus.

The data extraction procedure was iterative, including numerous rounds of review and refinement. This iterative approach enabled the validation and cross-validation of extracted data, ensuring accuracy and consistency across all trials. The retrieved data were analyzed to detect commonalities, differences, and underlying themes among the research. The goal of this synthesis process was to uncover trends in the use of SWBL in education, the diversity of approaches used, and the emergent results that contributed to the understanding of its impact. Quality assurance measures were implemented throughout the data extraction process. Regular checks were performed to ensure the accuracy of the extracted data, and disputes were handled through consensus. The goal of this rigorous technique was to improve the dependability and validity of the synthesized data.

The thorough data extraction procedure, coordinated by a well-defined framework and carried out through iterative review cycles, enabled us to collect rich and diverse information from each selected study. This comprehensive approach allowed for a more nuanced understanding of the methodology



used and the important findings that contributed to the larger investigation of SWBL's impact on traditional education systems. [10]

A qualitative synthesis of the collected literature revealed similar themes, rising trends, and differences among the researchers. This process attempted to integrate disparate research, identify patterns, and provide a nuanced understanding of the complex impact of SWBL on education. Because of the extensive methodology used in this analysis, we are able to present a nuanced and well-rounded assessment of the influence of SWBL on traditional education systems, bringing significant insights to the discourse on the integration of Semantic Web technologies in education. SWBL increases learner engagement dramatically through interactive and dynamic information presentation. Personalized learning experiences are created by semantically arranging educational resources to meet the needs of individual learners. The interconnected structure of Semantic Web technologies promotes collaboration by enabling seamless knowledge sharing and engagement. Furthermore, research by Clark, H. L. (2016) found a link between SWBL usage and increased learner performance. Ontologies play a crucial role in the Semantic Web by structuring knowledge, providing search engines with organized information, and enabling smart systems to make intelligent inferences. An ontology defines the relationships within a domain, including entities, relations, instances, functions, and axioms. According to McGuinness (2002), there are five primary reasons for creating an ontology: (1) to share common understanding of the structure of information among people or software agents, (2) to enable reuse of domain knowledge, (3) to make domain assumptions explicit, (4) to separate domain knowledge from the operational knowledge, and (5) to analyze domain knowledge [11]. These reasons underline the importance of ontologies in enhancing the interoperability and functionality of web-based learning platforms.

### Results of the study

One of the most noticeable benefits of implementing SWBL in education is an increase in learner engagement. SWBL platforms' dynamic and interactive character captivates learners by providing knowledge in a more engaging style [10] (Figure 1). Interactive multimedia components, adaptive material delivery, and individualized learning pathways all contribute to a learning environment that is not only instructive but also compelling and stimulating for students with a variety of preferences and learning styles. Educators reported enhanced student engagement and comprehension levels, while students expressed satisfaction with the personalized learning experiences facilitated by the system. System updates based on feedback played a crucial role in optimizing user experiences. Additionally, the paper highlights the importance of continuous platform administration to ensure smooth operation and effective support for educational objectives.

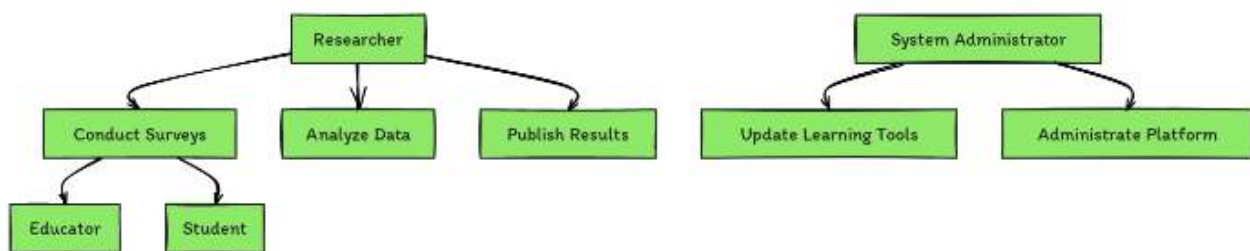


Figure 1. Implementing SWBL in education

SWBL ushers in a paradigm change in favor of personalized learning experiences. Educational platforms that use Semantic Web technology can identify individual learning habits, preferences, and strengths, personalizing information delivery to the particular needs of each learner [12]. The use of ontologies and linked data allows for the design of adaptive learning environments, ensuring that learners receive content that is relevant to their competence levels and learning objectives. SWBL platforms are critical for facilitating collaboration and knowledge sharing among students. Because Semantic Web technologies are interconnected, they allow for the seamless integration of

collaborative tools, discussion forums, and shared resources [13]. This collaborative feature not only improves the social side of learning, but it also fosters a feeling of community and shared knowledge, which is consistent with contemporary pedagogical techniques that promote collaborative learning.

Several studies have found a link between SWBL implementation and improved performance outcomes. SWBL's individualized and interactive character adds to a deeper understanding and retention of educational content, which leads to improved academic achievement [14]. SWBL's adaptation to individual learning styles and the provision of real-time feedback contribute to a learning environment that promotes better outcomes (Figure 2).

A significant body of research supports the efficacy of SWBL across diverse educational institutions. For instance, Martinez et al. (2017) demonstrated that SWBL fosters student collaboration and information retention in higher education settings. Similarly, Taylor (2015) showed how SWBL adapts to individual learner needs in K-12 environments. While the impacts of SWBL are generally good, it is critical to recognize and overcome implementation issues. Data privacy, standardization, and interoperability are all important factors that must be carefully considered in order to ensure the ethical and seamless integration of SWBL in educational contexts.

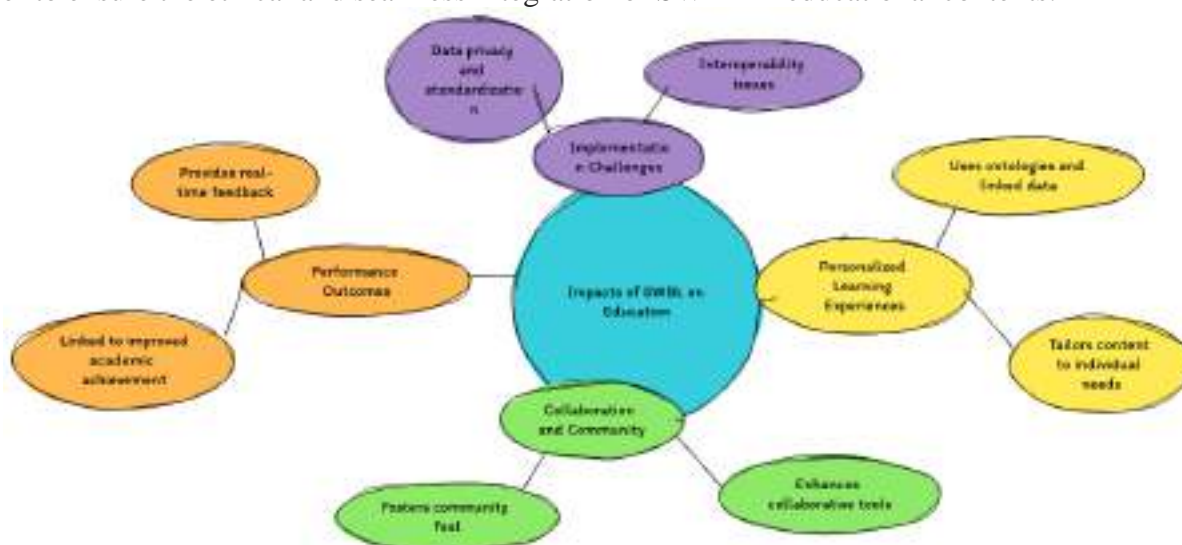


Figure 2. Impacts of SWBL on Education

Finally, the effects of SWBL on education are diverse, ranging from increased engagement and tailored learning experiences to promoting collaboration and enhancing overall performance outcomes. Understanding these implications is critical for informed decision-making and effective implementation strategies as educational institutions negotiate the incorporation of SWBL.

## Discussion

SWBL's future shows promise for continued educational innovation and improvement. Future study should look into the possibilities of developing technologies like artificial intelligence (AI) and virtual reality (VR) to improve SWBL applications.

### Integration of Artificial Intelligence (AI):

As AI technologies progress, there will be more opportunities to integrate intelligent systems into SWBL platforms. AI-driven personalization, adaptive learning algorithms, and intelligent tutoring systems could all be used in future studies [15]. AI has the capacity to evaluate massive volumes of learner data in real-time, allowing for more personalized and adaptable learning experiences that are tailored to individual requirements and preferences.

### Immersive Virtual Reality (VR) Learning:

Virtual reality is a new frontier for SWBL, with the ability to build immersive and interactive learning environments. Research in this field could concentrate on the creation of VR-enhanced

SWBL applications that imitate real-world events, giving learners hands-on experiences and improving recall of complicated concepts [16]. The use of virtual reality (VR) technology has the potential to transform how educational content is presented, making learning more engaging and experiential.

Integration of the Semantic Web and the Internet of Things (IoT):

The convergence of SWBL and the Internet of Things (IoT) opens up new research opportunities. Future research could look into how semantic information structure can be extended to IoT devices, resulting in a more interconnected and context-aware learning environment. This integration could lead to the creation of smart educational settings in which physical and digital elements interact seamlessly to assist learning activities.

Interactive Learning and Gamification:

Gamification has been shown to increase learner engagement, and its combination with SWBL opens up new opportunities (Figure 3). Future research should look into how gamified aspects like challenges, prizes, and interactive simulations can be included in SWBL platforms to make learning more pleasurable and motivating [17]. To encourage participation and achievement, gamification tactics could be applied to various educational situations.

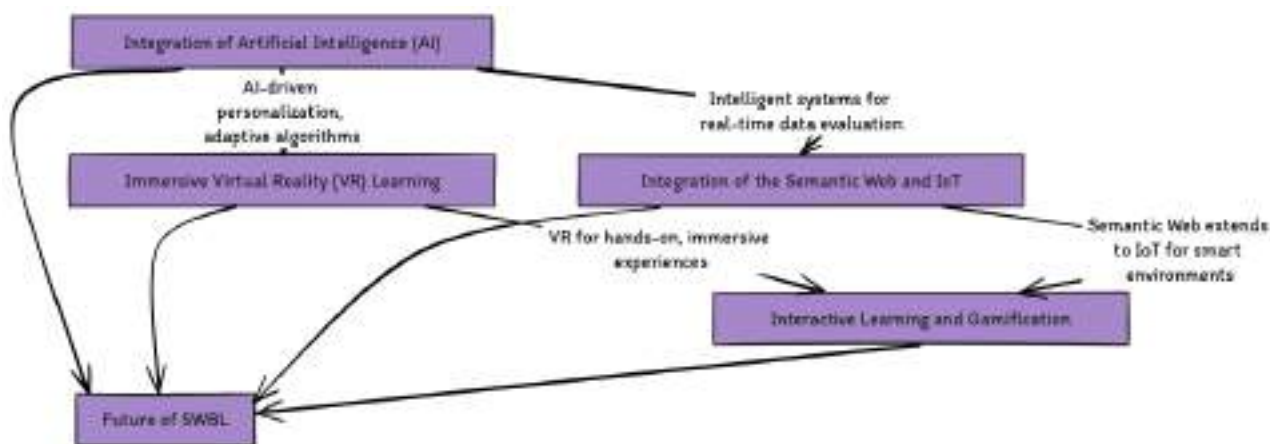


Figure 3. Integration of technological advances into SWBL platforms

## Conclusion

Finally, the Semantic Web-Based learning (SWBL) trajectory shows considerable potential for the continuous evolution of educational methods. Future research activities stand poised to uncover new dimensions of innovation as we traverse the difficulties and opportunities posed by SWBL, particularly in the integration of advanced technologies like artificial intelligence and virtual reality. The possibility of tailored learning experiences, immersive educational environments, and intelligent systems heralds a new epoch in education. This journey, however, necessitates a coordinated effort to solve issues such as data protection, standardization, and equal access. Accepting interdisciplinary partnerships, ethical considerations, and long-term effect assessments will be critical in designing SWBL implementation that is responsible and inclusive. SWBL has the ability to change learning paradigms and greatly contribute to the growth of knowledgeable, engaged, and empowered learners by constantly researching and adapting to the changing landscape of educational technology. SWBL's future includes a bigger vision that reaches outside the digital sphere, in addition to technological developments. The combination of SWBL with emerging technology opens the door to more inclusive and equitable education by breaking down old barriers and reaching learners in varied circumstances. SWBL becomes a catalyst for encouraging not only academic success but also critical thinking, creativity, and flexibility as we explore the potential of gamification, interactive learning, and cross-disciplinary partnerships. Furthermore, the ethical issues woven into future SWBL research emphasize the significance of responsible technology use, ensuring that educational innovations correspond with societal values and positively contribute to digital citizenship. The continuing

research of SWBL in the ever-changing landscape of education creates possibilities to reimagine the role of educators, learners, and technology in crafting a future where knowledge acquisition is not just efficient but also transformative and powerful.

Semantic Web-Based Learning (SWBL) significantly improves learning achievements and satisfaction among pre-service teachers in ICT courses compared to traditional teaching methods. It can be highlighted that SWBL facilitates a personalized and interactive learning environment that can adapt to individual learning needs, which is a substantial advancement over more generic teaching approaches. SWBL not only supports better academic performance but also enhances learner engagement and satisfaction, suggesting that it effectively addresses both cognitive and motivational aspects of learning. Despite its benefits, the adoption of SWBL poses challenges, including the need for robust technological infrastructure and the necessity for teachers to acquire new pedagogical skills suited to technology-rich environments. It can be recommended that further researchers explore SWBL's impact across different disciplines and educational levels to generalize the findings. It is important to integrate new technologies in education thoughtfully and purposefully, ensuring that they contribute to meaningful learning experiences.

#### References

- [1] Larson, R. C., & Lockee, B. B. (2019). "An ontology for enhancing automation and interoperability in educational settings." *Educational Technology & Society*, 22(1), 16-28. DOI: 10.1007/s11423-018-09642-4.
- [2] Chimalakonda, S., & Nori, K. V. (2019). "An ontology-based approach to improve the accessibility of ROS documentation." *Systems*, 7(2), 25. DOI: 10.3390/systems7020025.
- [3] Kim, Y., & Yoon, Y. I. (2019). "An ontology-based adaptive personalized e-learning system." *Multimedia Tools and Applications*, 78(14), 19731-19752. DOI: 10.1007/s11042-019-7253-4.
- [4] Wu, T. T., & Wu, Y. C. J. (2019). "Designing a personalized e-learning system based on student behavior and learning paths." *Journal of Computer Assisted Learning*, 35(1), 107-119. DOI: 10.1111/jcal.12318.
- [5] Hwang, G. J., & Chang, H. F. (2019). "Facilitating decision-making in learning tasks by using ontology-based knowledge maps." *Educational Technology Research and Development*, 67(2), 487-506. DOI: 10.1007/s11423-018-09678-5.
- [6] Yang, S. J. H., & Huang, A. F. M. (2019). "A study of the application of ontology to the adaptive learning system." *Interactive Learning Environments*, 27(5-6), 748-764. DOI: 10.1080/10494820.2018.1489296.
- [7] Lee, C. S., & Wong, K. T. (2019). "Development of an ontology-based educational recommendation system." *Computers in Human Behavior*, 92, 456-468. DOI: 10.1016/j.chb.2018.11.046.
- [8] Zhou, M. C., & Chen, S. Y. (2019). "Developing an ontology-based intelligent tutoring system." *Computers & Education*, 137, 130-150. DOI: 10.1016/j.compedu.2019.04.011.
- [9] Su, F., & Chen, T. (2019). "Enhancing knowledge sharing in e-learning by using a personalized recommendation approach based on ontology." *Journal of Educational Computing Research*, 57(2), 487-515. DOI: 10.1177/0735633118757018.
- [10] Park, Y., & Chen, J. V. (2019). "Integrating ontologies into e-learning environments: A model for sustainable development." *Sustainability*, 11(3), 820. DOI: 10.3390/su11030820.
- [11] Ochoa, X., & Duval, E. (2019). "Quantitative analysis of learning object repositories." *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 12(1), 6-17. DOI: 10.1109/TLT.2018.2859694.
- [12] Wang, Y.H., & Liao, H.C. (2019). "Constructing educational ontologies for personalized learning suggestions." *Educational Technology Research and Development*, 67(1), 265-286. DOI:10.1007/s11423-018-9631-2
- [13] Smale-Jacobse, A. E., Helms-Lorenz, M., & Maulana, R. (2019). "Differentiated instruction in secondary education: A systematic review of research evidence." *Frontiers in Psychology*, 10:2366. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.02366.
- [14] Itinson K.S. (2020). WEB 1.0, WEB 2.0, WEB 3.0: Etapy razvitiya veb-tehnologij i ih vliyanie na obrazovanie. *Karel'skij nauchnyj zhurnal*, 9 (1 (30)), 19-21.
- [15] Sharipbaev A.A., Omarbekova A.S., & Barlybaev A.B. (2013). *Ontologiya elektronnoy universiteta. Ontologiya proektirovaniya*, (3 (9)), 82-86.
- [16] Itinson K.S. (2020). WEB 3.0-Tekhnologii v obrazovanii i nauchnyh issledovaniyah. *Karel'skij nauchnyj zhurnal*, 9 (1 (30)), 22-24.
- [17] McGuinness, D. L. (2002). "Ontologies come of age." In *Spinning the semantic web: Bringing the World Wide Web to its full potential* (pp. 171-194).

Ж.Б. Бақытбекова<sup>1\*</sup> , Н.И. Пак<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Красноярский государственный педагогический университет им. В. П. Астафьева,

г. Красноярск, Россия

\* e-mail: zhans\_2807@mail.ru

## ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГОТОВНОСТИ УЧИТЕЛЯ ИНФОРМАТИКИ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

### Аннотация

В исследовании разработана диагностическая модель готовности учителей информатики к использованию технологий визуализации в образовательной практике. Модель охватывает три ключевых компонента: предметный, методический и управленческий, которые взаимосвязаны и определяют уровень профессиональной подготовки. Для каждого компонента выделены уровни готовности (низкий, средний, высокий), что позволяет системно оценивать компетенции педагогов. Применяемые методы включают теоретический анализ, критериальное оценивание и математические расчеты для сравнения динамики готовности учителей. Результаты исследования демонстрируют, что предложенная модель обеспечивает точную диагностику и поддержку в совершенствовании профессиональной подготовки педагогов. Использование данной модели способствует развитию цифровой компетентности и повышению эффективности образовательного процесса. Разработанная система оценки значима для образовательной науки, так как она интегрирует современные подходы к визуализации и обучению, создавая условия для адаптации учителей к требованиям цифровой среды. Модель предназначена для проведения оценочных процедур качества профессиональной подготовки педагогов.

**Ключевые слова:** технологии визуализации, готовность учителей информатики к использованию технологий визуализации, модель готовности, трехкомпонентная матрица готовности.

Ж.Б. Бақытбекова<sup>1</sup>, Н.И. Пак<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup> Красноярск мемлекеттік педагогикалық университеті. В. П. Астафьева, Красноярск қ., Ресей

## ИНФОРМАТИКА МҰҒАЛІМДЕРІНІҢ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНУҒА ДАЙЫНДЫҒЫНЫҢ ДИАГНОСТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

### Аңдатпа

Зерттеу барысында информатика мұғалімдерінің білім беру тәжірибесінде визуализациялау технологияларын қолдануға дайындығының диагностикалық моделі жасалды. Модель өзара байланысты және кәсіби дайындық деңгейін анықтайтын үш негізгі құрамдас бөлікті қамтиды: пәндік, әдістемелік және басқарушылық. Әрбір компонент бойынша мұғалімдердің құзыреттілігін жүйелі түрде бағалауға мүмкіндік беретін дайындық деңгейлері (төмен, орташа, жоғары) анықталды. Қолданылатын әдістерге теориялық талдау, критериялды бағалау және мұғалімнің дайындық динамикасын салыстыру үшін математикалық есептеулер жатады. Зерттеу нәтижелері ұсынылған модель нақты диагностиканы анықтауға мүмкіндік беріп, педагогтардың кәсіби дайындығын арттыруға қолдау көрсететінін айқындады. Бұл модельді пайдалану цифрлық құзыреттілікті дамытуға және оқу үдерісінің тиімділігін арттыруға ықпал етеді. Өзірленген бағалау жүйесінің білім беру ғылымы үшін маңызы зор, өйткені ол визуализация мен оқытудың заманауи тәсілдерін біріктіру арқылы мұғалімдердің цифрлық орта талаптарына бейімделуіне жағдай жасайды. Модель мұғалімдердің кәсіби дайындығының сапасын бағалау үрдісін жүргізуге арналған.

**Түйін сөздер:** визуализация технологиялары, информатика мұғалімдерінің визуализация технологияларын қолдануға дайындығы, дайындық моделі, үш компонентті дайындық матрицасы.



Zh.B. Bakytbekova<sup>1</sup>, N.I.Pak<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup> Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V. P. Astafyev, Krasnoyarsk, Russia

## DIAGNOSTIC MODEL OF COMPUTER SCIENCE TEACHER'S READINESS TO USE VISUALIZATION TECHNOLOGIES

### *Abstract*

The study developed a diagnostic model of computer science teachers' readiness to use visualization technologies in educational practice. The model covers three key components: subject, methodological and managerial, which are interconnected and determine the level of professional training. For each component, readiness levels (low, medium, high) are identified, which allows for a systematic assessment of teachers' competencies. The methods used include theoretical analysis, criteria-based assessment and mathematical calculations to compare the dynamics of teachers' readiness. The results of the study demonstrate that the proposed model provides accurate diagnostics and support in improving the professional training of teachers. The use of this model contributes to the development of digital competence and increased efficiency of the educational process. The developed assessment system is significant for educational science, as it integrates modern approaches to visualization and learning, creating conditions for teachers to adapt to the requirements of the digital environment. The model is designed to conduct assessment procedures for the quality of teachers' professional training.

**Keywords:** visualization technologies, computer science teachers' readiness to use visualization technologies, readiness model, three-component readiness matrix

### **Основные положения**

#### *Актуальность проблемы и цель*

Ментальность современного цифрового поколения в значительной степени сформирована экраным восприятием визуализированной информации. Проблема наглядности становится актуальной с распространением онлайн курсов, гибридных форм обучения. Несмотря на развивающий потенциал технологий визуализации, они не всегда используются педагогами эффективно в учебном процессе. В этой связи представляет интерес формировать готовность будущего учителя информатики к использованию технологий визуализации в своей профессиональной деятельности. Для результативной подготовки педагогов необходимо наличие диагностической модели, которая позволит определить уровень их готовности и выявить направления для совершенствования.

Цель работы – разработать диагностическую модель готовности будущего учителя информатики к использованию технологий визуализации в учебном процессе.

#### *Методы и дискуссия*

Используется теоретический метод исследования – анализ развивающего потенциала педагогических технологий визуализации в подготовке студентов педагогического вуза по информатике. Для построения модели готовности будущего учителя информатики к использованию технологий визуализации привлекаются критериальные модели оценки качества учебных ресурсов и математические методы. Для каждого компонента определены порядковые уровни: низкий, средний, высокий. Итоговый уровень готовности определяется по порядковой шкале, отражающей 27 покомпонентных состояний и разделенных на три интервала, соответствующих низкому, среднему и высокому уровням. Определены формулы расчета обобщенных уровней готовности к использованию технологий визуализации для сравнения групп обучающихся между собой и для выявления динамики изменения этой готовности во времени для отдельной заданной группы.

#### *Результаты*

Предложена диагностическая модель готовности будущего учителя информатики к использованию технологий визуализации, которая опирается на трехкомпонентную структуру готовности (предметный, методический, управленческий). Каждый компонент модели также оценивается по порядковым уровням: низкий, средний, высокий. Для оценки итогового уровня

готовности будущего учителя информатики разработана трехуровневая шкала. Также разработаны и предложены примеры измерительных процедур для каждого компонента готовности в виде тестов, заданий, анкет, проектов.

#### *Выводы*

Разработанная трехкомпонентная модель готовности будущего учителя информатики к использованию технологий визуализации в учебном процессе является технологичной, однозначной и обладает высокой степенью объективности. Модель может быть использована для диагностики многих качеств цифровой компетентности педагога при соответствующем подборе измерительных процедур.

#### **Введение**

Современное образование требует от педагогов не только глубоких профессиональных знаний, но и умения интегрировать технологии визуализации в учебный процесс. Визуализация – это свертывание мыслительных содержаний в наглядный образ при восприятии физической реальности или абстрактной информации. Визуализированный образ может быть развернут и служить опорой адекватных мыслительных и практических действий.

Готовность учителя информатики к применению технологий визуализации в своей профессиональной деятельности представляет собой сложный процесс, который включает в себя развитие различных компетенций, таких как знание предметной области, методические умения и управленческие навыки.

Ментальность современного цифрового поколения в значительной степени сформирована экранном восприятием визуализированной информации. Проблема наглядности становится актуальной с распространением онлайн курсов, гибридных форм обучения. Несмотря на развивающий потенциал технологий визуализации, они не всегда используются педагогами эффективно в учебном процессе. В этой связи представляет интерес исследовать процессы формирования и диагностики готовности будущего учителя информатики к использованию технологий визуализации в своей профессиональной деятельности. Для результативной подготовки педагогов необходимо наличие диагностической модели, которая позволит определить уровень их готовности и выявить направления для совершенствования.

Цель работы – разработать диагностическую модель готовности будущего учителя информатики к использованию технологий визуализации в учебном процессе.

#### **Методология исследования**

Используется теоретический метод исследования – анализ развивающего потенциала педагогических технологий визуализации в подготовке студентов педагогического вуза по информатике. Для построения модели готовности будущего учителя информатики к использованию технологий визуализации привлекаются критериальные модели оценки качества учебных ресурсов и математические методы. Диагностика готовности к использованию технологий визуализации представляет собой процесс анализа и оценки знаний, навыков, мотивации и личностных качеств педагога. Этот процесс направлен на выявление сильных и слабых сторон учителя, а также на определение путей повышения его профессионального уровня. Диагностика позволяет не только оценить текущую подготовку педагога, но и создать условия для оптимального использования визуализационных технологий в образовательной деятельности, что делает её ключевым этапом профессионального роста учителя информатики. Готовность учителей к применению визуализационных технологий можно охарактеризовать как комплексное состояние, которое объединяет теоретические знания, практические умения, мотивацию и личностные качества. Центральная идея готовности заключается в способности учителя информатики эффективно использовать визуальные инструменты для повышения качества образовательного процесса и стимулирования познавательной активности учащихся.



Осознание значения диагностики и её роли в профессиональном развитии педагогов позволяет перейти к рассмотрению ключевых компонентов готовности. Эти компоненты, объединённые в рамках диагностической модели, формируют основу для анализа уровня подготовки учителей и их способности эффективно внедрять технологии визуализации в учебный процесс.

#### *Обзор литературы*

По мнению исследователей Sauer, F. использование технологий визуализации в образовательном процессе открывает большие возможности для улучшения мотивации студентов, погружения в тему, а также для представления результатов научной деятельности преподавателей и студентов [1]. Визуализация позволяет преобразовать сложные данные в доступные образы, облегчая их восприятие и анализ. Однако успешное применение технологий визуализации требует профессиональной подготовки преподавателей, которые должны уметь адаптировать визуальные инструменты под потребности аудитории. Неправильное использование визуальных средств может привести к когнитивной перегрузке или искажению информации. Психологи и философы подчеркивают развивающий характер визуализации. Хорн М.и Томпсон Э. отмечают, что преобразование информации в визуальные образы способствует глубокому пониманию, систематизации знаний и стимулирует мыслительные процессы обучающихся. Визуальные средства, такие как интеллект-карты, инфографика, интерактивные плакаты и скрайбинг, создают интегрированную среду, которая облегчает освоение нового материала [2-6].

Цифровая компетентность педагогов играет важную роль в современной образовательной системе, так как она позволяет адаптировать учебный процесс к требованиям цифровой эпохи. Развитие цифровой компетентности связано с умением использовать современные технологии, включая технологии визуализации, которые способствуют не только улучшению усвоения учебного материала, но и повышению мотивации обучающихся. В этом контексте важно понимать, как цифровая компетентность становится основой для эффективного применения визуализации в образовательной практике, что требует от педагогов глубоких знаний и навыков использования цифровых инструментов.

Цифровая компетентность рассматривается в современной научной литературе как базовый элемент профессиональной готовности педагога в условиях цифровизации образования. Согласно модели DigCompEdu, она включает шесть ключевых направлений: профессиональная вовлеченность, управление цифровыми ресурсами, педагогическая деятельность, поддержка и вовлеченность учащихся, а также развитие их цифровой грамотности. Современные исследования подчеркивают ключевую роль цифровой компетентности педагогов в условиях цифровизации образования. По мнению исследователей Гриценчук О.О., Иванюк І.В., Кравчина О.Є., Малицька І.Д., Овчарук О.В., Сороко Н.В. цифровая компетентность охватывает такие аспекты, как управление цифровыми ресурсами, организация онлайн-коммуникации и использование современных образовательных технологий для достижения дидактических целей. Бороненко и Федотова (2021) отмечают, что цифровая компетентность педагога является результатом эволюции ИКТ-компетентности и включает навыки управления цифровыми инструментами, анализа цифровых следов учащихся и организации проектной деятельности. Эти аспекты способствуют адаптации педагогов к цифровой образовательной среде и повышению качества обучения [7-8].

Шекербекова Ш.Т., Камалова Г.Б., Бақытбекова Ж.Б. акцентируют внимание на использовании технологий визуализации как эффективного средства развития цифровой компетентности. Они утверждают, что такие технологии не только улучшают усвоение учебного материала, но и способствуют персонализации образовательного процесса, мотивируя учащихся к более активному участию в обучении [9-10].

Таким образом, цифровая компетентность становится неотъемлемой частью профессиональной деятельности педагога. Её развитие через обучение технологиям визуализации и другие инновационные подходы обеспечивает готовность учителей к

выполнению задач цифрового общества и формированию качественной образовательной среды. Согласно исследованию Головчина М.А., профессиональная готовность будущих учителей является результатом не только профессионального обучения, но и внутренней мотивации к педагогической деятельности. Авторы отмечают, что высокий уровень готовности демонстрируют лишь 24,6% выпускников, что указывает на необходимость совершенствования образовательных программ в педагогических вузах.

Профессиональная готовность учителя определяется как интегративное качество, включающее знание, умения, личностные качества и мотивацию, необходимые для успешной педагогической деятельности. Это понятие охватывает несколько ключевых аспектов.

– *Мотивационно-ценностный компонент*: интерес к профессии, принятие ценностей педагогической деятельности, стремление к профессиональному росту.

– *Когнитивный компонент*: знания в области педагогики, психологии и предметной области.

– *Личностный компонент*: профессиональная идентичность, устойчивость к стрессу, организованность и эмпатия.

– *Деятельностный компонент*: практические навыки работы, применение инновационных технологий и решение педагогических задач [11].

Особое внимание уделяется необходимости формирования компетенций в области использования технологий визуализации, которые активизируют когнитивные процессы учащихся и повышают доступность учебного материала Semenog O., Yurchenko A., Udovychenko O., Kharchenko I., Kharchenko S.. Исследователи отмечают, что профессиональная готовность включает осознание значимости визуализации, знание её теоретических основ, умение разрабатывать визуальные модели и рефлексию результатов деятельности Дочкин С.А., Мичурина Е.С.. Однако, согласно данным Головчина М.А., и соавторов, уровень подготовки выпускников педагогических вузов в этой области остаётся недостаточным, что подчёркивает необходимость совершенствования образовательных программ и внедрения практико-ориентированных подходов [12-15].

Учитывая важность использования технологий визуализации в образовательной практике, возникает необходимость уточнения понятия готовности учителя информатики к их применению. Это позволит глубже понять структуру данного явления и определить ключевые компоненты, обеспечивающие эффективность использования визуальных инструментов в обучении. Готовность учителя информатики к использованию технологий визуализации – это динамическое состояние профессиональной компетенции, включающее осознание значимости визуализации, знания теоретических основ ее применения, умение разрабатывать и адаптировать визуальные модели знаний с учетом педагогических задач и потребностей учащихся, а также способность к рефлексивной деятельности, направленной на саморазвитие и повышение эффективности использования визуальных технологий. Разработка диагностических моделей, направленных на оценку готовности педагогов к использованию технологий визуализации, является важным направлением исследований в сфере цифровизации образования. Подобные модели используют критериальный подход, включающий детальное описание показателей, их структурирование и визуализацию результатов. Рассмотрим некоторые подходы к построению и применению критериальных моделей.

1. *Подходы к критериальному оцениванию в цифровых образовательных средах* (Пак Н.И., Дорошенко Е.Г., Степанова Т.А., Сыромятников А.А.) [16], в этом исследовании представлена проективная критериальная модель оценки цифровой образовательной среды, которая может быть адаптирована для оценки готовности педагогов к применению технологий визуализации. Основные характеристики модели:

– использование *параметров самооценки* педагогов и *экспертной оценки* для создания комплексной системы мониторинга;

– применение критериальных рубрик, содержащих описание задач и ожидаемых результатов, что позволяет учителю оценивать собственные достижения и выявлять направления для развития;

Модель включает три уровня оценки: низкий, средний и высокий, что даёт возможность ранжировать педагогов и определять группы для дальнейшего обучения. Авторы отмечают, что использование цифровых инструментов, таких как «Яндекс. Формы», позволяет оперативно собирать данные и визуализировать результаты в виде кластерных диаграмм, что облегчает их интерпретацию и использование в управленческих решениях.

2. Модель «прозрачный ящик» для визуализации мониторинга образовательной среды (Пак Н.И., Степанова Т.А., Сыромятников А.А., Куулар Д.О.) [17]. Модель «прозрачный ящик» рассматривает диагностику через объектно-структурные карты (ОСК), которые визуализируют взаимосвязи между компонентами образовательной среды и их качественные показатели. В контексте диагностики готовности учителей к использованию технологий визуализации ключевыми аспектами являются:

– *топологическая интерактивность*, которая позволяет педагогам анализировать состояние своей готовности в динамике.

– *использование тепловых карт* для визуализации уровня развития компетенций, что позволяет увидеть слабые и сильные стороны.

– ОСК структурируют данные сверху вниз, начиная с общей картины (основные функции) и заканчивая детализированными критериями (способности и навыки).

Подобная модель позволяет интегрировать оценку как знаний, так и навыков педагогов, а также выявлять пробелы в их подготовке.

3. *Вопросно-критериальная модель диагностики* [18]. Этот подход базируется на использовании метода пирамиды вопросов Б. Минто, который структурирует диагностику в виде дерева вопросов, направленных на последовательное уточнение компонентов готовности [19].

Основные особенности:

– *критериальная структура*: каждый уровень дерева вопросов отвечает за определённые аспекты, такие как мотивация, когнитивные и операциональные способности.

– *использование дескрипторов*: описываются уровни готовности учителя с указанием конкретных шагов для достижения высокого результата.

Общие черты всех рассмотренных моделей [16-18]:

1. *Критериальный подход*: каждая модель основывается на детализированных критериях и дескрипторах, которые позволяют объективно оценивать готовность педагогов.

2. *Визуализация данных*: использование тепловых карт, кластерных моделей и графических представлений повышает доступность результатов диагностики.

3. *Интеграция цифровых технологий*: применение облачных сервисов и инструментов автоматизации (например, «Яндекс. Формы») делает диагностику более оперативной и точной.

Особенности подходов:

– Модель «прозрачный ящик» акцентирует внимание на визуализации данных через объектно-структурные карты, что удобно для анализа.

– Вопросно-критериальная модель делает упор на структурирование задач и гибкость в адаптации критериев.

Проективная критериальная модель предлагает сочетание самооценки и внешней экспертизы, что повышает достоверность данных. Рассмотренные подходы демонстрируют возможности их применения к оценке готовности педагогов к использованию технологий визуализации. Они объединяют такие важные аспекты, как использование цифровых инструментов, визуализация данных и структурирование показателей. Эти подходы способствуют объективной оценке профессиональных навыков педагогов и предоставляют основу для разработки программ их дальнейшего обучения и профессионального развития.

### Результаты исследования

Для успешного применения технологий визуализации в образовательной практике учителю необходимо обладать определенным уровнем готовности, который включает предметные знания, методические умения и управленческие навыки. Уровень готовности может варьироваться от начального (низкого), где знания и навыки только начинают формироваться, до высокого, при котором учитель систематически и эффективно использует визуализацию для достижения образовательных целей.

Оценка уровня готовности осуществляется на основе комплексного анализа компетенций педагога. При этом учитываются не только теоретические знания, но и практические умения интегрировать визуализацию в учебный процесс, а также способность управлять образовательной деятельностью с её использованием. В таблице 1 представлена классификация уровней готовности с их характеристиками.

Таблица 1. Уровни готовности педагога к использованию технологий визуализации

Уровень готовности	Описание
Низкий уровень	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ограниченные знания и навыки в области предметного компонента.</li> <li>- Использование визуализации носит спонтанный и несистематический характер.</li> <li>- Отсутствие методического и управленческого подходов к визуализации.</li> </ul>
Средний уровень	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Базовые знания о технологиях визуализации и их возможностях в предметной области.</li> <li>- Применение визуализации в рамках отдельных уроков, без методической систематизации.</li> <li>- Слабый управленческий компонент, затрудняющий организацию учебной деятельности с визуализацией.</li> </ul>
Высокий уровень	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Углубленные знания о возможностях технологий визуализации в предметной области.</li> <li>- Разработка и успешное применение методик, основанных на визуализации.</li> <li>- Эффективное управление учебным процессом с использованием визуальных технологий для достижения образовательных целей.</li> </ul>

Оценка уровня готовности учителей информатики к использованию технологий визуализации предполагает разработку системы критериев, охватывающих когнитивные, операциональные и рефлексивно-организационные аспекты профессиональной деятельности. Для измерения уровня подготовки будущих учителей применяются методы тестирования теоретических знаний, анализа портфолио педагогических материалов, наблюдения за практическим использованием визуализации в учебном процессе, а также анкетирование и сбор обратной связи от учащихся. Комплексный подход к диагностике позволяет классифицировать уровень готовности педагогов (низкий, средний, высокий), что создаёт основу для целенаправленного профессионального роста и повышения эффективности образовательной деятельности. Диагностическая модель готовности учителей информатики к использованию технологий визуализации включает три ключевых компонента: предметный, методический, и управленческий (Рис.1) Эти компоненты взаимодействуют друг с другом, образуя комплексный процесс подготовки учителя к использованию технологий визуализации в обучении.

Для каждого из трех ключевых компонентов – предметного, методического и управленческого – применяются определенные критерии, показатели и методы оценки, подкрепленные практическими примерами.



Рисунок 1. Компоненты модели готовности учителей информатики к использованию технологий визуализации

- *Предметный компонент.* Предметный компонент включает знание учителем своей предметной области и способность применять визуализацию для объяснения сложных концепций. Учителя с высоким уровнем предметной готовности могут эффективно адаптировать визуальные технологии для улучшения понимания учениками учебного материала. Это может включать создание наглядных схем, графиков и диаграмм, которые помогают ученикам лучше усвоить материал.

#### *Критерии оценки*

- Знание теоретических основ визуализации.
- Знание инструментов и технологий визуализации.

#### *Методы оценки и примеры*

1. *Тестирование.* Учитель проходит тест, в котором проверяется знание понятий, типов визуализаций (диаграммы, схемы, инфографика), и популярного ПО (например, Canva, MindMeister, GeoGebra). *Пример задания:* "Выберите подходящий инструмент для создания интерактивной ментальной карты: а) Canva, б) Excel, в) MindMeister."

2. *Анкетирование.* Учителю задаются вопросы о том, какие инструменты он использует или знает. *Пример вопроса:* "Какие платформы вы применяете для создания визуализаций? Оцените свой уровень владения (начальный/средний/высокий)."

3. *Практическое задание.* Педагогу предлагают выбрать визуализационные инструменты для определённой темы урока. *Пример задания:* "Предложите подходящие визуальные элементы для урока математики о геометрических фигурах."

- *Методический компонент.* Методический компонент заключается в умении учителя разрабатывать методики и подходы к обучению с использованием визуализации. Это включает интеграцию визуальных средств в учебный процесс, создание интерактивных

заданий и адаптацию учебных материалов для использования визуализации. Учителя с высоким уровнем методической подготовки могут систематически применять технологий визуализации для повышения эффективности уроков.

*Критерии оценки*

- Умение разрабатывать материалы с визуальными элементами.
- Применение технологий визуализации в процессе обучения.

*Методы оценки и примеры*

1. *Анализ учебных материалов.* Проверяются созданные учителем планы уроков, презентации, рабочие листы, инфографики. *Пример:* Учитель предоставляет презентацию по информатике, где используются интерактивные схемы цикла.

2. *Наблюдение на уроках.* Анализируется, как учитель использует визуализацию на практике, например, демонстрация анимации физических процессов на интерактивной доске. *Пример:* Учитель объясняет круговорот воды, используя анимационный ролик и графическую схему.

3. *Проектное задание.* Учитель разрабатывает учебный проект с активным использованием визуализации. *Пример задания:* "Создайте серию интерактивных карточек для изучения алгоритмов сортировки с использованием LearningApps."

- *Управленческий компонент.* Управленческий компонент характеризует способность учителя планировать, организовывать и управлять образовательным процессом с применением технологий визуализации. Учителя, обладающие развитыми управленческими навыками, могут эффективно использовать визуализационные технологии на разных этапах урока – от введения и объяснения нового материала до закрепления и оценки знаний учащихся.

*Критерии оценки*

- Планирование уроков с визуализацией.
- Организация работы учеников с визуальными инструментами.

*Методы оценки и примеры:*

1. *Анализ планов уроков.* Проверяются учебные планы на наличие этапов, где используется визуализация. *Пример:* В плане урока по истории учитель указывает использование временных лент для изучения ключевых событий «История развития вычислительных техники».

2. *Проектная деятельность учащихся.* Оценивается, как учитель руководит созданием визуальных материалов учениками. *Пример:* Ученики под руководством педагога создают инфографику по информатике.

3. *Обратная связь от учеников.* Проводится опрос, насколько визуализация помогает ученикам лучше понимать материал. *Пример вопроса для учеников:* "На сколько баллов из 10 вы оцениваете полезность графиков и схем на уроках?"

Классификация уровней готовности позволяет выявить различия в компетенциях педагогов, которые проявляются в их способности интегрировать технологии визуализации в образовательный процесс. Для более детального анализа предлагается рассмотреть трехкомпонентную матрицу, которая отображает взаимосвязь уровня готовности педагогов с его ключевыми компонентами: предметным, методическим и управленческим.

В таблице 2 представлены критериальные показатели компонент готовности учителя к использованию технологий визуализации, отражающие особенности каждого уровня готовности в разрезе ключевых компонентов. После анализа структуры таблицы 2 важно отметить, что на основе данной модели можно сформировать более детализированную систему оценки, позволяющую учесть индивидуальные особенности каждого педагога.

Таблица 2. Уровневые показатели компонент готовности учителя информатики

Компонент готовности учителя информатики	Уровни готовности		
	Низкий уровень	Средний уровень	Высокий уровень
Предметный компонент	Недостаток знаний и навыков в области использования визуализации.	Частичное использование визуальных средств для объяснения отдельных тем.	Систематическое применение визуализации для объяснения сложных тем, создание собственных визуальных материалов.
Методический компонент	Отсутствие применения визуализации в методической работе.	Использование визуализации на отдельных этапах урока.	Комплексное использование визуализации в методической работе, включая интерактивные материалы.
Управленческий компонент	Отсутствие планирования использования визуализации.	Четкое, но эпизодическое управление процессом применения визуализации.	Систематическое управление учебным процессом с интеграцией визуальных технологий.

Будем использовать трёхкомпонентную матрицу готовности, которая предоставляет возможность описания различных комбинаций уровней предметного, методического и управленческого компонентов (Таблица 3).

Таблица 3. Трёхкомпонентная матрица готовности учителя информатики к использованию технологий визуализации (27 состояний)

№	Предметный компонент	Методический компонент	Управленческий компонент	Описание состояния
1	Низкий	Низкий	Низкий	(Низкий, Низкий, Низкий)
2	Низкий	Низкий	Средний	(Низкий, Низкий, Средний)
3	Низкий	Низкий	Высокий	(Низкий, Низкий, Высокий)
4	Низкий	Средний	Низкий	(Низкий, Средний, Низкий)
5	Низкий	Средний	Средний	(Низкий, Средний, Средний)
6	Низкий	Средний	Высокий	(Низкий, Средний, Высокий)
7	Низкий	Высокий	Низкий	(Низкий, Высокий, Низкий)
8	Низкий	Высокий	Средний	(Низкий, Высокий, Средний)
9	Низкий	Высокий	Высокий	(Низкий, Высокий, Высокий)
10	Средний	Низкий	Низкий	(Средний, Низкий, Низкий)
11	Средний	Низкий	Средний	(Средний, Низкий, Средний)
12	Средний	Низкий	Высокий	(Средний, Низкий, Высокий)
13	Средний	Средний	Низкий	(Средний, Средний, Низкий)
14	Средний	Средний	Средний	(Средний, Средний, Средний)
15	Средний	Средний	Высокий	(Средний, Средний, Высокий)
16	Средний	Высокий	Низкий	(Средний, Высокий, Низкий)
17	Средний	Высокий	Средний	(Средний, Высокий, Средний)
18	Средний	Высокий	Высокий	(Средний, Высокий, Высокий)
19	Высокий	Низкий	Низкий	(Высокий, Низкий, Низкий)
20	Высокий	Низкий	Средний	(Высокий, Низкий, Средний)
21	Высокий	Низкий	Высокий	(Высокий, Низкий, Высокий)
22	Высокий	Средний	Низкий	(Высокий, Средний, Низкий)
23	Высокий	Средний	Средний	(Высокий, Средний, Средний)
24	Высокий	Средний	Высокий	(Высокий, Средний, Высокий)
25	Высокий	Высокий	Низкий	(Высокий, Высокий, Низкий)
26	Высокий	Высокий	Средний	(Высокий, Высокий, Средний)
27	Высокий	Высокий	Высокий	(Высокий, Высокий, Высокий)



Этот инструмент позволяет не только диагностировать текущий уровень готовности, но и предложить персонализированные рекомендации для дальнейшего профессионального роста учителя. В таблице 3 представлена детализированная структура готовности учителя, которая отражает сочетание различных компонент его готовности в виде трехмерного информационного вектора. В данном контексте имеем: предметный компонент, методический компонент, управленческий компонент. Порядковые значения этих компонент определим как "Низкий", "Средний" или "Высокий".

Таблица имеет 27 строк, каждая из которых представляет уникальную комбинацию уровней готовности учителей информатики.

Интегрированная оценка уровня готовности учителя информатики к использованию технологий визуализации определяется по шкале, которую можно построить по суммарным весовым коэффициентам, которые присвоим очевидным образом: низкий =1, средний=2, высокий =3. При этом, если суммарный вес информационного вектора составляет от 3 до 5, то итоговая оценка уровня готовности является низкой, от 6 до 7 – средней, от 8 до 9 – высокой (см. таблицу 4).

Таблица 4. Шкала итоговой оценки готовности учителя информатики

Позиции	1-5, 7,10,11,13,19	7,9,10,12,14-17,20-23,25	18,24,26,27
Оценка	низкий	средний	высокий

Например, если у респондента показатели при тестировании по всем трем аспектам готовности оказались как (низкий, низкий, низкий – позиция 1) или (низкий, средний, средний – позиция 5), то итоговый уровень готовности является «низким». Итоговый высокий уровень готовности будет у учителя с показателями: (высокий, средний, высокий –позиция 24) или (высокий, высокий, средний –позиция 26).

Иногда полезно оценить общий уровень готовности целой группы обучающихся. Для этих целей следует подсчитать количество респондентов с низким K1, средним K2 и высоким K3 уровнем готовности. Для вычисления итогового рейтинга группы учителей используем следующую формулу:

$$Q=3 \cdot K1+4 \cdot K2+5 \cdot K3$$

Пример расчётов: Если K1 = 9(чел), K2 = 9(чел), K3 = 3(чел), то итоговый рейтинг будет:  $Q=3 \cdot 9+4 \cdot 9+5 \cdot 3=27+36+15=78$ .

Для сравнения рейтингов нескольких групп из разного количества педагогов целесообразно принять нормированный рейтинг группы ( $Q_{norm}$ ):

$$Q_{norm} = \frac{q}{N},$$

где N = K1+ K2+ K3 – количество учителей в группе.

Для анализа динамики изменения уровня готовности учителей информатики к использованию технологий визуализации в одной заданной группе формула нормированного рейтинга будет иметь вид:

$$Q_{norm} = \frac{q}{Q_{max}},$$

где, Q – итоговый рейтинг, рассчитанный по формуле выше,  $Q_{max}$  – максимальный возможный рейтинг, который может быть достигнут. В данном случае,  $Q_{max}$  рассчитывается исходя из предположения, что все учителя имеют высокий уровень готовности:

$$Q_{max} = 3 * 0 + 4 * 0 + 5 * (K1 + K2 + K3).$$

Пример расчёта нормированного рейтинга. Если  $K_1 = 9$ ,  $K_2 = 9$ ,  $K_3 = 3$ , то итоговый рейтинг  $Q$  уже был рассчитан выше, как 78. Максимально возможное значение  $Q_{\max}$ , если все 21 учитель имеют *высокий уровень готовности*, будет равно:

$$Q_{\max} = 5 * (9 + 9 + 3) = 5 * 21 = 105$$

Тогда нормированный рейтинг будет:

$$Q_{\text{нм}} = \frac{78}{105} \approx 0.743$$

Таким образом, нормированный рейтинг для данной группы учителей составляет приблизительно 0.743, что показывает относительный уровень готовности учителей по шкале от 0 до 1.

### **Дискуссия**

Для повышения качества подготовки педагогов разработана диагностическая модель, которая позволяет оценить текущий уровень готовности на основе критериев и показателей, распределённых по трём ключевым компонентам. Использование структурной трёхкомпонентной матрицы обеспечивает системный подход к диагностике, позволяя учесть индивидуальные особенности обучаемых и предложить персонализированные стратегии их профессионального роста.

Диагностическая модель готовности будущего учителя информатики к использованию технологий визуализации опирается на трехкомпонентную структуру, состоящую из предметного, методического и управленческого компонентов. Для каждого компонента определены порядковые уровни: низкий, средний, высокий. Итоговый уровень готовности определяется по порядковой шкале, отражающей 27 покомпонентных состояний и разделённых на три интервала, соответствующих низкому, среднему и высокому уровням. Разработаны и предложены примеры измерительных процедур для каждого компонента готовности в виде тестов, заданий, анкет, проектов. Определены формулы расчета обобщённых уровней готовности к использованию технологий визуализации для сравнения групп обучающихся между собой и для выявления динамики изменения этой готовности во времени для отдельной заданной группы.

### **Заключение**

Готовность учителей информатики к использованию технологий визуализации представляет собой сложный и многоаспектный процесс, включающий в себя предметные знания, методические умения и управленческие навыки. Применение технологий визуализации способствует не только улучшению качества образовательного процесса, но и повышению мотивации будущих учителей информатики, делая обучение более наглядным и эффективным.

Разработанная трехкомпонентная модель готовности будущего учителя информатики к использованию технологий визуализации в учебном процессе является технологичной, однозначной и обладает высокой степенью объективности. Модель может быть использована для диагностики многих качеств цифровой компетентности педагога при соответствующем подборе измерительных процедур.

#### *Список использованных источников*

[1] Sauer, F., Khamene, A., Bascle, B., Schimmang, L., Wenzel, F., Vogt, S. *Augmented reality visualization of ultrasound images: System description, calibration, and features*// *IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality*. 2001. P. 30-39. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03181679>

- [2] Зуфарова А.С. Роль технологии визуализации в учебной информации // *Современные проблемы науки и образования*. 2020. №9. – С. 39–41. <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-tehnologii-vizualizatsii-v-uchebnoy-informatsii>
- [3] Horne, M., Thompson, E. *The role of virtual reality in built environment education*. *Journal for Education in the Built Environment*. 2008.- №3(1). -P. 5-24. DOI: 10.11120/jebe.2008.03010005
- [4] Veřmiřovský J. *The Importance of Visualization in Education // Journal of Modern Educational Research*. 2013. [https://www.academia.edu/68657506/The\\_Importance\\_of\\_Visualisation\\_in\\_Education](https://www.academia.edu/68657506/The_Importance_of_Visualisation_in_Education) (дата обращения: 11.10.2024)
- [5] Алексеева А.З. Использование технологии визуализации в дополнительном профессиональном образовании // *Вестник СВФУ. Серия: Педагогика. Психология. Философия*. 2019. №4(16). - С.13-16. <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-tehnologii-vizualizatsii-v-dopolnitelnom-professionalnom-obrazovanii>
- [6] Andreev A.N., Emtseva O.V., Babkina E.S., Dolzhenkov V.N., Kudryashova N.V. *The effectiveness of using visualization tools and forms in distance learning // Revista Tempos e Espaços em Educação*, vol. 14, núm. 33, e16053, 2021 DOI: <https://doi.org/10.20952/revtee.v14i33.16053>
- [7] Гриценчук О.О., Иванюк І.В., Кравчина О.Є., Малицька І.Д., Овчарук О.В., Сороко Н.В. *Європейський досвід розвитку цифрової компетентності вчителя в контексті сучасних освітніх реформ // Інформаційні технології і засоби навчання*. 2018. №3(65). – С.316–336. [https://www.academia.edu/45452293/європейський\\_досвід\\_розвитку\\_цифрової\\_компетентності\\_вчителя\\_в\\_контексті\\_сучасних\\_освітніх\\_реформ](https://www.academia.edu/45452293/європейський_досвід_розвитку_цифрової_компетентності_вчителя_в_контексті_сучасних_освітніх_реформ)
- [8] Бороненко Т.А., Федотова В.С. Исследование цифровой компетентности педагогов в условиях цифровизации образовательной среды школы // *Вестник Самарского университета. История, педагогика, филология*. – 2021. – №1(27). – С. 51–61. DOI: 10.18287/2542-0445-2021-27-1-51-61
- [9] Шекербекова Ш.Т., Бақытбекова Ж.Б. Цифрлық құзыреттілік информатика мұғалімінің кәсіби дағдыларының бірі ретінде. – *Вестник КазНПУ имени Абая, Серия «Физико-математические науки»*. – 2023. – №4(84). – С. 321–331. DOI: <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2023.84.4.032>.
- [10] Бақытбекова Ж.Б., Камалова Г.Б. Визуализация технологияларын оқыту болашақ информатика мұғалімдерінің цифрлық құзыреттілігін дамыту факторы ретінде // *Вестник КазНПУ имени Абая, Серия «Физико-математические науки»*. – 2024. – №2(86). – С. 253–263. DOI: <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.86.2.023>.
- [11] Головчин М.А. Измерение профессиональной готовности к педагогической деятельности будущих учителей на основе критериально-уровневой оценки // *Russian Journal of Economics and Law*. - 2023.- № 4(17). С. 882–903. DOI: <https://doi.org/10.21202/2782-2923.2023.4.882-903>.
- [12] Semenikhina, E.V., Yurchenko, A.A. *Professional readiness of teachers to use computer visualization tools: A crucial drive // Journal of Advocacy, Research and Education*. -2016. -№3(7). P. 174–178. [https://www.academia.edu/100209764/Professional\\_Readiness\\_of\\_Teachers\\_to\\_Use\\_Computer\\_Visualization\\_Tools\\_a\\_Crucial\\_Drive](https://www.academia.edu/100209764/Professional_Readiness_of_Teachers_to_Use_Computer_Visualization_Tools_a_Crucial_Drive)
- [13] Semenog O., Yurchenko A., Udovychenko O., Kharchenko I., Kharchenko S. *Formation of future teachers' skills to create and use visual models of knowledge // TEM Journal*. 2019.- № 1(8). P. 275–283. [https://www.academia.edu/105237642/Formation\\_of\\_Future\\_Teachers\\_Skills\\_to\\_Create\\_and\\_Use\\_Visual\\_Models\\_of\\_Knowledge](https://www.academia.edu/105237642/Formation_of_Future_Teachers_Skills_to_Create_and_Use_Visual_Models_of_Knowledge)
- [14] Дочкин С.А., Мичурина Е.С. Технологии визуализации знаний как необходимый аспект подготовки преподавателей университета // *Профессиональное образование в России и за рубежом*. -2014.- №3(15). С. 54–60. <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-vizualizatsii-znaniy-kak-neobhodimyuy-aspekt-podgotovki-prepodavateley-universiteta>
- [15] Bilousova L., Zhytienova N. *Components of readiness of pre-service science and mathematics teachers to visualization technologies implementation into the subject and professional activity // Професійна ідентичність і Майстерність педагога*. - 2018.- №3. P. 138–141. DOI 10:25128/2415-3605.18.3.10.
- [16] Пак Н.И., Дорошенко Е.Г., Степанова Т.А., Сыромятников А.А. Процессуальная модель оценки качества цифровой образовательной среды с использованием облачных сервисов // *Информатика и образование*. -2022. - № 4(37). С. 96–104. <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2023-38-3-54-63>
- [17] Пак Н.И., Сыромятников А.А., Степанова Т.А., Куулар Д.О. Визуализация процедуры оценки качества цифровой образовательной среды по модели «прозрачный ящик». *Вестник Красноярского государственного педагогического университета имени В.П. Астафьева*, -2023.- №3(38). С. 54–63. DOI: 10.32517/0234-0453-2023-38-3-54-63.

[18] Пак Н.И., Сыромятников А.А. Вопросно-критериальный способ оценки качества цифровой образовательной среды организации // Вестник РУДН. Серия: Информатизация образования. -2022.- № 4(19). С. 312–327. DOI: 10.22363/2312-8631-2022-19-4-312-327.

[19] Минто Б. Золотые правила Гарварда и McKinsey. Правила магической пирамиды для делового письма. Москва: ООО «Издательство «РОСМЭН-ПРЕСС»; 2004. С.192.

#### References

[1] Sauer, F., Khamene, A., Bascle, B., Schimmang, L., Wenzel, F., Vogt, S.(2001) Augmented reality visualization of ultrasound images: System description, calibration, and features// IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality. P. 30-39. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03181679>

[2] Zufarova A.S.. (2020) Rol' tehnologii vizualizatsii v uchebnoj informatsii [The role of visualization technology in educational information]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. №2. 39–41. (In Russian)<https://cyberleninka.ru/article/n/rol-tehnologii-vizualizatsii-v-uchebnoy-informatsii>

[3] Horne, M., Thompson, E. (2008). The role of virtual reality in built environment education. *Journal for Education in the Built Environment*, №3(1), 5-24. DOI: 10.11120/jebe.2008.03010005

[4] Veřmiřovský J. The Importance of Visualization in Education // *Journal of Modern Educational Research*.2013.[https://www.academia.edu/68657506/The\\_Importance\\_of\\_Visualisation\\_in\\_Education](https://www.academia.edu/68657506/The_Importance_of_Visualisation_in_Education)(дата обращения: 11.10.2024)

[5] Alekseeva A.Z. (2019) Ispol'zovanie tehnologii vizualizatsii v dopolnitel'nom professional'nom obrazovanii [The use of visualization technology in additional vocational education]. *Vestnik SVFU. Seriya: Pedagogika. Psihologija. Filosofija*. №4(16). 13-16. (In Russian) <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-tehnologii-vizualizatsii-v-dopolnitelnom-professionalnom-obrazovanii>

[6] Andreev A.N., Emtseva O.V., Babkina E.S., Dolzhenkov V.N., Kudryashova N.V. The effectiveness of using visualization tools and forms in distance learning // *Revista Tempos e Espaços em Educação*, vol. 14, n.ºm. 33, e16053, 2021 DOI: <https://doi.org/10.20952/revtee.v14i33.16053>

[7] Gricenchuk O.O., Ivanjuk I.V., Kravchina O.E., Malic'ka I.D., Ovcharuk O.V., Soroko N.V. Evropejs'kij dosvid rozvitku cifrovoi kompetentnosti vchitelja v konteksti suchasnih osvithnih reform [European experience in the development of digital competence of the teacher in the context of modern educational reforms]. *Informacijni tehnologii i zasobi navchannja*. 2018. №3(65). 316–336.[https://www.academia.edu/45452293/европейський\\_досвід\\_розвитку\\_цифрової\\_компетентності\\_в\\_чителя\\_в\\_контексті\\_сучасних\\_освітніх\\_реформ](https://www.academia.edu/45452293/европейський_досвід_розвитку_цифрової_компетентності_в_чителя_в_контексті_сучасних_освітніх_реформ)

[8] Boronenko T.A., Fedotova V.S. (2021) Issledovanie cifrovoj kompetentnosti pedagogov v uslovijah cifrovizatsii obrazovatel'noj sredy shkoly [Research on the digital competence of teachers in the context of digitalization of the school educational environment] *Vestnik Samarskogo universiteta. Istorija, pedagogika, filologija*. №1(27). 51–61. (In Russian) DOI: 10.18287/2542-0445-2021-27-1-51-61

[9] Shekerbekova Sh.T., Bakytbekova Zh.B. (2023) Cifrlık quzyrettilik informatika muğaliminiñ kasibi dagdylarynyn biri retinde [Digital competence as one of the professional skills of computer science teacher]. *KazUPU habarshysy, «Fizika zhane matematika» serijasy*. №4(84), 321–331. DOI: <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2023.84.4.032>. (In Kazakh)

[10] Bakytbekova Zh.B., Kamalova G.B. (2024) Vizualizatsija tehnologijalaryn oqytu bolashaq informatika muzalimderinin cifrlıq quzyrettiligin damytu faktory retinde [Visualization technology training as a factor in the development of digital competence of future computer science teachers]. *KazUPU habarshysy, «Fizika zhane matematika» serijasy*. №2(86). 253–263. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.86.2.023>.

[11] Головчин М.А. (2023) Izmerenie professional'noj gotovnosti k pedagogicheskoj dejatel'nosti budushhih uchitelej na osnove kriterial'no-urovnevoj ocenki [Measuring professional readiness for pedagogical activity of future teachers based on criteria-level assessment]. *Russian Journal of Economics and Law*. № 4(17), 882–903. DOI: <https://doi.org/10.21202/2782-2923.2023.4.882-903>. (In Russian)

[12] Semenikhina, E.V., Yurchenko, A.A. (2016) Professional readiness of teachers to use computer visualization tools: A crucial drive // *Journal of Advocacy, Research and Education*. №3(7). 174–178. [https://www.academia.edu/100209764/Professional\\_Readiness\\_of\\_Teachers\\_to\\_Use\\_Computer\\_Visualization\\_on\\_Tools\\_a\\_Crucial\\_Drive](https://www.academia.edu/100209764/Professional_Readiness_of_Teachers_to_Use_Computer_Visualization_on_Tools_a_Crucial_Drive)

[13] Semenog O., Yurchenko A., Udovychenko O., Kharchenko I., Kharchenko S. (2019) Formation of future teachers' skills to create and use visual models of knowledge // TEM Journal. № 1(8). 275–283. [https://www.academia.edu/105237642/Formation\\_of\\_Future\\_Teachers\\_Skills\\_to\\_Create\\_and\\_Use\\_Visual\\_Models\\_of\\_Knowledge](https://www.academia.edu/105237642/Formation_of_Future_Teachers_Skills_to_Create_and_Use_Visual_Models_of_Knowledge)

[14] Dochkin S.A., Michurina E.S. (2014) Tehnologii vizualizatsii znaniy kak neobhodimyy aspekt podgotovki prepodavatelej universiteta [Knowledge Visualization Technologies as a Necessary Aspect of University Teacher Training]. Professional'noe obrazovanie v Rossii i za rubezhom. №3(15). 54–60. (In Russian) <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-vizualizatsii-znaniy-kak-neobhodimyy-aspekt-podgotovki-prepodavateley-universiteta>

[15] Bilousova L., Zhytienova N. (2018) Components of readiness of pre-service science and mathematics teachers to visualization technologies implementation into the subject and professional activity. Професійна ідентичність і Майстерність педагога. №3. Р. 138–141. DOI 10:25128/2415-3605.18.3.10.

[16] Pak N.I., Doroshenko E.G., Stepanova T.A., Syromyatnikov A.A. (2022) Processual'naja model' ocenki kachestva cifrovoj obrazovatel'noj sredy s ispol'zovaniem oblachnyh servisov [A procedural model for assessing the quality of a digital educational environment using cloud services]. Informatika i obrazovanie. № 4(37). 96–104. (In Russian) <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2023-38-3-54-63>

[17] Pak N.I., Syromyatnikov A.A., Stepanova T.A., Kuular D.O. (2023) Vizualizatsija procedury ocenki kachestva cifrovoj obrazovatel'noj sredy po modeli «prozrachnyj jashhik» [Visualization of the procedure for assessing the quality of a digital educational environment using the “transparent box” model]. Vestnik Krasnojarskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni V.P. Astaf'eva. №3(38). 54–63.

[18] Pak N.I., Syromyatnikov A.A. (2022) Voprosno-kriterial'nyj sposob ocenki kachestva cifrovoj obrazovatel'noj sredy organizatsii [Question-criteria method for assessing the quality of the digital educational environment of an organization]. Vestnik RUDN. Serija: Informatizatsija obrazovanija. № 4(19). 312–327. DOI: 10.22363/2312-8631-2022-19-4-312-327. (In Russian)

[19] Minto B. (2004) Zolotyie pravila Garvardda i McKinsey. Pravila magicheskoy piramidy dlja delovogo pis'ma [Golden Rules of Harvard and McKinsey. Magic Pyramid Rules for Business Letters]. Moskva: OOO «Izdatel'stvo «ROSMJeN-PRESS». 192. (In Russian)



К. М. Беркимбаев<sup>1</sup>, Г. С. Қапбар<sup>2\*</sup>, А. Е. Карымсакова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ.,  
Қазақстан

<sup>2</sup>Л. Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан  
\*e-mail: [gkapbar@mail.ru](mailto:gkapbar@mail.ru)

## БІЛІМ БЕРУ ПЛАТФОРМАСЫНДА ТӘЖІРИБЕГЕ БАҒЫТТАЛҒАН ТӘСІЛДЕ PYTHON-ДЫ ОҚЫТУ

*Аңдатпа*

Бұл зерттеу Python тілінде бағдарламалауды оқыту процесін білім беру платформасы негізінде тәжірибеге бағытталған тәсілмен ұйымдастыруды қарастырады. Бағдарламалау дағдыларын қалыптастыру үшін теориялық білімді практикамен ұштастыру өте маңызды, себебі бұл студенттерге оқу процесін белсенді және тиімді түрде меңгеруге мүмкіндік береді. Python тілі – бағдарламалауды үйренуге қолайлы, қарапайым әрі қуатты құрал болып табылады. Қазіргі таңда оқу процесінде білім беруді цифрландыру мәселелері өзекті болып табылады. Білім беру сапасын оңтайландыру, сапалы оқытуды жүзеге асыру білім беру платформасын ұсынуға байланысты. Мақаланың мақсаты - еліміздегі жоғары оқу орындарында информатика мұғалімдерін даярлау және IT мамандықтарында білім алушыларға Python тілінде бағдарламалауды оқыту барысында тәжірибелік бағыттағы тәсілдерді қолдану, білім алу сапасын арттырып, кәсіби дағдыларын дамытуға бағытталған. Білім беру платформасы арқылы оқытудың басты артықшылығы – білім алушылардың өзіндік жұмыс жасау мүмкіндігі және олардың оқыту процесіне белсенді қатысуы. Платформа интерактивті тапсырмаларды, жаттығуларды, тесттерді және бейнемазмұнды ұсына отырып, студенттерді практикалық тұрғыда жұмыс істеуге ынталандырады. Сонымен қатар, платформада қолданылатын автоматты бағалау жүйесі студенттердің нәтижелерін тез арада тексеріп, оларға кері байланыс береді, бұл өз кезегінде білім деңгейін арттыруға көмектеседі. Бұл тәсілдің нәтижесінде студенттер Python тілінде бағдарламалаудың негіздерін жақсы меңгереді, сонымен қатар қиын әрі күрделі тапсырмаларды шешуге дағдыланады. Тәжірибеге бағытталған оқыту әдісі оқушылардың сыни ойлауын, шығармашылық қабілетін дамытып, бағдарламалау саласындағы құзіреттіліктерін арттырады.

**Түйін сөздер:** практикалық дағдылар, ОБП, интерактивті әдіс, тасымалдаушы тапсырмаларды орындау әдісі, интерактивті ресурс, Python, визуализатор.

К.М. Беркимбаев<sup>1</sup>, Г.С. Қапбар<sup>1</sup>, А.Е. Карымсакова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави,  
г.Туркестан, Казахстан

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г.Астана, Казахстан

## ОБУЧЕНИЕ PYTHON В ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОМ ПОДХОДЕ НА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЕ

*Аннотация*

В данном исследовании рассматривается организация процесса обучения программированию на языке Python практико-ориентированным способом на основе образовательной платформы. Для формирования навыков программирования очень важно сочетание теоретических знаний с практическими, так как это позволяет студентам активно и эффективно осваивать учебный процесс. Язык Python – это простой и мощный инструмент, подходящий для изучения программирования. В настоящее время в учебном процессе актуальны вопросы цифровизации образования. Оптимизация качества образования, реализация качественного обучения зависят от предоставления образовательной платформы. Цель статьи-подготовка учителей информатики в вузах страны и применение практических подходов в обучении программированию на языке Python для обучающихся по IT специальностям, повышение качества образования и развитие профессиональных навыков. Основным

преимуществом обучения через образовательную платформу является возможность самостоятельной работы обучающихся и их активное участие в процессе обучения. Платформа мотивирует студентов работать на практике, предлагая интерактивные задания, упражнения, тесты и видеомонтаж. Кроме того, автоматическая система оценки, используемая на платформе, быстро проверяет результаты учащихся и дает им обратную связь, что, в свою очередь, помогает повысить уровень образования. В результате такого подхода студенты лучше овладеют основами программирования на Python, а также привыкнут решать сложные и сложные задачи. Практико-ориентированный метод обучения развивает критическое мышление, творческие способности учащихся, повышает их компетенции в области программирования.

**Ключевые слова:** практические навыки, ООП, интерактивный метод, способ выполнения задач-носителей, интерактивный ресурс, Python, визуализатор.

K. M. Berkimbayev<sup>1</sup>, G. S. Kapbar<sup>2</sup>, A.E. Karymsakova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kozha Akhmet Yassawi international Kazakh-Turkish university, Turkestan, Kazakhstan

<sup>2</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

## LEARNING PYTHON IN A PRACTICE - ORIENTED APPROACH ON AN EDUCATIONAL PLATFORM

### Abstract

This study examines the organization of the learning process of programming in Python in a practice-oriented way based on an educational platform. For the formation of programming skills, it is very important to combine theoretical knowledge with practical knowledge, as this allows students to actively and effectively master the learning process. Python is a simple and powerful tool suitable for learning programming. Currently, the issues of digitalization of education are relevant in the educational process. The optimization of the quality of education and the implementation of quality education depend on the provision of an educational platform. The purpose of the article is to train computer science teachers in the country's universities and apply practical approaches in teaching Python programming to students in IT specialties, improve the quality of education and develop professional skills. The main advantage of learning through an educational platform is the possibility of independent work of students and their active participation in the learning process. The platform motivates students to work in practice by offering interactive assignments, exercises, tests and video editing. In addition, the automatic assessment system used on the platform quickly checks the results of students and gives them feedback, which, in turn, helps to improve the level of education. As a result of this approach, students will better master the basics of Python programming, as well as get used to solving complex and complex tasks. The practice-oriented teaching method develops critical thinking, creative abilities of students, increases their competence in the field of programming.

**Keywords:** practical skills, OOP, interactive method, method of performing carrier tasks, interactive resource, Python, visualizer.

### Негізгі ережелер

Бұл зерттеудің негізгі идеясы – Python тілінде бағдарламалауды тәжірибеге бағытталған тәсілде оқытуды онтайландыру. Зерттеу жұмысында «Python-да бағдарламалауды тәжірибеге бағытталған тәсілде оқыту» курсы әзірленді және Python тілін үйренуге арналған курс мазмұнына сай құрастырылған веб-платформа функционалдық тұрғыда таныстырылды. Зерттеу жұмысы Мұхтар Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінде және Өзбекәлі Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университетінің физика-математика факультетінде өткізілді. Сондай-ақ, курс мазмұны мен білім беру платформасының тиімділігі мен мүмкіндіктері жүргізілген зерттеу жұмысы барысында тексерілді.

### Кіріспе

Қазіргі таңда ЖОО-да кәсіби мамандарды даярлауға жоғары талаптар қойылады. IT мамандарын және информатика педагогтерін даярлауда қойылатын талаптар – бұл білім беру жүйесінде ақпараттық технологиялар саласына қатысты әртүрлі мамандықтар мен мамандарды даярлау үрдісінде маңызды роль атқаратын мәселелер. Қазіргі уақытта



ақпараттық технологиялар және бағдарламалау саласы дамып келе жатқандықтан, осы салада кәсіби мамандарды даярлау үшін нақты талаптар мен стандарттар қойылуда. Бұл талаптар қазіргі заманауи технологияларға сәйкес білім беру, педагогикалық дағдыларды дамыту, жоғары сапалы білім беру процесін қамтамасыз ету және басқа да көптеген аспектілерді қамтиды. А. А. Бейдтің пікірінше, қазіргі білім беру жүйесінде студенттер тек теориялық біліммен шектеліп қалмауы керек, олар нақты өмірде қолдануға болатын *практикалық дағдыларды* меңгеруі тиіс. Бағдарламалау тілдерін үйрету тек теориялық қырынан ғана емес, сонымен қатар практикалық тұрғыдан да маңызды болуы керек [1].

ЖОО – да болашақ мамандарға және де информатика педагогтеріне Python бағдарламалау тілін меңгеру деңгейін тәжірибеге бағытталған тәсілде оқыту қажеттілігі қазіргі заманғы білім беру жүйесінің маңызды аспектілерінің бірі болып табылады. Python тілі – *қарапайым әрі түсінікті синтаксисімен және көп функционалдығымен* ерекшеленеді, бұл оны оқыту үшін өте тиімді етеді. Болашақ IT мамандары мен педагогтер үшін Python тілін оқытудың тәжірибеге бағытталған тәсілін қолдану бірнеше себептермен маңызды:

- Python-ды оқытудың тәжірибеге бағытталған тәсілі студенттерге нақты проблемаларды шешу дағдыларын қалыптастыруға мүмкіндік береді.

- Тәжірибеге бағытталған оқыту барысында студенттер белгілі бір тапсырмаларды шешу үшін алгоритмдер құрып, логикалық есептерді шешеді. Бұл қабілеттер Python тілін меңгергеннен кейін басқа бағдарламалау тілдеріне де оңай ауысуға септігін тигізеді.

- Python тілінде бағдарламалауды тәжірибеге бағытталған тәсілде оқытудың нәтижесінде болашақ IT мамандары мен педагогтер практикалық дағдыларды ерте меңгеріп, нарықта бәсекеге қабілетті болады.

Python тілін оқыту барысында негізінен дәріс, семинар және практикалық сабақтар сияқты дәстүрлі оқыту формалары қолданылады, бірақ қазіргі білім беру талаптарына сүйене отырып, олар Python тілінде бағдарламалаудың тәжірибелік бағыттағы әдіснамасын зерттеу үшін жеткіліксіз.

Осылайша, ЖОО-ның алдында болашақ IT мамандарын және де информатика мұғалімін осы тақырыпты оқытуға дайындау, оны жеткілікті пәндік және әдістемелік құралдармен жабдықтау міндеті тұр.

*Зерттеу мақсаты:* еліміздегі ЖОО – да информатика мұғалімдерін даярлау және де IT мамандықтарында білім алушыларды Python тілінде бағдарламалауды оқытуда тәжірибелік бағыттағы тәсілді қолданып, білім алу деңгейін жақсарту, кәсіби дағдыларын дамыту.

*Зерттеу міндеттері:* Python-да бағдарламалауды оқытудың тәжірибеге бағытталған тәсілінің моделін құру; Python бағдарламалау тілін оқытудың мазмұны мен әдістерін анықтау

### **Зерттеудің әдіснамасы**

Зерттеу жұмысы Мұхтар Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінде және Өзбекәлі Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университетінің физика-математика факультетінде өткізілді. Зерттеу тақырыбына байланысты бірқатар кешенді тәжірибелік әдістер қолданылды. Атап айтсақ, педагогикалық, психологиялық, ғылыми жұмыстарға анализ және синтез жасау. Шетелдік және отандық жоғары оқу орындарында Python тілінде бағдарламалауды оқыту жағдайы салыстырмалы түрде талданды. Шетелдік және отандық ресурстарды пайдалану зерттеу тақырыбын тереңірек зерттеуге мүмкіндік берді. Психологиялық-педагогикалық, анықтамалық және әдістемелік әдебиеттерге теориялық талдау жүргізу; білім беру процесін мониторингтеу; сауалнама жүргізу.

ЖОО – да білім беру процесінде тәжірибеге бағытталған тәсілді қолданып оқыту әдістері тиімді екеніне көзіміз жетіп отыр. Мысалы, Гарвард университетінің профессоры, компьютерлік ғылым саласындағы маман және бағдарламалауды оқытудың әдістемесі бойынша әлемге танымал педагог Дэвид Малан өзінің бүкіл әлемге танымал CS50(2007) курсына Python тілі оның қарапайым синтаксисі мен күшті функционалдығының арқасында бастапқы деңгейдегі бағдарламалаушылар үшін өте тиімді тіл болып табылатынын және

студенттерге практикалық дағдыларды, сондай-ақ алгоритмдер мен деректер құрылымын түсінуді үйретудің маңызды екенін көрсетеді. Оның CS50 курсы тәжірибеге бағытталған оқыту әдісін қолданады, яғни студенттер бағдарламалау тілдерін үйренгеннен кейін нақты тапсырмалар мен жобалар арқылы алған білімдерін қолдануға мүмкіндік алады [2]. Тәжірибеге бағытталған тәсілдің білім сапасына ықпалы жоғары екені барлығымызға белгілі. Әрі оқу процесін оңтайландыратыны анық.

Python-да бағдарламалауды тәжірибеге бағытталған тәсілде оқыту – бұл білім беру процесінің ең тиімді әдістерінің бірі, өйткені ол студенттердің алған теориялық білімдерін нақты өмірде қолдануға мүмкіндік береді. Бұл тәсілде оқу негізінен жобалар мен практикалық тапсырмаларға негізделген, яғни студенттер Python тілінде бағдарламалау дағдыларын практикада шыңдайды. Python тілінде бағдарламалау – қазіргі таңда ең танымал және кең қолданылатын бағдарламалау тілдерінің бірі. Python-ның қарапайым синтаксисі, жоғары деңгейдегі мүмкіндіктері және көптеген салада қолданылуы оны жаңадан бастаушылар үшін де, тәжірибелі бағдарламашылар үшін де өте ыңғайлы етеді. Python 1980-жылдардың соңында Гвидо ван Россум (Guido van Rossum) тарапынан әзірленген, әрі 1991 жылы алғаш рет шыққан. Python тілі жоғары деңгейлі, интерпретациялық, динамикалық типтелген және объектіге бағытталған (ОБП) тіл болып табылады [3].

Python тілінің ерекшеліктері мен артықшылықтары:

- Жеңіл синтаксис: Python-ның синтаксисі айқын және оқуға оңай, сондықтан оны бағдарламалауды жаңадан бастағандар үшін үйрену қиын емес.

- Кросс-платформалық: Python әртүрлі операциялық жүйелерде (Windows, macOS, Linux) жұмыс істей алады.

- Үлкен стандартты кітапхана: Python көптеген кітапханалар мен модульдерге ие. Стандартты кітапхана сізге көптеген тапсырмаларды орындау үшін дайын құралдар мен функцияларды ұсынады.

- Интерпретациялық: Python бағдарламаларының орындалуы тез, өйткені код бірден орындалады және компиляция қажет емес.

- Объектіге бағытталған: Python объектіге бағытталған бағдарламалау тілін қолдайды, бұл кодтың құрылымын түсінікті әрі тиімді етеді.

Python бағдарламалау тілінің қолдану аясы өте кең. Веб-әзірлеуде, ғылыми есептеулер және деректерді талдауда, жасанды интеллект және машиналық оқытуда, автоматтандыру, ойындар жасауда, системалық бағдарламалауда қолданылады. Python бағдарламалау тілін үйрену жолдарын үш деңгейге бөліп қарастырсақ болады олар: бастапқы деңгей (негізгі ұғымдар мен синтаксис), орта деңгей (объектіге бағытталған бағдарламалау және деректер құрылымдары), жоғары деңгей (пакеттер мен кітапханаларды қолдану, веб-әзірлеу, машиналық оқыту)[4].

Python-да бағдарламалауды тәжірибелік бағыттағы тәсілде оқыту мәселелерін зерттеумен Zhuo Yu, D. S. Resnick, David J. Malan, Ю. А. Дьяконов, А. П. Барышников, А. Ю. Беляев, Е. Н. Соловьева, Michael Forrester және т. б. ғалымдар айналысқан.

Беркимбаев К. М., Ниязова Г. Ж., Мауленов С. С., Байтерекова Н. И., Искендірова Г. С. «Python бағдарламалау тілі» оқу құралын білім берудің барлық деңгейіндегі оқытушылар мен білім алушыларға, ізденушілерге арнап шығарған. Оқу құралында Python тілін терең меңгеруге арналған теориялық материалдар мен зертханалық жұмыстар қарастырылған [5].

Жоғарыда аталған ғалымдардың еңбектерін талдау барысында Python-да бағдарламалауды тәжірибеге бағытталған тәсілде оқытудың маңыздылығы нақтыланды және бірқатар тиімді әдіс – тәсілдер анықталды:

- *Жобалық оқыту*: студенттер нақты өмірлік мәселелерді шешетін жобалар жасап, Python тілін үйренеді.

- *Интерактивті әдістер*: Python тілін оқыту барысында оқушыларды практикалық жұмыстарға тарту, әсіресе код жазу мен нақты тапсырмаларды орындау.

- *Тасымалдаушы тапсырмаларды орындау әдісі*: Студенттер түрлі проблемаларды шешу арқылы білім алады, бұл олардың аналитикалық ойлау қабілеттерін дамытуға көмектеседі.

Қазіргі таңда Python тілін *интерактивті және тасымалдаушы тапсырмаларды орындау әдістерді* пайдалану арқылы оқытуды жетілдіру мақсатында зерттеулер жүргізілуде. Бұл әдістер студенттерге нақты тапсырмаларды орындауға мүмкіндік береді және оларды шығармашылық тұрғыдан бағдарламалауды үйретеді. Python бағдарламалау тілін оқыту әдістемелерін зерттеу және оны жоғары оқу орындарында оқытудың тиімді жолдарын табу. Бұл жерде интерактивті құралдар, бағдарламалау орталары, оқыту әдіс-тәсілдері маңызды орын алады.

*Интерактивті әдіс* – бұл оқыту процесінде білім алушылардың белсенді қатысуын және өзара әрекеттесуін қамтамасыз ететін педагогикалық тәсіл. Бұл әдіс білім алушы мен оқытушы арасындағы диалог, пікір алмасу, топтық немесе жұптық жұмыс, тапсырмалар мен практикалық әрекеттер арқылы білім алу процесін ұйымдастыруды білдіреді. Интерактивті әдіс білім беру барысында студенттердің тек тындап қана қоймай, оқу материалына белсенді түрде араласуын және өз білімдерін қолдануын көздейді.

*Интерактивті әдістің негізгі ерекшеліктері:*

1. *Білім алушының белсенді қатысуы:* Оқушылар сабақ барысында тек пассивті тындаушы емес, өздерінің білімдері мен тәжірибелерін бөлісіп, оқу процесіне белсенді қатысады.

2. *Білім алушы мен мұғалім арасындағы байланыс:* Мұғалім тек ақпаратты беруші ғана емес, білім алушыларға бағыт-бағдар беруші, кеңесші болып әрекет етеді. Білім алушы мен мұғалім арасында үздіксіз кері байланыс орнатылады.

3. *Проблемалық жағдайларды шешу:* Білім алушыларға нақты өмірлік немесе оқу материалынан алынған мәселелер мен тапсырмалар беріледі. Білім алушылар оларды шешу үшін шығармашылықпен жұмыс істейді.

4. *Топтық және жұптық жұмыс:* Білім алушылар топтарда немесе жұптарда жұмыс істей отырып, бір-бірімен пікір алмаса алады, идеяларымен бөліседі, тапсырмаларды бірігіп орындайды.

5. *Әртүрлі оқу құралдарын пайдалану:* Интерактивті әдісте мұғалім тек дәстүрлі оқыту құралдарын емес, мультимедиялық және интернет-ресурстарды, білім беру платформаларын да қолданады [6].

*Тасымалдаушы тапсырмаларды пайдалану әдісі* оқушыларға өздеріне белгілі бір контексте алған білімдерін басқа жағдайларда қолдануды үйретуге бағытталған. Бұл әдіс білім мен дағдылардың белгілі бір тақырып аясында ғана емес, сол білімнің жаңа контекстерде немесе басқа салаларда қолданылуына негізделген. Яғни, тасымалдаушы тапсырмаларды пайдалану әдісі оқушылардың алған білімдерін басқа, жаңа және шынайы өмірлік жағдайларда қолдануын дамытуға көмектеседі. [7]

Аталған әдістерге сай Python бағдарламалау тілін тәжірибеге бағытталған тәсілде оқыту курсының мазмұны қандай болуы керек? Бұл сұраққа жауап беру үшін бірқатар ғалымдардың ғылыми еңбектеріне талдау жасалды.

Марк Гуздиалдың зерттеулері ақпараттық технологиялар және бағдарламалауды оқыту әдістерін жетілдіруге бағытталған. Ол Python тілін оқытуда студенттерге тәжірибелік тапсырмалар берудің маңыздылығын атап өтеді. *Интерактивті тапсырмалар* мен *көп деңгейлі жобалар* арқылы студенттерді бағдарлама жасауға баулуды ұсынады [8].

Танымал американдық программист Грейс Хоппер (Grace Hopper) компьютерлік ғылымдарды оқытудың жаңа тәсілдерін ұсынды. Хоппердің идеялары негізінде бағдарламалау тілін үйретуде тапсырмаларды нақты өмірлік жағдайларға бейімдеу, яғни тасымалдаушы тапсырмалар әдісінің тиімді екенін алға тартады [9].

С. Касьянов, К. Фадеева еңбектерінде оқытуды басқару жүйелерін (LMS) және Интернет қызметтерін: Google Docs және Google Colabratory пайдалана отырып, Python ортасында бағдарламалауды онлайн қауымдастықтардың мектеп оқушыларына үйрету мәселелері қарастырылады [10].

Avouris, Nikolaos, Sgarbossa, Kyriakos, Paliouras, Vassilis, Koukias, Michalis мақаласында студенттерді бағдарламалаумен таныстыруға және сонымен бірге практикалық тәжірибелік

тәсілді қолдана отырып, Информатиканың негізгі ұғымдарын қамтуға бағытталған "Есептеулерге кіріспе" жаңа курсы әзірлеу және енгізу тәжіриесін қарастырады [11].

Цифрландыру дәуіріндегі білім беру жүйесі мүлдем басқаша болады, өйткені жаңа ақпараттық технологиялар, инновациялық сипаттағы электронды курстар оқыту моделіне белсенді түрде ене бастайды және олардың болашағы зор. Жаңа сапалы форматтағы мамандарды даярлау университеттердің профессорлық - оқытушылық құрамынан ақпараттық-коммуникациялық технологияларды (АКТ) пайдаланудың тиісті жаңа дағдыларын талап етеді. Бүгінгі таңда білім беруде дәстүрлі оқулықтар мен басқа да материалдарды пайдалану орнына цифрлық білім беру ресурстарын және интернет - ресурстарын қолдану ұсынылады [12].

Қазіргі таңда Python бағдарламалау тілін оқытуға арналған көптеген интернет – ресурстары бар. Әр платформа өзінің тіл үйрету методикасымен ерекшеленеді. ІТ әлемінде Python тілін меңгеруге арналған танымал платформалар Coursera, Codecademy, Educative.io, Pythontutor, W3schools және т.б.

Coursera – мықты мамандар даярлаған онлайн-курстар жиынтығы. Онда тек Python бағдарламалау тілін меңгеруге арналған курстардан басқа да онлайн-курстар жинақталған. Coursera платформасының ерекшелігі үйренуші өзі орындаған тапсырмаларын эксперттердің тексеруінен өткізе алады және әрдайым кері байланыс орындалып отырады [13].

Educative.io - бұл бағдарламалауды үйренуге және кодты тікелей браузерде жазуға болатын мәтіндік, интерактивті платформа. Оқыту методикасы практикаға бағытталған. Үйренуші мәтіндік тұжырымдаманы оқып, тиісті кодты келесі жолға жаза алады. Яғни, ешқандай бағдарламалау ортасын жүктеудің немесе орнатудың қажеті жоқ. Бұл кез-келген Python тілін бастаушыларға арналған курстардан үлкен артықшылығы, өйткені жаңадан келгендердің көпшілігі бағдарламалау ортасын орнату қиындықтарына тап болатындықтан алға жылжымайды [14].

Pythontutor – бұл Python тілінде бағдарламалауды бастауға арналған әмбебап платформа. Онлайн интерпретатор толығымен тегін. Сонымен қатар, визуализатор Python тьюторы браузерде жұмыс істейді және пайдаланушыға жұмыс ортасын орнатудың қажеті жоқ. Алдымен тақырып бойынша анықтама ұсынылады. Мұнда барлық терминдер мен функциялардың егжей-тегжейлі сипаттамасы, сондай-ақ өткен материалға арналған мини-тренажерлер бар. Содан кейін Python визуализаторымен шешуге ұсынылатын тапсырмалар бар. Тапсырмаларды орындау барысында үйренушіден қателік кетсе, онлайн визуализатор көмегімен жіберген қателіктерді қадамдарға бөліп, орыс тіліндегі түсіндірмесін көруге болады. Және платформада берілген тапсырмаларды шешудің әр – түрлі жолдары ұсынылады [15].

W3schools - онлайн кодтауды үйренуге арналған тегін білім беру веб – платформасы. Python тілінен басқа көптеген HTML, CSS, JavaScript, JSON, PHP, AngularJS, SQL, Bootstrap, Node.js, jquery, XQuery, Ajax секілді бағдарламалау тілдерін меңгеруге арналған ағылшын тіліндегі цифрлық оқу материалы болып табылады. Мұнда тек онлайн түрде код жазып қана қоймай, өз білімін тексеруге арналған тест тапсырмаларын да орындауға болады [16].

Жоғарыда талқыланған жүйелерде байланыс мүмкіндіктерін қарастырғанда келесі аспектілерді атап көрсетуге болады: пайдаланушы профилімен тиімді жұмыс істеу мүмкіндігі; HTML редакторымен жұмыс істеу мүмкіндігі; форумды пайдалану; жеке хабарламалармен алмасу; чат арқылы байланысу; қажет жағдайда мәтінге сурет ретінде формулаларды енгізу мүмкіндігі. Кемшіліктерге мыналар жатады: интерфейс тым күрделі, және бағдарламалау тілін жеткілікті білмейтін мұғалім жүйені басқаруда қиындықтарға тап болады. Пайдаланушыларды бөлімдер, бөлімшелер немесе филиалдар бойынша топтарға бөлу мүмкіндігі жоқ, студенттер тобын тек курс ішінде ғана құруға болады. Жүйе әрбір студент бойынша есептер жасайды, бірақ жалпы жиынтық кестесі немесе статистикасы жоқ.

Интерактивті ресурстар мен платформаларды шолу арқылы білім беру жүйесіне арналған цифрлық платформалардың әр түрлі деңгейде қарқынды дамып келе жатқандығын байқауға болады. Бағдарламалау тілдерін үйренуге арналған онлайн платформалардың

функционалдығына салыстырмалы талдау жүргізілді. Талдау барысында платформалардың ЖОО студенттері мен оқытушыларына оқу процесінде көмекші құрал ретінде қолдану аясы бойынша артықшылықтары мен кемшіліктері атап өтілді. Кемшіліктердің ішінде ерекше назар аударылады:

- курс материалдары ақылы (coursera, educative.io),
- тәжірибелік тапсырмалар мен кодпен тәжірибе жасау мүмкіндіктері шектеулі, бұл оқушылардың теория мен практиканы байланыстыруына қиындық тудыруы мүмкін. (w3school, coursera),
- тақырыпқа сай бейнемазмұн мен материалдардың жеткіліксіздігі (educative.io, w3school).

### **Зерттеу нәтижелері**

Жоғарыда талқыланған тұжырымдар негізінде Python-да бағдарламалауды практикалық тәсілде оқытуға арналған платформаға қойылатын негізгі талаптар тұжырымдалды. Платформаны құру үшін [www.ps.kz](http://www.ps.kz) бұлттық серверінен хостинг алынды.

Білім беру платформасы төмендегі талаптарды қанағаттандырады:

- қарапайым және түсінікті интерфейс: платформа интуитивті түрде түсінікті, пайдаланушылар қиындықсыз қажетті құралдар мен материалдарды таба алуы;
- интерактивті оқу құралдарының болуы: платформа тек мәтінмен шектелмей, бейнемазмұн, тесттер, тапсырмалар, практикалық жаттығулар сияқты түрлі интерактивті элементтерден тұруы;
- жеке оқу траекториясы: платформа студенттің білім деңгейіне, қажеттілігіне сәйкес курстар мен материалдарды ұсынатын адаптивті оқыту жүйесіне ие;
- жаңартылған және дәл ақпарат: курстың оқу материалдарының сапасы жоғары болуы, олар үнемі жаңартылып отыруы;
- оқу прогресін бақылау: студенттердің оқу барысын, тапсырмалар мен тесттердің нәтижелерін бақылап, оны жақсартуға бағытталған жүйелер болуы;
- мультимедиа қолдану: бейнемазмұн, инфографика, аудио және басқа мультимедиа форматтарын қолдану оқу процесін қызықты және тиімді етуі.

Веб-платформаның негізгі функционалдық талаптарын анықтадық. Платформаны қолданушылардың әрқайсысының өз ролі бар. Олар: әкімші, оқытушы, білім алушы, қонақтар. Ұсынылып отырған курс теориялық білімді меңгеруге, Python-да практикаға бағытталған тәсілде оқыту негіздеріне, тұжырымдар мен қағидаларды және нормативтерді түсінуге бағытталғанын ескере келе, құзіреттілік тәсілді жүзеге асыру, және мүмкіндікті қамтамасыз ету қажет [17]. Веб-платформа Python тілін тәжірибеге бағытталған тәсілде оқыту курсына негізделген.

- Курс мазмұнын құру және материалдарын өңдеу;
- Python тілін тәжірибеге бағытталған тәсілде оқыту курсының материалдарын бекіту;
- Дәрістер мен тестілерді құру/өңдеу;
- Студенттерге арналған тестілеу нәтижелерінің статистикасын қарау;
- Python бағдарламалау тіліне арналған визуализатор құру.

Веб-платформа Python-ды тәжірибеге бағытталған тәсілде оқыту курсына негізделгендіктен білім алушы мен оқытушы бетінде Python бағдарламалау тілінің бастапқы, орташа, жоғары деңгейдегі тақырыптар және әр тақырыпқа сәйкес видеоматериалдар, тақырыпқа сәйкес *тасымалдаушы тапсырмаларды пайдалану әдісі* бойынша құрылған тапсырмалар және тест сұрақтары бейнеленген. Платформада Python тілінің визуализаторы қарастырылған. Яғни білім алушылар алған теориялық білімін бірден практикалық тұрғыда қолданып көреді. Бұл бағдарламалау тілін меңгеруге өте тиімді әдіс – тәсіл болмақ.

Python-ды тәжірибеге бағытталған тәсілде оқыту курсының мазмұны 1-кесте көрсетілгендей бастапқы және орташа деңгейді қамтиды. Курс мазмұнына қысқаша шолу.

Кесте 1. «Python-ды тәжірибеге бағытталған тәсілде оқыту» курсының мазмұны

№	Python-ды тәжірибеге бағытталған тәсілде оқыту	Мақсаты: Python тіліне деген қызығушылықты ояту, бағдарламалау негіздерін түсіндіру. Python-дағы негізгі деректер құрылымдары мен олардың қолданылуын түсіну.	Цифрлық контент
			Видео/Тест/ тапсырма
1. Python бағдарламалау тіліне шолу	Python дегеніміз не? Оның артықшылықтары мен қолдану салалары. Python орнату және алғашқы бағдарлама жазу. Python синтаксисі мен құрылымы. Қарапайым бағдарламалар: Hello World.	Практикалық тапсырмалар: алғашқы Python бағдарламасын жазу. Айнымалылар мен деректер типтерін пайдаланып шағын есептер шешу.	Тест тапсыру, деңгейлік тапсырмаларды визуализатор көмегімен орындау
2. Деректермен жұмыс істеу: типтер мен құрылымдар	Айнымалылар, деректер типтері: int, float, str, list, tuple, set, dict. Деректер құрылымдарын өңдеу әдістері: индекстер, срездер, және әдістер. Тізімдер мен кортеждер: қосу, жою, іздеу. Жиындар мен сөздіктер: жинақтау, іздеу, жаңарту.	Практикалық тапсырмалар: Калькуляторды жаза отырып, әртүрлі деректер типтерін қолдану. Мәтіннен белгілі бір сөздерді іздейтін бағдарлама жазу. Сандық деректерді сұрыптау және өңдеу.	Тест тапсыру, деңгейлік тапсырмаларды визуализатор көмегімен орындау
3. Бақылау құрылымдары: шартты операторлар мен циклдер	Шартты операторлар: if, elif, else. Циклдер: for, while. Циклдерді қолдану: санақ жүргізу, мәліметтерді қайта өңдеу. Блоктар мен индентация (кодың құрылымы).	Практикалық тапсырмалар: Тізімдегі жұп және тақ сандарды бөлу. Пайдаланушыдан мәлімет алып, оның енгізген деректерін өңдеу. Фибоначчи сандарын есептеу және шығару.	Тест тапсыру, деңгейлік тапсырмаларды визуализатор көмегімен орындау
4. Функциялар мен модульдер	Функциялар: анықтау, параметрлерді беру, қайтару мәні. Функциялардың қолданылуы және қалқымалы функциялар. Модульдер мен кітапханалар: import және from ... import. Стандартты кітапханалар мен өз модульдерін жасау.	Практикалық тапсырмалар: Функция құру және қайта пайдалануға арналған код жазу. Жеке модуль жасау және оны басқа бағдарламада пайдалану. Визуализациялау үшін модульдермен жұмыс (мысалы, matplotlib).	Тест тапсыру, деңгейлік тапсырмаларды визуализатор көмегімен орындау
5. Қателерді өңдеу және тестілеу	Қателерді табу және өңдеу (try, except). Стандартты қателер және оларды өңдеу әдістері. Тестілеу: бағдарламаны тестілеу және тестілеу құралдары. Лог файлдарымен жұмыс.	Практикалық тапсырмалар: Қателерді өңдеу және пайдаланушыдан алынатын мәліметтерді тексеру. Тест жазу және кодтың дұрыс жұмыс істеп тұрғанын тексеру.	Тест тапсыру, деңгейлік тапсырмаларды визуализатор көмегімен орындау
6. Объектке бағытталған бағдарламалау (ООП)	Класстар мен объектілердің негіздері. Инкапсуляция, мұрагерлік, полиморфизм. Құрылымдар мен әдістерді қолдану. __init__, __str__, __repr__ сияқты арнайы әдістер.	Практикалық тапсырмалар: Класстар мен объектілер құру, мысалы, автокөліктер немесе студенттер туралы ақпаратты сақтау. Мұрагерлік қолдана отырып, бағдарламаны кеңейту. Объектілермен жұмыс жасау, олардың қасиеттерін басқару.	Тест тапсыру, деңгейлік тапсырмаларды визуализатор көмегімен орындау

1-кестеде қарастырылған курс мазмұны ЖОО-ның бакалавр бойынша білім алушыларына арналған «Python тілінде бағдарламалау» пәнінің тақырыптары мен мазмұнына сай жазылған. Зерттеу жұмысы Мұхтар Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінде және Өзбекәлі Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университетінің физика-математика факультетінде өткізілді. Сондай-ақ, курс мазмұны мен білім беру платформасының тиімділігі мен мүмкіндіктері жүргізілген зерттеу жұмысы барысында тексерілді. Зерттеу жұмысына «Python тілінде бағдарламалау» пәні өтілетін білім алушылар ( $n = 77$ ) қатысты. Деректер 2023 – 2024 оқу жылының екінші семестрінде өткізілген. Сауалнамаға қатысқан респонденттер студенттер болды.

1. Сізге қолданылған платформа ұнады ма? Иә –91%; жоқ –9%.
2. Сіз платформа бетін түсінбеген кезіңіз болды ма? Иә –5%; жоқ –95%.
3. Курс материалдары сізге түсінікті болды ма? Иә –80%; жоқ –20%.
4. Сіз компьютерлік технологияны меңгеруде қиындықтарына тап болдыңыз ба? Иә –18%; жоқ –82%.
5. Оқытушының көмегісіз визуализатор көмегімен практикалық тапсырмаларды шешуде қиындықтар болды ма? Иә –18% /жоқ –82%.
6. Сіз берілген материалдың көптігіне байланысты келеңсіздіктерге тап болдыңыз ба? Иә –32%; жоқ –68%.
7. Сіз оқытушылармен тікелей қарым-қатынас жасау қажеттілігін сезінесіз бе? Иә –29%; жоқ –71%.
8. Тест тапсырмаларын тапсыру кезінде сіз өткен жылдардағы сессиялармен салыстырғанда көбірек алаңдадыңыз ба? Иә –80%; жоқ –20%.
9. Python бағдарламалау тілін платформа көмегімен үйрену уақытыңызды үнемдеуге көмегін тигізді ме? Иә –88%; жоқ –12%
10. Визуализатор көмегімен Python-да тапсырмаларды орындау кезінде қиындықтар болды ма? Иә –11%; жоқ –89%

Білім беру платформасын қолдану кезінде анықталған кем тұстарымен артықшылықтарын ескере келе, платформаға функционалдық тұрғыда ақауларын жөндеу, оқытушы мен білім алушы арасындағы байланыс құралдарын орналастыру қажеттігі туындайды. Сауалнаманы қорытындылай келе Python-да бағдарламалауды платформа көмегімен үйрету және үйрену уақытты үнемдеу жағынан және практикалық дағдыларды қалыптастыру үшін өте тиімді тәсіл екендігіне көзіміз жетіп отыр.

### Дискуссия

Зерттеу нәтижелері ЖОО студенттері үшін Python тілінде бағдарламалауды оқытудың тәжірибеге бағытталған тәсілінің тиімділігін көрсетеді. Әртүрлі оқыту әдістері студенттердің Python бағдарламалау тілін игеруге деген қызығушылығын арттыруға көп қырлы тәсілдерді қолданудың маңыздылығын айқындайды. Нәтижеде, жобалық оқыту, интерактивті әдіс тәсілдер, тасымалдаушы тапсырмаларды орындау әдістерінің тиімділігі көрсетілді. Ол ЖОО – да Python-да тәжірибеге бағытталған тәсілде оқытуға арналаған жаңаша интерактивті әдіс тәсілдерді енгізу қажеттігін көрсетеді.

Нәтижелер жобалық, интерактивті оқыту әдіс тәсілдердің тиімділігін көрсететін басқа да зерттеулермен сәйкес келеді. Сонымен қатар, бұл нәтижелер осы әдістерді тиімді ету үшін қолданылатын механизмдерді тереңірек зерттеуге мүмкіндік береді. Бұл зерттеу инновациялық оқыту әдістерінің тиімділігін эмпирикалық түрде дәлелдеп, білім алушылардың бағдарламалау тілін меңгерудегі қиындықтары мен оларды шешу жолдарын анықтауға, сондай-ақ Python тілін оқыту процесін жақсартуға үлес қосады.

### Қорытынды

Бұл мақалада Python-да бағдарламалауды тәжірибеге бағытталған тәсілде оқытудың тиімді әдіс – тәсілдері анықталып, «Python-да бағдарламалауды тәжірибеге бағытталған тәсілде



оқыту» - деп аталатын курс мазмұны әзірленді. Сондай – ақ цифрлық білім беру платформаларына талдау жасалды. Білім беру платформаларына қойылған негізгі талаптарды ескере келе, «Python-да бағдарламалауды тәжірибеге бағытталған тәсілде оқыту» - курсының мазмұнына негізделген веб-платформа жасалды. Платформа дәрістерді, видеолекцияларды, тақырыпқа сай деңгейлік тапсырмаларды, тесттерді, Python визуализаторын, статистиканы қарауды қамтиды.

Оқытушының оқу процесін ұйымдастыру ғана емес, оны бақылауға да мүмкіндігі бар. Оқытушының білім алушылардың білім деңгейін статистика арқылы бақылап отыруы, және соған сәйкес әр студенттің үлгеріміне сай арнайы тапсырмалар беруі білім сапасын жақсартуға

*Пайдаланылған дереккөздердің тізімі*

[1] Бейд А.А. Проблемы освоения объектно ориентированных технологий программирования на ранних этапах изучения информатики в педагогическом вузе// Информатизация обучения математике и информатике: педагогические аспекты: Материалы международной научной конференции, посвященной 85-летию Белорусского государственного университета Минск. –2006. -С. 22-25.

[2] «Официальный сайт Гарвардского университета». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pll.harvard.edu/course/cs50-introduction-computer-science> (29.11.24)

[3] Matthes E. Python crash course: A hands-on, project-based introduction to programming. – no starch press, 2023.

[4] «Документация Python 3.13.0». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.python.org/3/> (29.11.24)

[5] Python бағдарламалау тілі: Оқу құралы / Беркимбаев К. М., Ниязова Г. Ж., Мауленов С. С., Байтерекова Н. И., Искендірова Г. С. – Алматы: 2022 – 136 б.

[6] Brown J. W. Some motivational issues in computer-based instruction //Educational Technology. – 1986. – Т. 26. – №. 4. – С. 27-29.

[7] Hajian S. Transfer of learning and teaching: A review of transfer theories and effective instructional practices //IAFOR Journal of education. – 2019. – Т. 7. – №. 1. – С. 93-111.

[8] Guzdial M., Weingarten F. W. Setting a computer science research agenda for educational technology //Washington, DC: Computing Research Association. – 1996.

[9] Kasyanov S., Fadeeva K. Online Educational Community as a Platform for Online Teaching of Python Programming Language to Schoolchildren //2023 3rd International Conference on Technology Enhanced Learning in Higher Education (TELE). – IEEE, 2023. – С. 246-250

[10] Avouris N. et al. Work in progress: An introduction to computing course using a Python-based experiential approach //2017 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). – IEEE, 2017. – С. 1663-1666.]

[11] Hopper G. M. The education of a computer //Proceedings of the 1952 ACM national meeting (Pittsburgh). – 1952. – С. 243-249.

[12] Калимбетов Б.Т., Омарова И.М., Сапаков Д.А. Білім беруді цифрландыру жағдайында математика бакалаврларына функцияларды графикалық кескін түрінде көрсетуді үйрету// Ясауи университетінің хабаршысы. –2023.–No1(127). –Б.215–224.

[13] «Онлайн образовательный курс». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.coursera.org/> (29.11.24)

[14] «Онлайн образовательный курс». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.educative.io/> (29.11.24)

[15] «Интерактивный учебник языка Python». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pythontutor.ru/> (29.11.24)

[16] «Образовательный платформа». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.w3schools.com/> (29.11.24)

[17] Medeshova A., Kassymova A., Mutalova Z., Kamalova G. Distance Learning Activation in Higher Education // European Journal of Contemporary Education. – 2022. – No11(3). – P.831–845. <https://doi.org/10.13187/ejced.2022.3.674>

References

- [1] Bejd A. A. (2006) *Problemy osvoeniya obektno orientirovannykh texnologij programmirovaniya na rannix e'tapax izucheniya informatiki v pedagogicheskom vuze [Problems of mastering object-oriented programming technologies at the early stages of studying computer science at a pedagogical university]* Informatizaciya obucheniya matematike i informatike: pedagogicheskie aspekty: Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashhennoj 85-letiyu Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta Minsk. 22-25. (In Russian)
- [2] "Official website of Harvard University" ["Harvard University Official Website."]. [Electronic resource]. - Access mode: <https://pl.harvard.edu/course/cs50-introduction-computer-science> (29.11.24). (In Russian)
- [3] Matthes E. *Python crash course: a practical, project introduction to programming*. - no starch press, 2023.
- [4] "Python Documentation 3.13.0" ["Python 3.13.0 Documentation."]. [Electronic resource]. - Access mode: <https://docs.python.org/3/> (29.11.24) (In Russian)
- [5] Berkimbaev K. M., Niyazova G. Zh., Maulenov S. S., Bajterekova N. I., Iskendiroya G. S. (2022) *Python bagdarlamalau tili [Python programming language]* Oku kuraly – Almaty: 136. [In Kazakh]
- [6] Brown J. V. some motivational problems in computer learning // *educational technology*. - 1986. - Vol. 26. – no. 4. - pp. 27-29.
- [7] Hajian S. *replacing teaching and learning: a review of transfer theories and effective teaching practices* // *Journal of Education*. - 2019. - Vol. 7. -№. 1. - pp. 93-111.
- [8] Guzdial M., Weingarten F. W. *setting the agenda for the study of computer science in Educational Technology* // Washington, D.C.: Association for the study of computing. – 1996.
- [9] Kasyanov S., Fadeeva K. *Association of online education as a platform for online learning of the Python Programming Language for schoolchildren* // 2023 3rd International Conference on improving technologies in higher education (TELE). - Yes, 2023. - P. 246-250
- [10] Avuris N. et al. *Work in progress: introduction to the course of computing using a Python-based experiential approach* // 2017 IEEE Global Conference on engineering education (EDUCON). - IEEE, 2017. – P. 1663-1666.]
- [11] Hopper G. M. *computer training* // *Proceedings of the 1952 ACM National Assembly (Pittsburgh)*. – 1952. - pp. 243-249.
- [12] Kalimbetov B.T., Omarova I.M., Sapakov D.A. (2023) *Bilim berudi cifrlandyru zhazdajynda matematika bakalavrlaryna funkciyalardy grafikalyq keskin tyrinde kersetudi yjretu [A teaching Bachelors of mathematics in the context of digitalization of Education to display functions in the form of a graphic image]* Yasau universitetiniñ xabarshysy. No1(127). – 215–224. [In Kazakh]
- [13] "Online educational course". [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.coursera.org/> (29.11.24) (In Russian)
- [14] "Online Educational Course". [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.educative.io/> (29.11.24) (In Russian)
- [15] "Interactive tutorial of the Python language". [Electronic resource]. - Access mode: <https://pythontutor.ru/> (29.11.24) (In Russian)
- [16] "Educational platform". [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.w3schools.com/> (29.11.24) (In Russian)
- [17] Medeshova., Kasymova A., Mutalova Z., Kamalova G. *Activation Of Distance Learning In Higher Education* // *European Journal Of Modern Education*. –2022. - №11 (3). –P. 831-845. <https://doi.org/10.13187/ejced.2022.3.674>

С.Н. Конева<sup>1\*</sup>, М.Е. Мансурова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

\*e-mail: [konevasveta@mail.ru](mailto:konevasveta@mail.ru)

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ЦЕЛЯХ

### *Аннотация*

Фокус данного исследования направлен на методологию обучения блокчейн-технологиям. Цель исследования - выявление основных направлений применения блокчейн-технологий в системе образования. Задачи исследования – изучить свойства, принципы организации данных в блокчейн, проанализировать основные направления применения блокчейн-технологий в различных областях деятельности человека, на основе проведенного анализа выделить основные направления использования блокчейн в образовательных целях. Методология исследования заключается в концептуальной проработке понятия блокчейн и определения его связей с основными сферами деятельности человека, применения блокчейн-технологий в различного типа организациях. Значимость данного исследования для науки и общества заключается в том, что реализуется проработка понятия блокчейн в контексте системы образования. Результат исследования в рамках данной публикации ограничивается выявленными взаимосвязями понятия блокчейн в образовании с другими сферами применения.

**Ключевые слова:** блокчейн, блокчейн-технологии, цифровизация образования, блокчейн-технологии в образовании.

С.Н. Конева<sup>1</sup>, М.Е. Мансурова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан,

<sup>2</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

## БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГИЯСЫН БІЛІМ БЕРУ МАҚСАТЫНДА ҚОЛДАНУҒА АНАЛИТИКАЛЫҚ ШОЛУ

### *Аңдатпа*

Бұл зерттеудің мақсаты блокчейн технологияларын оқыту әдістемесіне арналған. Зерттеудің мақсаты – білім беру жүйесінде блокчейн технологияларын қолданудың негізгі бағыттарын анықтау. Зерттеудің міндеттері блокчейндегі деректерді ұйымдастырудың қасиеттері мен принциптерін зерттеу, адам қызметінің әртүрлі салаларында блокчейн технологияларын қолданудың негізгі бағыттарын талдау және талдау негізінде блокчейнді қолданудың негізгі бағыттарын анықтау болып табылады. білім беру мақсатында. Зерттеу әдістемесі блокчейн тұжырымдамасын тұжырымдамалық өңдеуден және оның адам қызметінің негізгі бағыттарымен байланысын анықтаудан, блокчейн технологияларын әртүрлі ұйымдарда қолданудан тұрады. Бұл зерттеудің ғылым мен қоғам үшін маңыздылығы блокчейн ұғымының білім беру жүйесі контекстінде зерттелуінде. Осы жарияланым аясындағы зерттеу нәтижесі білім берудегі блокчейн тұжырымдамасы мен қолданудың басқа салалары арасындағы анықталған байланыстармен шектеледі

**Түйін сөздер:** блокчейн, блокчейн-технологиялар, білім беруді цифрландыру, білім берудегі блокчейн технологиялары.

S.N. Koneva<sup>1</sup>, M.E. Mansurova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

## ANALYTICAL REVIEW OF THE APPLICATION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY FOR EDUCATIONAL PURPOSES

### *Abstract*

The focus of this study is on the methodology of teaching blockchain technologies. The purpose of the study is to identify the main areas of application of blockchain technologies in the education system. The objectives of the study are to study the properties and principles of organizing data in the blockchain, analyze the main areas of application of blockchain technologies in various areas of human activity, and, based on the analysis, identify the main areas of use of the blockchain for educational purposes. The research methodology consists of a conceptual elaboration of the concept of blockchain and the definition of its connections with the main areas of human activity, the use of blockchain technologies in various types of organizations. The significance of this study for science and society lies in the fact that the concept of blockchain is being explored in the context of the education system. The result of the research within the framework of this publication is limited to the identified relationships between the concept of blockchain in education and other areas of application

**Keywords:** blockchain, blockchain technologies, digitalization of education, blockchain in education.

### **Основные положения**

Изучение свойств блокчейн, проведенный аналитический обзор областей применения блокчейн-технологий в различных областях деятельности человека заставляет задуматься над тем, какие из этих вопросов можно применить в системе образования в условиях цифровизации образования и как это отразится в целом на качестве образования. Выявленные направления применения блокчейн-технологий с системе образования и полученные результаты исследования подтверждают необходимость внедрения этих технологий в целом в систему образования и в отдельные ее структурные компоненты. Это усилит цифровые процессы в самом образовании и положительно скажется на подготовке специалистов и контроле образования.

### **Введение**

В Послании народу Президент К.-Ж. Токаев подчеркивает, что необходимо уделять повышенное внимание вопросам цифровизации и внедрения инноваций [1]. За последние годы Казахстан вошел в число лидеров по индексу развития финансовых технологий внедрения инноваций на базе сети Интернет в финансовой области [2]. Одной из наиболее перспективных финансовых технологий считаются распределенные реестры, одним из видов которых является блокчейн. Блокчейн находит свое применение в различных сферах, особенно в финансовой и в сфере информационной безопасности. В последнее время сфера применения блокчейн-технологий постепенно расширяется: блокчейн внедряется в отдельные финансовые инструменты, инструменты государственного управления, страхования и др. В условиях цифровизации общества и всех областей деятельности человека, в том числе и системы образования остро стоит вопрос внедрения цифровых инструментов контроля, обеспечения прозрачности, защиты данных. Эти вопросы эффективно решаются за счет внедрения блокчейн-технологий, поэтому актуально рассмотреть возможности применения блокчейн-технологий с целью выявить связи с базовыми понятиями компьютерных наук и в дальнейшем внедрить их в сферу образования как технологию эффективного контроля и надежной безопасности.

В рамках исследования нами изучены основные направления применения блокчейн по сферам деятельности и особенности его использования в экономике, управлении, финансах, здравоохранении, логистике, безопасности. Опираясь на свойства и архитектуру блокчейн, сферы их применения в результате мы адаптировали возможности блокчейн-технологий для системы образования, решения различного типа педагогических и управленческих задач

образования, определили связи блокчейн-технологий с основными видами педагогической деятельности в условиях цифровизации образования.

В результате исследования, приходим к выводу о том, что если в систему образования внедрить блокчейн-технологии, то управление различного типа данными в образовании (например, хранение персональных данных, выдача документов об образовании, публикация учебных курсов на различных образовательных платформах, различные формы обучения такие как персонализированное, дистанционное обучение и многое другое) будет безопасным, прозрачным, децентрализованным и как следствие эффективным.

### **Методология исследования**

Констатирующий этап экспериментальной работы проводился на базе кафедры Искусственного интеллекта и Big Data факультета Информационных технологий Казахского национального университета имени аль-Фараби в 2023-2024 годах под руководством заведующей кафедрой, к.ф.-м.н., доцента М.Е. Мансуровой. В результате которого сделан анализ используемых информационных технологий в различных видах деятельности кафедры искусственный интеллект и Big Data: учебный процесс, научно-исследовательская работа, контроль учебных достижений, управление кафедрой и др. Авторами работы проанализированы образовательные программы (ОП) бакалавриата «Интернет вещей и Big Data» (6В07113 – Интеллектуальные системы управления, 6В06107 – Наука о данных, 6В06104 – Компьютерные науки) и магистратуры «Машинное обучение и анализ данных», «Бизнес аналитика и Big Data» (7М0712 – Интеллектуальные системы управления). В ходе исследования выявлена возможность расширения содержания базовых дисциплин ОП за счет включения тем, связанных с понятием блокчейн, его методами, областями применения, и/или возможность введения самостоятельного учебного курса, ориентированного на изучение основ блокчейн-технологий.

### **Результаты исследования**

#### *Обзор литературы*

Одной из первоочередных задач данного исследования является концептуальная проработка понятия блокчейн и определения его связей с базовыми понятиями компьютерных наук. В рамках данной статьи мы ограничимся следующими понятием блокчейн, приведенными в научно-технической литературе:

- «выстроенная по определенным правилам непрерывная последовательная цепочка блоков (связанный список), содержащих какую-либо информацию» ([//ru/Wikipedia.org/wiki/Блокчейн](https://ru.wikipedia.org/wiki/Блокчейн));
- «цифровая база данных, содержащая информацию (например, записи о финансовых транзакциях), которую можно одновременно использовать и совместно использовать большой децентрализованной общедоступной сетью» ([https:// Merriam-webster.com/dictionary/blockchain](https://Merriam-webster.com/dictionary/blockchain) );
- «это усовершенствованный механизм базы данных, который позволяет организовать открытый обмен информацией в рамках бизнес-сети» ([https:// aws.amazon.com](https://aws.amazon.com));
- «распределенный цифровой реестр криптографически подписанных транзакций, которые сгруппированы в блоки» ([https:// csrc.nist.gov/ glossary/term/blockchain\\_technology](https://csrc.nist.gov/glossary/term/blockchain_technology));
- «это совместный, устойчивый к взлому реестр, который хранит транзакционные записи» (<https://nist.gov/blockchain>);
- «это форма технологии распределенного реестра (DLT), которая обеспечивает беспрецедентный потенциал для устранения посредников, позволяя участвующим сторонам обмениваться не только информацией, но и ценностями (деньгами, контрактами, правами собственности) без необходимости доверять конкретным, заранее определенным посредникам (например, банки или серверы)» [3];
- «информационно-коммуникационная технология, обеспечивающая неизменность информации в распределенной платформе данных на базе цепочки взаимосвязанных блоков

данных, заданных алгоритмов подтверждения целостности и средств шифрования» [4] и др. [5-6].

Ранее на основании вышеперечисленных определений понятия «блокчейн», проведенного литературного обзора в рамках первых этапов исследовательской работы были выделены наиболее значимые «ортогональные» определения блокчейн, в результате чего получен набор «ортогональных» определений понятия «блокчейн». Для построения концептуальной решетки понятия блокчейн выделены элементы формального контекста, на которых и была построена решетка. Такими элементами являются криптовалюты, смарт-контракты, NTF, механизмы консенсуса и др.

Обзор литературы выявил основные области применения блокчейн-технологий в различных сферах деятельности человека: финансы, торговля, логистика, земельный реестр, строительство, голосование, здравоохранение, мультимеда, развлечения, электронное правительство, безопасность. Большинство литературы посвящено применению блокчейн в финансовой деятельности: финансовые операции, индентификация пользователей банковской системы, транзакции, криптовалюта, инвестиции, биржа, платежные системы и др. Такой обширный спектр применения блокчейн-технологий возможен за счет децентрализации, неизменности и консенсуса самой технологии, также за счет особенной архитектуры блокчейна, в состав которой входят смарт-контракты и безопасность.

#### *Направления использования блокчейн-технологий в образовании*

Анализ различных источников по теме исследования позволил выделить основные области применения блокчейн-технологии: финансы, голосование, логистика, здравоохранение, образование, безопасность (рисунок 1).



*Рисунок 1. Основные области применения блокчейн*

Рассмотрим подробно применение возможностей блокчейн-технологии к системе образования с позиций эффективности, прозрачности и безопасности [7]:

1. *Аутентификация*: применение для проверки подлинности дипломов, сертификатов, обеспечение достоверности достижений учащихся, борьба с фальсификацией, контроль и управление персональными данными, надежное хранение данных, предоставление доступа.

2. *Транспорентность*: создание прозрачных систем отслеживания учебных достижений обучающихся, записи о выдачи сертификатов, дипломов, борьба с подделкой документов, аттестатов, дипломов.

3. *Доступ к образовательному контенту*: создание платформ обмена учебными материалами, курсами, распределение учебных материалов, их доступность, создание платформ обучения, где учебные материалы распределены и доступны, доступность без посредников, распространение курсов;

4. *Управление учебными ресурсами*: эффективное распределение учебных ресурсов, библиотек, учебных лабораторий, компьютеров,

5. *Финансирование*: оплата за обучение, обеспечение прозрачности и безопасности при распределении грантов, эффективное управление финансовыми потоками.



Отдельно выделим возможности блокчейн для решения педагогических задач:

1. *Обратная связь*: осуществление прозрачной обратной связи между участниками образовательного процесса, оценивание, комментарий.

2. *Персонализированное обучение*: хранение информации об интересах обучаемых, уровне знаний, возможности создания индивидуальной траектории обучения.

3. *Дистанционное обучение*: создание децентрализованной платформы, проведение занятий без посредников.

4. *Цифровая грамотность*: развитие цифровой грамотности, применение инновационных методов хранения информации.

5. *Администрирование процессов*: учет посещаемости, распределение учебных ресурсов, планирование учебного процесса, цифровые бейджи, сертификаты.

6. *Отчетность*: прозрачность и достоверность отчетности в педагогической деятельности, учебных достижений.

Перечисленные примеры показывают, что применение блокчейн-технологий в педагогической деятельности существенно может повысить эффективность, прозрачность и безопасность учебного процесса. Эти свойства делают блокчейн нужным инструментом для решения различных задач образования.

### Дискуссия

Результаты проведенной исследовательской работы подтверждают актуальность расширения сферы применения блокчейн-технологий, возможности и необходимость внедрения компонентов блокчейн в различные виды деятельности в системе образования. Естественен тот факт, что такое расширение требует специальной подготовки ИТ-специалистов для системы образования, владеющих методами и инструментами блокчейн-технологий, способных интегрировать знания о блокчейн для решения педагогических и управленческих задач.

В то время, как в Казахстане велась работа по цифровизации страны в рамках принятых Государственных программ «Информационный Казахстан - 2020» (2013), «Цифровой Казахстан на 2017-2020 г.г.» (2017), в том числе по внедрению цифровых технологий в образование: формирование условий для создания и функционирования цифровой образовательной среды, усиление связи очных и сетевых форм обучения, переподготовка и повышение квалификации учителей для функционирования системы цифрового образования и др. в ряде зарубежных стран уже наблюдался переход от применения облачных технологий в образовании к применению блокчейн-технологий.

Первым университетом по использованию возможностей блокчейн в образовании считается Кипрский Университет Никосии (Греческий Кипр) (<https://www.unic.ac.cy/>). С 2013 года в этом университете возможно оплачивать обучение биткойнами, с 2017 года используются массовые открытые онлайн курсы (МООК) на базе блокчейн-технологий, создан блокчейн-реестр, обратная связь между преподавателем и студентами осуществляется через блокчейн. Сегодня в Университете Никосии функционирует Исследовательский центр блокчейн-технологий, в центре открыт Институт Будущего, одним из направлений которого являются блокчейн-технологии. С 2018 года в Массачусетском технологическом университете (США) (<http://www.mit.edu/>) и Государственном Мельбурнском университете (Австралия) используется система цифровых дипломов на базе блокчейн. В этих университетах для магистратуры по направлению подготовки в области финансовых введена подготовка «Блокчейн и цифровая валюта», в области инженерии «Компьютерная наука со специализацией в кибербезопасности, мобильных системах или блокчейн-технологиях».

В 2023 году в Астана IT Университете разработана ОП микроквалификации «Блокчейн разработчик» [8]. В КазНУ имени аль-Фараби на кафедре Искусственный интеллект и Big Data ведется работа по разработке тематических карт новых образовательных программ подготовки специалистов в области блокчейн: блокчейн-разработчик «Блокчейн-разработка», специалист



по защите данных в блокчейн сетях «Криптография в блокчейн». В ходе проведенного исследования были определены подходы к изучению блокчейн-технологий в рамках действующих ОП на факультете Информационных технологий и других кафедр факультета.

В образовательных программах для учителей информатики в педагогических вузах блокчейн-технологии не представлены отдельным курсом. Облачные технологии, технологии искусственного интеллекта, Интернет-вещей постепенно интегрируются в блокчейн-сети, что подтверждает еще раз факт необходимости применения блокчейн-технологий в различных областях системы образования. В последние годы в процесс подготовки учителей информатики и робототехники в Казахском национальном педагогическом университете имени Абая на кафедре Информатики и информатизации образования под руководством заведующей кафедрой, к.п.н., ассоциированного профессора Н.Т. Ошановой уделяется внимание цифровым технологиям «4.0 Индустрии» [9]. Одним из зачинателей внедрения цифровых технологий «Индустрии 4.0» в педагогическое образование является профессор кафедры доктор педагогических наук Е.Ы. Бидайбеков [10]. При его непосредственном участии проводятся работы по внедрению в систему образования облачных технологий, иммерсивных технологий и др. В ОП подготовки будущих учителей информатики по специальностям «6В01506 – Информатика», «6В01509 - Информатика и робототехника», «7М01509 – Цифровой педагог» включены курсы «Облачные технологии», «Облачные и мобильные технологии» [11-12], «Основы искусственного интеллекта» [13], «Разработка Интернет-вещей» [14]. С 2020-2021 учебного года в подготовку магистрантов ОП «7М01507 - Информатика» включен курс «Большие данные и машинное обучение», в 2023 году в ОП «7М01509 – Цифровой педагог» включен курс «Машинное обучение в образовании». Опираясь на опыт в области машинного обучения профессоров Р.И. Мухамедиева [15] и Н.Ю. Золотых [16], в содержании дисциплин для магистратуры была предпринята попытка к.п.н., и.о. профессором кафедры Информатики и информатизации образования С.Н. Коневова рассмотреть возможности систем машинного обучения и больших данных для системы образования. В 2024-2025 учебном году в подготовку всех учителей-предметников в КазНПУ им. Абая введен курс «Основы искусственного интеллекта», дополнительно предлагается курс-минор «Разработка Интернет-вещей».

Таким образом, мы видим, что постепенно система образования переводит свой фокус к блокчейн-технологиям. Естественно, сфера образования нуждается не только в ИТ-специалистах в области блокчейн-технологий, но и в педагогах, способных внедрять эти технологии в сферу обучения и воспитания, управления и контроля. Как следствие потребуются тематическая карта подготовки будущих учителей информатики в области внедрения блокчейн в систему образования.

### **Заключение**

В результате нами выявлены основные взаимосвязи понятия блокчейн в образовании с другими сферами применения этой технологии, определены направления внедрения блокчейн-технологий в образовательную сферу. Опыт ведущих мировых вузов демонстрирует на практике применение возможностей блокчейн к системе образования, возможные пути внедрения, которые могут быть адаптированы для всех уровней образования, и использованы в большинстве видов образовательной деятельности. Выявленные направления применения блокчейн-технологий в образовании требуют от системы высшего образования осуществления подготовки специалистов, которые глубоко разбираются в методах блокчейн-технологий и умеют их применять в различных сферах деятельности. В связи с этим на факультете Информационных технологий в КазНУ имени аль-Фараби на кафедре Искусственный интеллект и Big Data ведется работа по подготовке открытия новых образовательных программ «Блокчейн-разработка» и «Криптография в блокчейн», как результат подготовка высококвалифицированных специалистов, для различных сфер деятельности (финансы, цифровая экономика, креативная индустрия, государственное

управление), в том числе и образования. В свою очередь педагогическим вузам следует обратить свой фокус на блокчейн-технологии и по возможности рассмотреть их изучение студентами педагогических специальностей.

### Благодарность

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19679514).

#### Список использованных источников

- [1] Послание Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана «Экономический курс Справедливого Казахстана» <https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-ekonomicheskii-kurs-spravedlivogo-kazahstana-18588> Дата обр. 01.09.2023.
- [2] Послание Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана «Справедливый Казахстан: закон и порядок, экономический рост, общественный оптимизм» <https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-spravedlivyy-kazahstan-zakon-i-poryadok-ekonomicheskii-rost-obshchestvennyy-optimizm-285014>
- [3] ИСО: Международная организация по стандартизации <https://iso.org/ru/home>. Дата обр. 01.09.2024.
- [4] Закон Республики Казахстан от 24 ноября 2015 года №418-V «Об информатизации» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 20.08.2024 г.) <https://online.zakon.kz> Дата обр. 01.09.2024.
- [5] IEEE Blockchain. <https://blockchain.ieee.org/standarts> Дата обр. 01.09.2024.
- [6] IEEE Blockchain /ISO/IEC 8802-IX-2013-IEEE/ISO/IEC Information technology-Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Part IX: Port-based network access control Дата обр. 01.09.2024.
- [7] Блокчейн в образовании – применение и перспективы технологии // <https://prostocoin.com/blockchain-education>. Дата обр. 01.09.2024.
- [8] Образовательная программа микроквалификаций «Блокчейн разработчик» <https://astanait.edu.kz/> Дата обр. 01.09.2024.
- [9] План развития образовательной программы <https://www.kaznpu.kz/ru/2892/page/> Дата обр. 01.09.2024.
- [10] Balykbayev T., Bidaibekov E., Grinshkun V. et al. The influence of interdisciplinary integration of information technologies on the effectiveness of it training of future teachers // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. – 2022. – Vol. 100(5). – P. 1265-1274.
- [11] Bedelov K., Bidaibekov Y., Grinshkun V., Koneva S. The effective use of telecommunication cloud services for the training of future computer science teachers // *World Transactions on Engineering and Technology Education*. – 2021. – Vol.19, Issue 47 – P. 398-403.
- [12] Бидайбеков Е.Ы., Бостанов Б.Г., Беделов К.А., Конева С.Н. Принципы отбора содержания обучению облачным технологиям в педагогическом вузе. // *Вестник КазНПУ им. Абая*. – Алматы, 2020. - № 3 (71) – Алматы. - 2020. – С. 158-162.
- [13] Сагымбаева, А., Жаксылыков, А., Шекербекова, Ш. и Жамкеева, А. Генеративті жасанды интеллект технологиясының программалаудан жоо студенттерінің білімін бақылаудағы рөлі. *Вестник КазНПУ имени Абая. Серия: Физико-математические науки*. 87, 3 (сен. 2024), 320–330. DOI:<https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.87.3.027>.
- [14] Salgozha I.T., Turashova Sh.P., Seiduali K.B., Amangeldin A.A. The necessity of implementing SMART classrooms in the training of future informatics teachers. *Вестник КазНПУ имени Абая. Серия: Физико-математические науки*. 87, 3 (сен. 2024), 307-319. DOI: <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.87.3.026>.
- [15] Мухамедиев Р.И., Амиргалиев Е.Н. Введение в машинное обучение. Учебник. Алматы, 2022. – 288 с.
- [16] Zolotykh N. Yu., Semenov S.O. An experimental analysis of dynamic doubled description method variations // *Communications in computer and information science. Conference on mathematical optimization theory and operation research, Petrozavodsk, 2022*. P. 178-188.

References

- [1] Poslaniye Glavy gosudarstva Kasym-Zhomarta Tokayeva narodu Kazakhstana «*Ekonomicheskiy kurs Spravedlivogo Kazakhstana*» [President Kassym-Jomart Tokayev's State of the Nation Address "Economic course of a Just Kazakhstan"]. <https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-ekonomicheskiy-kurs-spravedlivogo-kazahstana-18588> Data obr.01.09.2023. (In Russian)
- [2] Poslaniye Glavy gosudarstva Kasym-Zhomarta Tokayeva narodu Kazakhstana «*Spravedlivyy Kazakhstan: zakon i poryadok, ekonomicheskiy rost, obshchestvennyy optimizm*» [President Kassym-Jomart Tokayev's State of the Nation Address "Just Kazakhstan: Law and Order, Economic Growth, Social Optimism"] <https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-spravedlivyy-kazahstan-zakon-i-poryadok-ekonomicheskiy-rost-obshchestvennyy-optimizm-285014> Data obr.02.09.2024. (In Russian)
- [3] ISO: Mezhdunarodnaya organizatsiya po standartizatsii [ISO International Organization for Standardization] <https://iso.org/ru/home>. Data obr. 01.09.2024. (In Russian)
- [4] Zakon Respubliki Kazakhstan ot 24 noyabrya 2015 goda №418-V «*Ob informatizatsii*» (s izmeneniyami i dopolneniyami po sostoyaniyu na 20.08.2024 g. ) [Law of the Republic of Kazakhstan dated November 24, 2015 No. 418-V "On informatization" (with amendments and additions as of August 20, 2024)] <https://online.zakon.kz> Data obr. 01.09.2024. (In Russian)
- [5] IEEE Blockchain. <https://blockchain.ieee.org/standarts> Data obr. 01.09.2024.
- [6] IEEE Blockchain /ISO/IEC 8802-IX-2013-IEEE/ISO/IEC Information technology-Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Part IX: Port-based network access control Data obr. 01.09.2024.
- [7] Blokcheyn v obrazovanii – primeneniye i perspektivy tekhnologii [Blockchain in education – application and prospects of technology]. <https://prostocoin.com/blockchain-education>. Data obr. 01.09.2024. (In Russian)
- [8] Obrazovatel'naya programma mikrokvalifikatsiy «*Blokcheyn razrabotchik*» [Educational program for microqualifications "Blockchain Developer"] <https://astanait.edu.kz/> Data obr.01.09.2024. (In Russian)
- [9] Plan razvitiya obrazovatel'noy programmy [Educational program development plan]. <https://www.kaznpu.kz/ru/2892/page/> Data obr.01.09.2024. (In Russian)
- [10] Balykbayev T., Bidaibekov E., Grinshkun V. et al. (2022) The influence of interdisciplinary integration of information technologies on the effectiveness of it training of future teachers // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. Vol. 100(5). 1265-1274.
- [11] Bedelov K., Bidaibekov Y., Grinshkun V., Koneva S. (2021) The effective use of telecommunication cloud services for the training of future computer science teachers // *World Transactions on Engineering and Technology Education*. Vol.19, Issue 47, 398-403.
- [12] Bidaibekov Ye.Y., Bostanov B.G., Bedelov K.A., Koneva S.N. (2020) Printsipy otbora sodержaniya obucheniyu oblachnym tekhnologiyam v pedagogicheskom vuze [Principles for selecting content for teaching cloud technologies at a pedagogical university]. *Vestnik KazNPU im. Abaya*. Almaty, № 3 (71), Almaty. 158-162. (In Russian)
- [13] Сағымбаева, А., Жаксылыков, А., Шекербекова, Ш. и Жамкеева А. (2024) Generativti jasandı intellekt texnologiyasınıñ programmaldan joo stwdenleriniñ bilimin baqılawdağı röli [The role of generative artificial intelligence technology in monitoring the knowledge of programming students]. *Vestnik KazNPU imeni Abaya*. Seriya: Fiziko-matematicheskiye nauki. 87, 3, 320–330. DOI:<https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.87.3.027>. (In Kazakh)
- [14] Salgozha I.T., Turashova Sh.P., Seiduali K.B., Amangeldin A.A. (2024) The necessity of implementing SMART classrooms in the training of future informatics teachers. *Vestnik KazNPU imeni Abaya*. Seriya: Fiziko-matematicheskiye nauki., 3(87), 307-319. DOI:<https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.87.3.026>.
- [15] Mukhamediyev R.I., Amirgaliyev Ye.N. (2022) Vvedeniye v mashinnoye obucheniyе. [Introduction to Machine Learning] *Uchebnik*. Almaty, 288. (In Russian)
- [16] Zolotykh N. Yu., Semenov S.O. (2022) An experimental analysis of dynamic doubled description method variations. *Communications in computer and information science. Conference on mathematical optimization theory and operation research, Petrozavodsk*, P. 178-188.

**B.A. Kurbanbekov<sup>1</sup> , J.M. Bitibaeva<sup>2</sup> , B. Asanbek<sup>1</sup> , Sh.Zh. Ramankulov<sup>1</sup> **

<sup>1</sup> Khoja Ahmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan

<sup>2</sup> Kazakh National Pedagogical University named after Abai, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: Sherzod.ramankulov@ayu.edu.kz

## **ORGANIZATION AND CONDUCT OF PHYSICAL EXPERIMENTS: FEATURES OF VR TECHNOLOGY APPLICATION**

### *Abstract*

Today, it is important to organize and conduct physics experiments at a high modern level. Practices based on phenomena and laws from physics include not only theoretical knowledge, but also practical skills. However, the need for expensive equipment that requires time and safety measures when performing traditional laboratory work in the field of physics causes difficulties. It also limits the possibility for students to comprehensively study physical patterns during practice. The use of VR (virtual reality) technology in the organization and conduct of physical experiments will eliminate these problems and make a significant contribution to achieving learning outcomes. VR technology creates conditions for students to conduct experiments without hazardous materials and complex equipment. This, in turn, makes the activities in the educational process more optimal and safe. In this sense, the main idea and purpose of this study is to determine the features of the use of VR technology in teaching physics, effectiveness in achieving learning outcomes. The study examined examples of teaching some complex physics topics and determined the impact of VR on the assimilation of the topic, the possibility of improving the learning outcomes of laboratory classes. In the course of implementing the research objective, research methods were used: meta-analysis, questionnaires, mathematical and statistical analysis, etc. The results of the study showed the methodological features of the use of VR technology in physical experiments and the effectiveness in improving learning outcomes with ease of mastering the topic. In addition, at the end of the pedagogical study, the students expressed a desire to increase their interest and motivation in learning using VR technology.

**Keywords:** physical experience, virtual reality, learner, VR technologies, educational process, conducting experiments.

Б.А. Курбанбеков<sup>1</sup>, Ж.М. Битибаева<sup>2</sup>, Б. Асанбек<sup>1</sup>, Ш.Ж. Раманкулов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Қ.А.Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан

<sup>2</sup> Абай атындағы Қазақ Ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

### **ФИЗИКАЛЫҚ ТӘЖІРИБЕЛЕРДІ ҰЙЫМДАСТЫРУ ЖӘНЕ ӨТКІЗУ: VR ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚОЛДАНУДЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ**

#### *Аңдатпа*

Бүгінгі таңда физика пәні бойынша тәжірибелерді заман талабына сай жоғары деңгейде ұйымдастыру және өткізу маңызды болып табылады. Физикадан құбылыстар мен заңдарға негізделген тәжірибелер теориялық білімді ғана қамтымайды, практикалық дағдыларды да ұштастырады. Алайда, физика саласындағы дәстүрлі зертханалық жұмыстарды іске асыруда қымбат жабдықтардың қажеттілігі, уақытты және қауіпсіздік шараларын талап ететіндігі қиындықтар тудырады. Сондай-ақ, тәжірибе барысында физикалық заңдылықтарды білім алушылардың жан-жақты зерттеу мүмкіндігін шектейді. VR (виртуалды шындық) технологиясын физикалық тәжірибелерді ұйымдастыру мен өткізуде қолдану бұл шешімдерді жойып, оқу нәтижелеріне қол жеткізуде елеулі үлес қосады. VR технологиясы білім алушылардың қауіпті материалдарсыз, күрделі жабдықтарсыз тәжірибелерді жүргізуіне жағдай жасайды. Бұл өз кезегінде оқу үдерісіндегі іс-әрекеттерді оңтайлы әрі қауіпсіз етеді. Осы тұрғыдан бұл зерттеудің негізгі идеясы мен мақсаты VR технологиясын физиканы оқытуда қолданудың ерекшеліктерін, оқу нәтижелеріне қол жеткізудегі тиімділігін айқындау болып табылады. Зерттеуде физиканың кейбір күрделі тақырыптарын оқыту мысалдары қарастырылды және тақырыпты меңгерудегі VR әсері, зертханалық сабақтардың оқу нәтижелерін жақсарту мүмкіндіктері айқындалды. Зерттеудің мақсатын іске асыру барысында мета-анализ, сауалнама, математикалық-статистикалық

талдау және т.б. зерттеу әдістері қолданылды. Зерттеу нәтижелері VR технологиясын физика тәжірбиелерінде қолданудың әдістемелік ерекшеліктерін және тақырыпты жеңіл меңгеріп, оқу нәтижелерін жақсыртудағы тиімділігін көрсетті. Сонымен қатар, педагогикалық зерттеу соңында білім алушылар VR технологиясын қолдану арқылы, оқуға деген қызығушылығы мен мотивацияларын күшейте алғандарын білдірді.

**Түйін сөздер:** физикалық тәжірибе, VR технология, виртуалды шындық, 3D модел, оқу үдерісі, білім алушы.

Б.А. Курбанбеков<sup>1</sup>, Ж.М. Битибаева<sup>2</sup>, Б. Асанбек, Ш.Ж. Раманкулов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Международный казахско-турецкий Университет имени Х.А.Ясави, г.Туркестан, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский Национальный педагогический университет имени Абая, г.Алматы, Казахстан

## **ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ОПЫТОВ: ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ VR**

### *Аннотация*

На сегодняшний день важным является организация и проведение экспериментов по физике на высоком современном уровне. Практики, основанные на явлениях и законах из физики, включают не только теоретические знания, но и практические навыки. Однако необходимость дорогостоящего оборудования, требующего времени и мер безопасности при выполнении традиционных лабораторных работ в области физики вызывает трудности. Также ограничивает возможность всестороннего изучения обучающимися физических закономерностей в ходе практики. Применение технологии VR (виртуальной реальности) в организации и проведении физических опытов устранил эти проблемы и внесет существенный вклад в достижение результатов обучения. Технология VR создает условия для проведения обучающимися экспериментов без опасных материалов, сложного оборудования. Это, в свою очередь, делает деятельность в учебном процессе более оптимальной и безопасной. В этом смысле основной идеей и целью данного исследования является определение особенностей применения технологии VR в обучении физике, эффективности в достижении результатов обучения. В исследовании рассматривались примеры преподавания некоторых сложных тем физики и определялись влияние VR на усвоение темы, возможности улучшения результатов обучения лабораторных занятий. В ходе реализации цели исследования были использованы методы исследования: метаанализ, анкетирование, математико-статистический анализ и др. Результаты исследования показали методологические особенности применения технологии VR в физических экспериментах и эффективность в улучшении результатов обучения с облегчением освоения темы. Кроме того, в конце педагогического исследования обучающиеся выразили желание усилить интерес и мотивацию к обучению с помощью технологии VR.

**Ключевые слова:** физический опыт, VR-технология, виртуальная реальность, 3D-модель, образовательный процесс, обучающийся.

### **Main provisions**

The idea of the prospective study is to increase the possibility for students to comprehensively study physical patterns in the process of practice based on VR (virtual reality) technology. During the study, examples of teaching some complex physics topics were considered and the influence of VR on the assimilation of the topic, the possibilities of improving the learning outcomes of laboratory classes were revealed. The study used methods of meta-analysis, questionnaires, mathematical and statistical analysis. The results of the study showed the methodological features of the use of VR technology in physical experiments and the effectiveness in improving learning outcomes with ease of mastering the topic.

### **Introduction**

It is known that the conduct of traditional laboratory classes in teaching subjects in the field of physics presents a number of difficulties. Indicators of these difficulties are the inability of students to demonstrate the theoretical knowledge gained in lecture classes in the course of practical work, time constraints in laboratory classes, and lack of access to the equipment necessary for performing many physics experiments. Currently, several studies are being conducted to identify new

technologies to overcome these difficulties. The fact that the pace of technology is changing faster than ever makes it necessary to develop skills related to these technologies early in the student.

In recent years, the widespread use of virtual reality in the field of Education has opened up new opportunities for organizing and conducting physical experiments. Working in an immersive environment based on virtual reality technologies is carried out using specially developed software tools. The importance of virtual reality (VR) technology in teaching physics can be explained by the ability of students to make virtual trips using traditional methods. VR technology allows you to comprehensively demonstrate, study, analyze experiences based on physical phenomena and laws, entering the world of virtual reality.

The work of researchers on the use of VR technology in chemistry and physics laboratories shows that the results of training had a significant positive effect. In the chemistry laboratory, the performance of tasks using VR technology increased by 92.63%, in the Physics Laboratory-by 93.38%. Scientists have proven that VR technology is easy to use in laboratories and improves practical skills [1]. VR technologies create the conditions for making physical experiences more interactive and visually interesting. Students in the educational process can control experiments with their own hands and monitor the results in real time, changing various parameters. Scientific research shows that VR technology can improve the quality of learning and increase the motivation of students [2]. T. Li paid special attention to the advantages and design principles of VR technology in order to deepen students' knowledge and improve the efficiency of the educational process [3]. Therefore, we are convinced that the use of VR virtual reality technology in order to increase the motivation of students using interactive and visual elements in teaching physics has a significant potential. In improving the process of teaching physics, augmented reality (XR) technologies, Virtual Reality (VR) and augmented reality (AR) technologies have given students confidence that they will increase learning motivation [4]. The smartphone-based model of virtual reality (VR) technology provided a free tool for creating visualizations for STEM courses, allowing students to easily create VR visualizations across multiple platforms without the need to learn a complete VR development system [5]. In addition, there are studies that have shown the need to develop VR-based learning, that is, the attitude of participants to The conducted survey among students to this conclusion [6]. Thus, it can be concluded that the development of educational resources using innovative technologies on the way to learning physical knowledge plays an important role in developing students' interest in learning. Among the works that can serve as the basis for the use of the virtual environment in the educational process, E. Shudaifat, N. Alsalhi were able to find out the level of participants by dividing them into experimental and control groups. The experimental group, trained in a virtual environment, found that there was a statistical difference compared to the control group, showed a positive result [7]. H. Guleryuz conducted a study with the view that the introduction of new technologies in the educational process will make learning more sustainable and effective. As a result, a study that lasted 8 weeks showed that 3D technology gives positive results in the educational process [8].

As one of the most important principles of using VR technology in organizing physical experiments, one can cite the ability to make laboratory classes more interesting and increase their methodological significance. S. Chou showed the importance of teaching students of the fourth grade of primary school using interactive technologies in the direction of improving learning outcomes through research [9]. In his article, H. Alsouat noted that VR technology gives good results in the educational process, in the gaming industry, and also has a positive effect on improving digital literacy [10]. In order to increase the level of education of students in the educational process, M. Kumalasari, M. Trieno conducted a study of students in 11 classes, as a result of which they found that the lower-level group was able to increase the level of education by 33%, the middle-level group by 60%, and the upper-level group by 7%. He argued that the virtual world of physics helps students to create physical experiments on their own [11]. The use of VR technology requires conducting research aimed at increasing the interest of students, these studies are used in the organization and conduct of physical practices in the educational system or in the STEM field. These studies show the benefits of VR, which allows you to visualize physical processes in a virtual environment, which in

turn contributes to the development of the educational system. This work focuses on the use of VR technology in teaching physics to answer the scientific questions of the following study:

- Are there any significant differences in the motivation of students using VR technology to master theoretical knowledge in physics?
- What is the role of VR technology in the development of practical skills of students?
- What are the advantages of using VR technology in creating physical experiments over traditional methods?

The purpose and main idea of this study is to determine the solution to the above problems, to demonstrate the advantages of using VR technology in organizing and conducting physical experiments.

### Research methodology

In the course of the study, the selection of scientific papers was selected according to predetermined criteria. The search was carried out using the keywords "physical education", "virtual reality", "3D model" and the publications of the last 5 years were taken into account. To increase the statistical significance of the results, we used meta-analysis – a method of combining the results of several scientific papers to formulate general conclusions. Each method is aimed at solving specific research questions and contributes to the conduct of research on a systematic and scientific basis. Depending on the goals and objectives of the study, methods of metaanalysis, survey, as well as mathematical and statistical analysis were used. The reliability and accuracy of the data obtained ensures the scientific validity of theoretical conclusions, the logical structure of the study and the results of testing in the experimental environment. In 2024, a study was conducted at the Khoja Ahmet Yassawi International Kazakh-Turkish University. The total number of participants was 80 students (Bachelor, Master, PhD). The participation of participants in a one-time survey made it possible to find out the benefits of using VR technology in the organization and conduct of physical experiments. 62 students in the specialty 6B01510-Physics, 16 students in the specialty 6b05348-Physics, 2 participants in the specialty 6B05310-physics made a choice according to their point of view. The questionnaire includes 14 main questions related to the topic and 2 additional questions related to the direction of study. The questionnaire is designed to identify the features of the use of VR technology in the educational process. Scientific assumptions were studied to determine the statistical significance of the survey results. The content of scientific forecasts is as follows:

H<sub>01</sub>: From the point of view of the survey participants, there is no advantage in using VR technology in teaching physics.

H<sub>02</sub>: Physical experiments conducted using VR technology significantly increase students' experience skills and interest in the subject compared to traditional methods.

In processing the data from the survey, we used the t test (one sample t test), which is the most effective test for determining whether there is a statistical difference in only one survey. we can determine its value using the Formula (1).

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad (1)$$

$\bar{X}$  - arithmetic mean value, (2) we define by the expression.

$$\hat{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2)$$

$\mu_0$  - the hypothetical average value. Based on the hypothesis, the accepted mean is the value.

$S$  – standard deviation.



Standard deviation is a statistical parameter that shows how much the values obtained in the result deviate from the average value. In determining the standard deviation (2), the mean value was determined according to the formula. Then determine the difference of each value from the average and calculate the square of each difference. Determine the sum of the found squares and divide it by the number of elements. Find the square root of the last result. The general conclusion of these operations is shown in Formula (3).

$$S^2 = \frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X})^2 \tag{3}$$

$n$  – sample size.

**Results of the study**

As a result of 10 articles taken as a basis, the meta-analysis data are shown in Table 1.

Table 1. Collected scientific sources by the method of meta-analysis.

<i>Study name</i>	<i>Std diff in means</i>	<i>Std Err</i>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<i>Shudayfat et.al (2021)</i>	1,608	0,149
<i>Hasan Güleriyüz (2023)</i>	1,967	1,536
<i>Chin-Cheng Chou (2016)</i>	0,783	2,66
<i>Hamad H. (2022)</i>	0,803	0,191
<i>Phoong et.al. (2020)</i>	3,302	3,476
<i>Elfakki et.al (2016)</i>	7,09	1,394
<i>Kumalasari et.al (2018)</i>	1,13	1,685
<i>Bhakti et.al (2023)</i>	1,509	0,181
<i>Widodo et.al (2022)</i>	0,221	0,332
<i>Asiksoy and Islek (2017)</i>	3,539	4,24

The results obtained in Comprehensive Meta-Analysis 4.0. we can get a conclusion by entering it into the program. The first conclusion was determined by the plot of the pit. The funnel drawing is a graphical tool for detecting deviations in meta - analysis. Conclusion of the drawing of the pit in US (Figure 1).

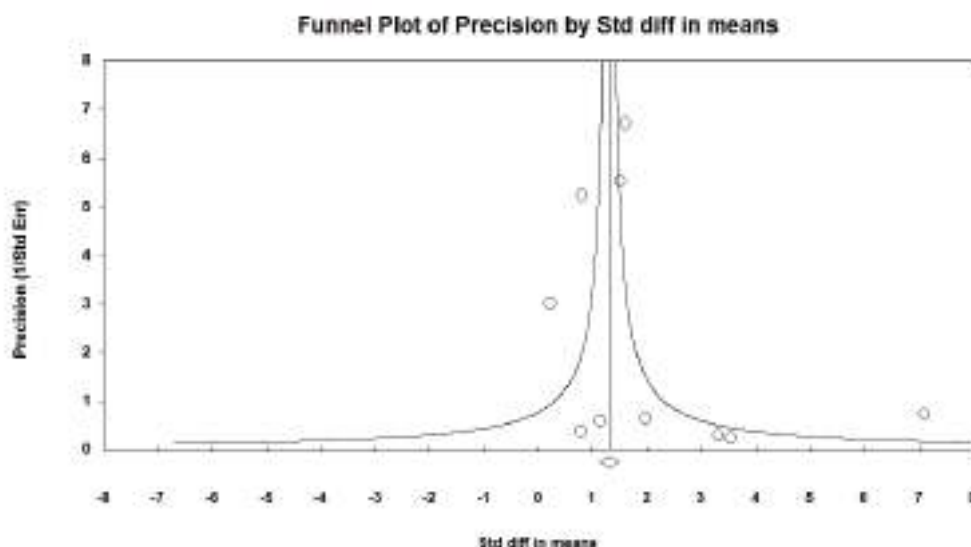


Figure 1. Pit drawing according to the analysis of the scientific literature

For the synthesis and interpretation of the results of scientific research, the Forest plot (forest plot) is the basis tool. The results of 10 articles taken as a basis were shown graphically (Figure 2).

Model	Study name	Statistics for each study						Std diff in means and 95% CI				
		Standard error	Variance	Lower limit	Upper limit	Z-Value	p-Value	-1,00	-0,50	0,00	0,50	1,00
	Shudayfat	0,149	0,022	1,316	1,900	10,792	0,000					
	Hasan	1,536	2,359	-1,044	4,978	1,281	0,200					
	Chin-Cheng	2,660	7,076	-4,431	5,997	0,294	0,768					
	Hamad H.	0,191	0,036	0,429	1,177	4,204	0,000					
	Phoong	3,476	12,083	-3,511	10,115	0,950	0,342					
	Elfakki et.al	1,394	1,943	4,358	9,822	5,086	0,000					
	Kumalasari	1,685	2,839	-2,173	4,433	0,671	0,502					
	Bhakti et.al	0,181	0,033	1,154	1,864	8,337	0,000					
	Widodo	0,332	0,110	-0,430	0,872	0,666	0,506					
	As?ksoy	4,240	17,978	-4,771	11,849	0,835	0,404					
Random		0,311	0,097	0,770	1,991	4,433	0,000					
Pred Int				-0,244	3,005							

Figure 2. Forest plot (forest plot) reflection of the results of scientific works in the form of a graph

Let us dwell on the main conclusion of the analysis. The analysis is based on ten studies. The average impact was considered with a confidence interval of 95% from 0.770 to 1.991. The Z-value evaluates the null hypothesis, which checks whether the average effect value is zero. With a Z-value of 4.433 and a significance level of 0.05, with a value of  $p < 0.001$ , we conclude that the magnitude of the average effect is significantly different from zero, which refutes the null hypothesis.

The results of such a meta-analysis show that the use of virtual materials in physical experiments has a positive effect [12-16]. In this way, we can continue our research with confidence. In connection with these studies and combining the results of scientific research on the research topic, meta-analysis has revealed the relevance of our topic. The analysis of 10 articles provides accurate information and useful recommendations regarding the use of VR technology in physical experiments and in the educational process. Most of the works studied were based on quantitative methods, in which researchers used questionnaires, experiments, tests and control work to collect data. The results of the analysis showed that the use of VR technology in the organization and conduct of physical experiments has advantages.

Thus, the use of VR technology in teaching physics offers many opportunities and advantages:

- Improve the visualization and understanding of educational material;
- Increase the intellectual interest of students;
- Increase the level of security and reduce costs;
- Convenience of conducting laboratory work.

In particular, the widespread use of VR technology in the educational process has a great impact on the quality of education and increasing students' interest in science. VR technology is a reality created using 3D images and computers. It is used either through large screens or through VR glasses mounted on the head. VR glasses (Figure 3) are distinguished by the fact that they give the impression of being in the real world. VR glasses can allow the user to interact in a realistic way in the virtual world and allow them to improve practical knowledge in different areas.

We have experimentally examined the possibilities of VR glasses in the interpretation of physical phenomena and laws in the course of training. The use of VR glasses provides students with new opportunities in the study of physics when explaining the working principles of various devices, such as ballistic pistols, barometers, Transformers, internal combustion engines and jet engines. The most effective way to explain the principle of operation of any physical equipment is to break it down into components. Using VR technologies, it is possible to create a 3D model of any device, which students can divide into parts and reconstruct, which significantly improves the understanding and assimilation of the material.



Figure 3. VR glasses in the Physics Laboratory

For example, you might consider using VR glasses with the IXR Labs program installed. This program shows the working order of the transformer, which helps to better understand the working principle of physical equipment (Figure 4).



Figure 4. Transformer composition. IXR Labs program.

Each theme consists of three parts called Separate Parts, X-ray View, Show Working. In the Separate Parts section, the unit is arranged divided into parts. Each of them is transmitted in Test and audio formats with information about the function of this particle when touched by a beam from the VR helmet controller. In the X-ray View section, the external body of the unit is transparent, the internal mechanisms and the ongoing phenomena, the principle of operation of the unit are clearly visible. VR technology has reached a high level due to fierce competition in the gaming industry. However, in the field of educational content, competition is much lower, which leads to many disadvantages. For example, in the program mentioned earlier, limited interactive interaction can be observed, although each student wants to have the opportunity to literally "catch" the objects they are studying. Therefore, the development of VR technologies aimed at education, especially in the preparation of future physics teachers, and providing students with the opportunity to independently interact with teaching aids, should be considered as one of the main tasks of modern physical education. Let's consider the results of the survey based on the research topic. The results of the t test for one questionnaire in order to determine the features of the use of VR technology in teaching physics are shown below. 80 students took part in the survey. The average value of their accepted result for each question was determined using the formula (M) (2).

$$M = \frac{8+10+10+10+8+20+13.3+13.3+13.3+10+8+8+9.6+13.3}{14} = 11.1$$

t is another quantity required to calculate the test standard deviation. We calculated the value of the standard deviation (S), as shown in the expression (3).

$$S^2 = \frac{1}{14-1} ((11.1 - 8)^2 + (11.1 - 10)^2 + (11.1 - 10)^2 + (11.1 - 10)^2 + (11.1 - 8)^2 + (11.1 - 20)^2 + (11.1 - 13.3)^2 + (11.1 - 13.3)^2 + (11.1 - 13.3)^2 + (11.1 - 10)^2 + (11.1 - 8)^2 + (11.1 - 8)^2 + (11.1 - 9.6)^2 + (11.1 - 8)^2 + (11.1 - 13.3)^2 = 11.1$$

$$S = \sqrt{11.1} = 3.33$$

We determine the value of the Test (t) by putting the calculated results in the Formula (1). (1) the hypothetical mean in the expression is equal to 20.

$$t = \frac{20 - 11.1}{\frac{3.33}{\sqrt{14}}} = 10.0002$$

The main parameter in determining the degree of freedom (df) p value. Its definition varies depending on the type of survey. Since we only have the results obtained for one survey, the determination of the degree of freedom (df) is determined by the expression below.

$$df = n - 1 = 14 - 1 = 13$$

After the parameter required to calculate the entire p value is determined, we calculate the p value using the SPSS program. In our case, the value of the p value (2) is shown in Table.

Table 2. Data result

Category	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>SEM</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
	14	11.1	3.33	0.89	13	10	0.0001

\**M* is the arithmetic mean; *SD* is the standard deviation; *SEM* is the standard error; *df* is the degree of freedom; the average difference is important at  $p \leq 0.05$ ;

From the point of view of students, the statistical significance of the survey result was:  $t(13)=10$ .  $p < 0.05$ , that is, it shows that there is enough evidence to reject the null hypothesis.

Based on the results obtained, the *H<sub>01</sub>* hypothesis was refuted. That is, the results of a survey of participants showed that the use of VR technology in organizing and conducting physics experiments has its advantages. In conclusion, it should be noted that the use of VR technology in teaching physics makes a great contribution to improving the quality of education and awakening their scientific interest.

## Discussion

The results of the current study open up prospects for a deeper application of VR technologies, especially in aspects of improving the efficiency of laboratory classes, strengthening interactive elements of the educational process and improving the quality of education in general. Comparison of these results with data from other scientific studies makes it possible to comprehensively assess both the advantages and existing limitations of VR technologies, which contributes to their integration into educational practice in a more grounded way. In experiments using VR technologies on the topics of force and mass of the mechanics course, it was shown how innovative technologies can be integrated into the physics teaching process [17]. Traditionally, teachers communicate physical knowledge to students through textbooks or oral explanations, which often leads to difficulties in fully understanding physical phenomena. The use of interactive technologies, including VR, allows you to overcome these difficulties and provides visual and understandable ways of learning the material [18]. Independent implementation of physical practices contributes to the better assimilation by students of the basic concepts of mechanics, where the active activity of the student plays an important role. In this sense, VR technologies significantly increase the effectiveness of the

educational process, allowing students to recreate and experience physical phenomena themselves [19]. It is also worth noting a scientific study in which VR was used to create virtual laboratories in quantum physics, which made it possible to conduct experiments with quantum gates as part of a full-time training program. The results showed that the use of VR allowed students to gain a deeper understanding of the concepts of quantum gates.

Thus, in our study, we can conclude that VR technologies significantly expand educational opportunities, which significantly affect the quality of teaching physics and open up new prospects for the educational process as a whole.

### Conclusion

Modern educational processes require the active introduction of new technologies. These technologies can significantly improve students' learning opportunities and increase the effectiveness and attractiveness of learning. The benefits that new technologies bring to the education system can contribute to the direct improvement of its quality. This scientific study suggests the use of VR technology in the creation of physical experiments. In particular, it was shown that VR technology has a significant impact on the quality of physics teaching and the ability of students to understand. The benefits of using VR technology, such as increasing motivation for learning, creating a safe and comfortable experience, are recognized as a new and effective method of using VR technology in physics. In the future, the widespread use of VR technology in the education system will make a great contribution to the awakening of scientific interest of students. This research has been/was/is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No.).

### Acknowledgement

This research has been/was/is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant AP22787500).

### References

- [1] Naz, Z., Azam, A., Khan, M. U. G., Saba, T., Al-Otaibi, S., & Rehman, A. (2024). Development and evaluation of immersive VR laboratories of organic chemistry and physics for students education. *Physica Scripta*, 99(5). <https://doi.org/10.1088/1402-4896/ad3024>
- [2] Al-Said, K., Amarin, N., & Krasnova, L. (2024). Comparative effectiveness of teaching physics in the classroom and through VR: Perspectives for expanding the possibilities of using VR technology in education. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12438-5>
- [3] Li, T. (2023). The Research on the Forms and Advantages of VR in Physics Teaching. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 57, 252–257. <https://doi.org/10.54097/hset.v57i.10010>
- [4] Zatarain-Cabada, R., Barrón-Estrada, M. L., Cárdenas-Sainz, B. A., & Chavez-Echeagaray, M. E. (2023). Experiences of web-based extended reality technologies for physics education. *Computer Applications in Engineering Education*, 31(1), 63–82. <https://doi.org/10.1002/cae.22571>
- [5] Smith, J. R., Snapp, B., Madar, S., Brown, J. R., Fowler, J., Andersen, M., ... Orban, C. (2023). A Smartphone-Based Virtual Reality Plotting System for STEM Education. *PRIMUS*, 33(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/10511970.2021.2006378>
- [6] Ginting, F. W., Sakdiah, H., Widya, & Unaida, R. (2023). Analysis of the Need for Development of Virtual Reality-Based Learning Media to Build Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK) Competencies for Prospective Physics Teachers. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(12), 12098–12103. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i12.6163>
- [7] Shudayfat, E. A., & Alsalhi, N. R. I. (2023). Science learning in 3D virtual environment multi-users online in basic education stage. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(1). <https://doi.org/10.29333/ejmste/12809>
- [8] Gülyerüz, H. (2023). Attitudes of Pre-Service Teachers on the Use of 3D Printing with Tinkercad in Science Education. *European Journal of Mathematics and Science Education*, 4(4), 217–228. <https://doi.org/10.12973/ejmse.4.4.217>

- [9] Chou, C. C. (2017). *An analysis of the 3D video and interactive response approach effects on the science remedial teaching for fourth grade underachieving students*. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(4), 1059–1073. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00658a>
- [10] Alsowat, H. H. (2022). *Hybrid Learning or Virtual Learning? Effects on Students' Essay Writing and Digital Literacy*. *Journal of Language Teaching and Research*, 13(4), 872–883. <https://doi.org/10.17507/jltr.1304.20>
- [11] Kumalasari, M., & Triyono, M. B. (2018). *Pengembangan virtual physics world sebagai media pembelajaran kesetimbangan benda tegar untuk meningkatkan keterampilan penerapan ilmu Fisika sehari-hari*. *Jurnal Inovasi Teknologi Pendidikan*, 5(2), 165–179. <https://doi.org/10.21831/jitp.v5i2.15757>
- [12] Phoong, S. Y., Phoong, S. W., & Phoong, K. H. (2020). *The effectiveness of frog virtual learning environment in teaching and learning mathematics*. *Universal Journal of Educational Research*, 8(3 B), 16–23. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.081502>
- [13] Bhakti, Y. B., Sumarni, R. A., Mayanty, S., & Astuti, I. A. D. (2023). *Developing Virtual Physics Practicum Module of Optic Based on Guided Inquiry to Improve Students' Science Process Skills*. *Journal of Science and Science Education*, 4(1), 39–49. <https://doi.org/10.29303/jossed.v4i1.2329>
- [14] Widodo, E., Setyawarno, D., & Rosana, D. (2022). *Developing Assessment As Learning on Basic Physics Virtual Practicum As An Assessment Instrument of Process And Cognitive Skills on Online-Learning*. *Journal of Science Education Research*, 6(1), 37–45. <https://doi.org/10.21831/jser.v6i1.48321>
- [15] Aşiksoy, G., & Islek, D. (2017). *The impact of the virtual laboratory on students' attitudes in a general physics laboratory*. *International Journal of Online Engineering*, 13(4), 20–28. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v13i04.6811>
- [16] Elfakki, A. O., Sghaier, S., & Alotaibi, A. A. (2023). *An Efficient System Based on Experimental Laboratory in 3D Virtual Environment for Students with Learning Disabilities*. *Electronics (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/electronics12040989>
- [17] Kaufmann, H., & Meyer, B. (2009). *Physics Education in Virtual Reality: An Example*. *Themes in Science and Technology Education*, 2, 117–130.
- [18] Kortemeyer, G. (2023). *Writing Virtual Reality Teaching Resources*. *The Physics Teacher*, 61(2), 107–109. <https://doi.org/10.1119/5.0067963>
- [19] Hakan Genç, H., Aydın, S., & Erdal, H. (2022). *Designing a virtual reality programming environment for quantum computers*. *Computer Applications in Engineering Education*, 30(3), 690–707. <https://doi.org/10.1002/cae.22481>



Т.Ф. Маратова<sup>1\*</sup> , Б.Г. Бостанов<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Казахский национальный женский педагогический университет, г. Алматы, Казахстан

\*e-mail: [maratova.tolganay1@gmail.com](mailto:maratova.tolganay1@gmail.com)

## ПУТИ РЕШЕНИЯ БАРЬЕРОВ ИНТЕГРАЦИИ STEM-ОБРАЗОВАНИЯ В ПОДГОТОВКУ УЧИТЕЛЕЙ ИНФОРМАТИКИ

### Аннотация

Это исследование основано на количественном методе, в котором приняли участие 129 учителей информатики (51 мужчина и 78 женщин) из 43 школ города Алматы. Цель данного исследования узнать о барьерах и пути их решения для внедрения, интегрированного STEM (science, technology, engineering and mathematics) образования в подготовку будущих учителей информатики. Результаты исследования могут быть использованы при разработке образовательных программ в высших учебных заведениях, что приведет к улучшению подготовки будущих учителей информатики. Несмотря на многочисленные исследования, посвященные преимуществам и стратегиям STEM-образования, барьеры и способы их преодоления при внедрении этой системы, особенно с точки зрения преподавателей, остаются недостаточно изученными. В процессе подготовки будущих учителей информатики существуют различные препятствия с ограниченным доступом к ресурсам, недостаточной подготовкой учителей, нехваткой времени и средств на переподготовку. Эти барьеры включают личные, институциональные и системные проблемы, которые могут препятствовать интеграции STEM в практику преподавания. В исследовании выявляются эти пробелы и подчеркивается необходимость устранения барьеров для повышения качества образования в области компьютерных наук и в подготовке будущих учителей информатики.

**Ключевые слова:** барьеры, проблемы, STEM образование, учителя информатики, интеграция, обучение.

Т.Ф. Маратова<sup>1</sup>, Б.Г. Бостанов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

## ИНФОРМАТИКА МҰҒАЛІМДЕРІН ДАЯРЛАУҒА STEM-БІЛІМ БЕРУДІ КІРІКТІРУДЕГІ КЕДЕРГІЛЕРДІ ШЕШУ ЖОЛДАРЫ

### Аңдатпа

Бұл зерттеу Алматы қаласындағы 43 мектептен 129 информатика мұғалімі (51 ер адам және 78 әйел) қатысқан сандық әдіске негізделген. Бұл зерттеудің мақсаты болашақ информатика мұғалімдерін даярлауға STEM (science, technology, engineering and mathematics) кіріктірілген білім беруді енгізудегі кедергілер мен оларды шешу жолдары туралы білу. Зерттеу нәтижелерін жоғары оқу орындарында білім беру бағдарламаларын әзірлеуде қолдануға болады, бұл болашақ информатика мұғалімдерінің дайындығын жетілдіруге әкеледі. STEM білім берудің артықшылықтары мен стратегиялары туралы зерттеулерге қарамастан, оны жүзеге асырудағы кедергілер мен оларды шешу жолдары, әсіресе оқытушылардың көзқарасы бойынша, онша түсінікті болмауы мүмкін. Болашақ информатика мұғалімдерін даярлау барысында ресурстардың шектеулі қолжетімділігі, мұғалімдердің жеткіліксіз дайындығы, қайта даярлау үшін уақыт пен қаражаттың жетіспеушілігі сияқты әртүрлі кедергілер кездеседі. Бұл кедергілер STEM-ді оқыту тәжірибесіне кіріктіруге кедергі келтіруі мүмкін жеке, институционалдық және жүйелік мәселелерді қамтиды. Зерттеу осы олқылықтарды анықтайды және информатика саласындағы білім беру сапасын жетілдіруге және болашақ информатика мұғалімдерін даярлауға кедергілерді жою қажеттілігін көрсетеді.

**Түйін сөздер:** кедергілер, проблемалар, STEM білім беру, информатика мұғалімдері, кіріктіру, оқыту.



T.F. Maratova<sup>1</sup>, B.G. Bostanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kazakh national women's teacher training university, Almaty, Kazakhstan

## WAYS TO SOLVE BARRIERS TO INTEGRATING STEM EDUCATION INTO INFORMATICS TEACHER TRAINING

### *Abstract*

This study is based on a quantitative method, which involved 129 informatics teachers (51 men and 78 women) from 43 schools in Almaty. The purpose of this study is to learn about barriers and ways to solve them for the implementation of integrated STEM (science, technology, engineering and mathematics) education in the training of future informatics teachers. The obtained research data will help to develop improved and modernized educational programs at universities, thanks to which it is possible to improve the training of future informatics. Despite research on the benefits and strategies of STEM education, barriers and solutions to its implementation, especially from the point of view of teachers, may be less clear. In the process of training future informatics teachers, there are various obstacles with limited access to resources, insufficient teacher training, lack of time and funds for retraining. These barriers include personal, institutional, and systemic issues that may hinder the integration of STEM into teaching practice. The study identifies these gaps and highlights the need to eliminate barriers to improving the quality of education in informatics and in the training of future computer science teachers.

**Keywords:** barriers, problems, STEM education, informatics teachers, integration, training.

### **Основные положения**

В эпоху стремительного технологического прогресса и растущей зависимости от цифровой инфраструктуры потребность в квалифицированных специалистах по информатике как никогда остра. Интеграция STEM-образования в подготовку будущих специалистов в области информатики часто рассматривается как решение, позволяющее сократить разрыв в навыках и стимулировать инновации. Однако, несмотря на свой потенциал, внедрение STEM-образования в этой области сталкивается со значительными препятствиями. Эти препятствия, начиная от институциональной инерции и ограниченности ресурсов и заканчивая педагогическими проблемами и общественным восприятием, препятствуют плавному внедрению целостного подхода STEM [1].

### **Введение**

На сегодняшний день старые структуры образовательных программ, которые утверждались годами, являются преградой и проблемой для внесения каких-либо изменений и модернизации образовательных программ. Эта проблема имеет социальное значение, поскольку она связана с качеством образования в области информатики и подготовкой рабочей силы, обладающей необходимыми навыками для процветания в высокотехнологичных отраслях. Интеграция STEM-образования может способствовать получению студентами более целостного и актуального опыта обучения, в подготовке их к будущей карьере и удовлетворению требований быстро меняющегося мира [2]. В Казахстане разработаны и реализуются несколько стратегий и стандартов, направленных на развитие STEM-образования, что подтверждает государственную приверженность к этому направлению. Одним из ключевых документов является концепция STEM-образования в Республике Казахстан на 2021-2030 гг., которая определяет стратегические цели и приоритеты в этой области. Основные цели концепции включают развитие интереса к STEM-дисциплинам, улучшение качества STEM-образования и поддержку преподавателей STEM-предметов. Другим важным документом является Государственная программа развития образования на 2021-2025 гг., которая охватывает широкий спектр задач, включая модернизацию образовательной инфраструктуры, разработку новых образовательных программ и увеличение финансирования образовательных учреждений. Предложение по решению этой проблемы предполагает проведение исследования для выявления и понимания конкретных барьеров, препятствующих интеграции STEM образования в подготовку будущих учителей

информатики. Цель исследования – выявить ключевые барьеры препятствующие эффективной интеграции STEM-образования в подготовку будущих учителей информатики и проанализировать пути их решения. Кроме того, исследование может способствовать информированию о разработке различного вида мероприятий, учебных пособий, учебников и т.д. для устранения выявленных барьеров и усиления интеграции STEM образования в подготовку будущих учителей информатики.

Интеграция STEM-образования в образовательную программу по информатике рассматривается как важнейшая стратегия развития таких необходимых навыков, как умение решать проблемы, критическое мышление и междисциплинарные знания. Литературный анализ показывает, что STEM образование повышает способность студентов применять теоретические концепции к решению реальных задач, что является ключевой компетенцией будущих специалистов в области информатики. Более того, интеграция дисциплин STEM может привести к созданию более инновационного и всестороннего образовательного опыта [3]. Несмотря на признанные преимущества, интеграции STEM-образования в подготовку будущих специалистов по информатике препятствует ряд барьеров. Эти барьеры можно разделить на институциональные, педагогические, связанные с ресурсами и социальные проблемы (Рисунок 1).



Рисунок 1. Виды STEM барьеров

Педагогические барьеры – к педагогическим проблемам относится нехватка квалифицированных преподавателей, способных эффективно преподавать предметы STEM. В различных исследованиях подчеркивается необходимость в программах профессионального развития и переподготовки, чтобы обеспечить учителей необходимыми навыками и знаниями. Институциональные барьеры - образовательные учреждения часто имеют устоявшиеся учебные планы и методики преподавания, которые трудно изменить. Кроме того, отсутствие административной поддержки и негибкие политические рамки еще больше усложняют интеграцию подходов STEM [4]. Ресурсный барьер – нехватка ресурсов создает еще одну серьезную проблему. Школам и университетам часто не хватает финансовых ресурсов для инвестирования в передовые технологии и инфраструктуру, необходимые для эффективного STEM-образования. Социальные барьеры – общественное восприятие и культурные установки в отношении областей STEM также могут препятствовать их интеграции. Кроме того, родители и общество в целом часто не осознают ценности STEM-образования [5].

### Методология исследования

В данном исследовании применяется количественный метод для анализа препятствий, связанных с внедрением STEM-образования в подготовку будущих информатиков. Целью исследования является выявление барьеров и трудностей, с которыми сталкиваются школьные учителя информатики. Инструментом исследования был опрос, который проводился среди 129 учителей информатики в городе Алматы по Google Forms. Участниками стали педагоги из школ, с которыми у Казахского национального женского педагогического университета

заключены контракты на прохождение педагогической практики студентами [6]. Полученные данные могут стать основой для создания образовательных программ, а также для повышения квалификации учителей. Конфиденциальность респондентов были соблюдены и участникам было сообщено, что их участие является добровольным и анонимным.

### Результаты исследования

Полученные результаты выявили такие барьеры, как ограниченный доступ к ресурсам, проблемы с подготовкой учителей, ограничения образовательных программ и барьеры, связанные с сотрудничеством и междисциплинарными подходами (Рисунок 2).

Барьеры для участия в интегрированном обучении STEM

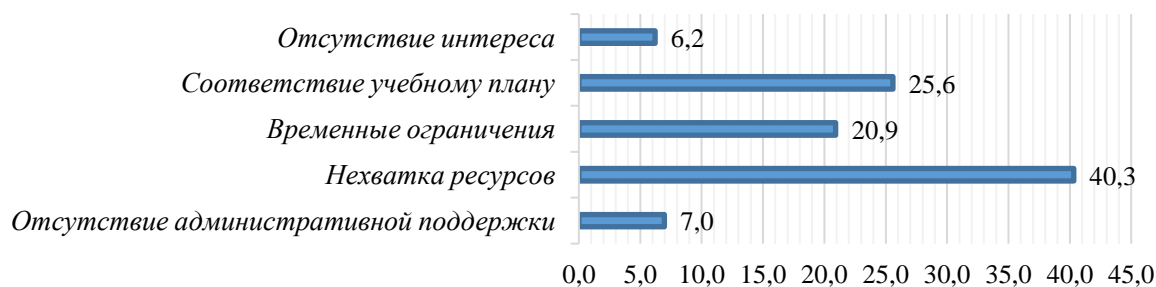


Рисунок 2. Барьеры для интегрирования STEM

По результатам анкетирования выявленные барьеры указывают создают проблему, возникшую до и во время внедрения STEM-образования для среднего образования. При этом наибольший процент составляет нехватка ресурсов 40,3% и соответствие учебному плану 25,6% это говорит о том, что учителям нужны изменения и модернизация учебных планов и ресурсов. Но также, важно отметить и временные ограничения 20,9% которые являются немаловажным фактором. Самыми минимальными являются отсутствие административной поддержки 7,0% и отсутствие интереса 6,2%. То есть распространенность таких барьеров, как нехватка ресурсов, соответствие учебным планам и временные ограничения, подчеркивает необходимость целенаправленных вмешательств для оказания поддержки учителям в преодолении этих препятствий. Последствия этих барьеров обсуждаются с точки зрения необходимости целенаправленного профессионального развития, пересмотра образовательных программ и расширения сотрудничества между учителями информатики.

А также, необходимо создать пути решения барьеров, которые позволяют наилучшим образом внедрить интегрированное обучение. Основываясь на это, мы решили спросить о предпочитаемых ресурсах для интегрированного обучения для будущих информатиков (Рисунок 3).

Предпочтительные ресурсы для интеграции STEM

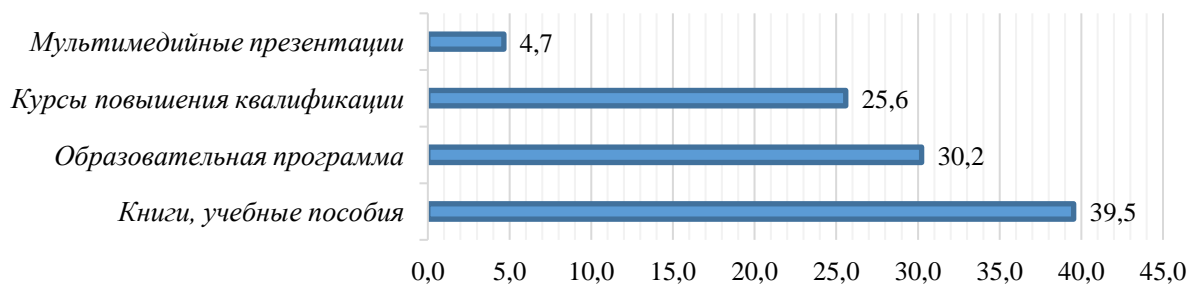


Рисунок 3. Предпочтительные ресурсы для интегрирования STEM

По результатам анкетирования, наиболее высокий процент набрали книги и учебные пособия 39,5% и изменение образовательной программы 30,2%. Курсы повышения

квалификаций, в то время как мультимедийные презентации набрали всего лишь 7%. А также, результате анкетирования выяснилось, что учителя информатики в школах испытывают потребность и выражают желание пройти переподготовку и переквалификацию. Это свидетельствует о высоком уровне заинтересованности преподавателей в повышении своей квалификации и освоении новых методов обучения.

Результаты исследования выявили несколько ключевых препятствий на пути внедрения STEM-образования в подготовку будущих специалистов по информатике:

- Ограниченный доступ к ресурсам: многие преподаватели информатики заявили о трудностях с доступом к достаточным ресурсам и материалам для включения практических занятий по STEM в их образовательные программы. Это включало в себя нехватку финансирования для приобретения оборудования, ограниченную доступность соответствующих учебных материалов и недостаточный доступ к STEM-лабораториям или помещениям.

- Недостаточная подготовленность учителей: исследование выявило, что некоторые учителя информатики считают себя недостаточно подготовленными к внедрению STEM-образования в свою практику преподавания. Им может не хватать необходимых знаний, навыков и педагогических стратегий для эффективной интеграции концепций STEM в процесс преподавания.

- Ограничения образовательной программы: исследование показало, что существующие ограничения образовательной программы и стандартизированные оценки в образовании по информатике часто ставят во главу угла теоретические аспекты, оставляя ограниченное пространство для интеграции концепций и практик STEM. Учителя информатики сообщали, что им приходилось преодолевать образовательную программу в ограниченные сроки, что мешало им эффективно использовать практические занятия по STEM.

- Ограниченное сотрудничество и междисциплинарные подходы: результаты исследования указывают на отсутствие сотрудничества и междисциплинарных подходов в программах подготовки учителей информатики. Многие участники отметили трудности в координации с преподавателями других предметных областей и поиске возможностей для межпредметной интеграции [7].

- Нехватка времени и перегруженность образовательной программой: Учителя часто сталкиваются с нехваткой времени из-за плотной образовательной программы. Интеграция STEM-образования может восприниматься как дополнительная нагрузка, поскольку требует специального времени для планирования, совместной работы и реализации. Учителям может быть сложно найти баланс между охватом основного предметного содержания и внедрением концепций STEM.

- Давление на оценку и подотчетность: стандартизированное тестирование и меры подотчетности могут поставить во главу угла знание содержания, а не процессно-ориентированный характер STEM-образования. Учителя могут испытывать давление, заставляя их сосредоточиться на подготовке к тестированию и освещении содержания, а не на предоставлении возможностей для открытого изучения и решения проблем.

- Кажущаяся неактуальность: некоторые учителя информатики могут воспринимать STEM-образование как не имеющее отношения к их предмету или не видеть непосредственных преимуществ интеграции концепций STEM. Им может быть сложно установить связь между STEM и информатикой, что приводит к сопротивлению или безразличию к внедрению STEM-образования.

- Пробелы в профессиональном развитии: у учителей информатики могут отсутствовать адекватные возможности для профессионального развития, ориентированные на STEM-образование. Без постоянного обучения и поддержки учителям может быть сложно обновлять свои методы обучения и внедрять инновационные стратегии преподавания STEM.

- Партнерские отношения с руководством: взаимодействие с местными отраслями промышленности, предприятиями и общественными организациями является важным

аспектом STEM-образования. Однако установление и поддержание значимых партнерских отношений может быть сложной задачей для школ и учителей, ограничивая возможности для подлинных связей и получения опыта в реальном мире [8].

Устраняя эти барьеры и внедряя рекомендации, вытекающие из результатов исследований, программы подготовки учителей информатики могут лучше снабдить будущих учителей информатики знаниями, навыками и ресурсами, необходимыми для эффективной интеграции STEM-образования в их практику преподавания. Это, в свою очередь, может повысить качество образования в области информатики и лучше подготовить студентов к будущей карьере в областях, основанных на технологиях.

### **Дискуссия**

Решение перечисленных барьеров требует многогранного подхода. Хотя STEM-образование имеет значительные перспективы для подготовки будущих специалистов в области информатики, необходимо устранить многочисленные препятствия, чтобы полностью реализовать его потенциал. Понимая эти проблемы и изучая жизнеспособные решения, заинтересованные стороны могут работать над созданием более интегрированной и эффективной образовательной системы, которая подготовит студентов к требованиям современного мира. Педагогический барьер является одним из основных препятствий, выявленных в ходе исследования. Для того чтобы решить предлагаются следующие действия:

- Разработка распространение учебных материалов и ресурсов;
- Поддержка и стимулирование учителей;
- Интеграция STEM-образования в образовательные программы;
- Поддержка со стороны государства и образовательных учреждений.

Для преодоления институциональных барьеров, связанных с устоявшимися учебными планами и методиками преподавания в образовательных учреждениях, а также с отсутствием административной поддержки и негибкими политическими рамками, можно использовать следующие стратегии и решения:

- Усиление административной поддержки и создания поддержки на уровне руководства;
- Поддержка инноваций и пилотных проектов;
- Разработка и внедрение новых стандартов и нормативов;
- Организация обучающих мероприятий и конференций.

Ресурсный барьер в STEM-образовании –это проблема нехватки финансовых ресурсов для инвестиций в технологии и инфраструктуру, необходимую для эффективного преподавания предметов STEM. Для преодоления этого барьера можно использовать разнообразные стратегии, которые помогут обеспечить школы и университеты необходимыми ресурсами. Например, 17 марта 2018 г. в Казахском национальном педагогическом университете имени Абая был создан «Педагогический STEM-парк», который стал важным шагом на пути к модернизации STEM-образования в Казахстане.

Еще одним существенным препятствием, отмеченным участниками, являются социальные барьеры. Решение социальных барьеров в STEM-образовании включают общественное восприятие и культурные установки, которые могут препятствовать интеграции STEM-дисциплин в образовательный процесс. Важно решить эти проблемы, чтобы создать позитивное отношение к STEM-образованию и повысить осведомленность о его значении.

В результатах этого исследования имеются несколько важных препятствий для программ подготовки будущих информатиков. Во-первых, необходимо внедрять целевые инициативы по повышению квалификации, чтобы удовлетворить конкретные потребности учителей информатики в области интеграции STEM-образования. Эти программы должны быть направлены на повышение педагогических навыков, знаний о содержании и технологической грамотности. Во-вторых, необходимо пересмотреть структуру образовательных программ, чтобы обеспечить большую гибкость и включить междисциплинарные подходы, позволяющие беспрепятственно интегрировать принципы STEM в образование по

информатике. Кроме того, необходимы информационно-пропагандистские усилия для обеспечения адекватного финансирования и ресурсов для поддержки внедрения STEM образования в процессе обучения информатике [9]. Устраняя такие барьеры как совершенствуя педагогические подходы, институциональную инерцию, уменьшая ограниченность ресурсов, изменяя общественное восприятие, продвигая инклюзивные практики и пропагандируя поддерживающую политику, мы можем создать более эффективную и справедливую систему STEM-образования. Это, в свою очередь, даст будущим специалистам по информатике навыки и знания, необходимые для процветания во все более сложном и технологически ориентированном мире.

Важно отметить, что эти выводы и следствия являются специфическими для контекста нашего исследования. Необходимы дальнейшие исследования этих барьеров и пути их решения, чтобы получить более полное представление о проблемах и потенциальных решениях, взаимодействующие с интегрированием STEM в подготовку будущих информатиков [10].

### Заключение

В этом исследовании анализируются ключевые препятствия на пути внедрения STEM-образования в процесс подготовки будущих учителей информатики. Исследование выявило несколько ключевых препятствий, таких как ограниченный доступ к ресурсам, проблемы с подготовкой учителей и недостаточное сотрудничество между различными дисциплинами.

Исследование подчеркивает необходимость целенаправленных инициатив по повышению квалификации учителей информатики, пересмотра структуры образовательных программ и обеспечения адекватного финансирования и ресурсов для поддержки внедрения STEM образования. Укрепление междисциплинарного сотрудничества также является ключевым аспектом для обмена опытом и передовой практикой. Для более полного понимания проблем и разработки эффективных стратегий интеграции STEM-образования в подготовку учителей информатики необходимо проведение дополнительных исследований. Это позволит разработать и внедрить решения, которые помогут преодолеть выявленные барьеры.

Таким образом, выявленные барьеры и способы их решения помогут способствовать более эффективной подготовке будущих информатиков. А также, помогут в улучшении качества образования, что в конечном итоге приведет к лучшей подготовке студентов к будущей карьере в высокотехнологичных отраслях.

### Список использованных источников

- [1] Hasanah U., Tsutaoka T. An outline of worldwide barriers in science, technology, engineering and mathematics (STEM) education // *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*. – 2019. – Т. 8. – №. 2. – С. 193-200. <https://doi.org/10.15294/jpii.v8i2.18350>
- [2] Heron P. J., Williams J. A. Building confidence in STEM students through breaking (unseen) barriers // *Geoscience Communication*. – 2022. – Т. 5. – №. 4. – С. 355-361. <https://doi.org/10.5194/gc-5-355-2022>
- [3] Maratova T. et al. About the Need to Attract Girls to Education Using the Stem Methodology in the Informatics Educational Program // *2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*. – IEEE, 2023. – С. 343-346. <https://doi.org/10.1109/SIST58284.2023.10223496>
- [4] Pappa C. I., Georgiou D., Pittich D. Technology education in primary schools: addressing teachers' perceptions, perceived barriers, and needs // *International Journal of Technology and Design Education*. – 2024. – Т. 34. – №. 2. – С. 485-503. <https://doi.org/10.1007/s10798-023-09828-8>
- [5] Abramowitz B. et al. Scientist-School STEM Partnerships Through Outreach in the USA: A Systematic Review // *International Journal of Science and Mathematics Education*. – 2024. – С. 1-23. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10445-7>
- [6] Maratova T. et al. The need for modern teachers to integrate informatics with STEM education // *World Transactions on Engineering and Technology Education*. – 2024. Т. 22. – №. 1. – С. 38-43. URL: [http://www.wiete.com.au/journals/WTE&TE/Pages/Vol.%202022,%20No.1%20\(2023\)/06-Maratova-T.pdf](http://www.wiete.com.au/journals/WTE&TE/Pages/Vol.%202022,%20No.1%20(2023)/06-Maratova-T.pdf)



- [7] Kayan-Fadlelmula F. et al. A systematic review of STEM education research in the GCC countries: Trends, gaps and barriers //International Journal of STEM Education. – 2022. – Т. 9. – С. 1-24. Education and Technology.–2021. –С. 456-460. <https://doi.org/10.1109/ICET.2021.001122>.
- [8] Ejiwale J. A. Barriers to successful implementation of STEM education //Journal of Education and Learning (EduLearn). – 2013. – Т. 7. – №. 2. – С. 63-74. <https://doi.org/10.11591/edulearn.v7i2.220>
- [9] Tuparova D., Veleva V., Tuparov G. About some barriers in usage of educational computer games by teachers in STEM //2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). IEEE, 2019. C. 727-730. <https://doi.org/10.23919/MIPRO.2019.8756999>
- [10] Fang S. C., Fan S. C. Exploring teachers' conceptions and implementations of STEM integration at the junior secondary level in Taiwan: An interview study //International Journal of Science and Mathematics Education. – 2023. – Т. 21. – №. 7. – С. 2095-2121. . <https://doi.org/10.1007/s10763-022-10335-w>

#### References

- [1] Hasanah, U., & Tsutaoka, T. (2019). An outline of worldwide barriers in science, technology, engineering and mathematics (STEM) education. Jurnal Pendidikan IPA Indonesia, 8(2), 193-200. <https://doi.org/10.15294/jpii.v8i2.18350>
- [2] Heron, P. J., & Williams, J. A. (2022). Building confidence in STEM students through breaking (unseen) barriers. Geoscience Communication, 5(4), 355-361. <https://doi.org/10.5194/gc-5-355-2022>
- [3] Maratova, T., Bostanov, B., Kultan, J., Ongarbayeva, A., Syranchieva, Z., & Nauryzbayev, D. (2023, May). About the Need to Attract Girls to Education Using the Stem Methodology in the Informatics Educational Program. In 2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST) (pp. 343-346). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SIST58284.2023.10223496>
- [4] Pappa, C. I., Georgiou, D., & Pittich, D. (2024). Technology education in primary schools: addressing teachers' perceptions, perceived barriers, and needs. International Journal of Technology and Design Education, 34(2), 485-503. <https://doi.org/10.1007/s10798-023-09828-8>
- [5] Abramowitz, B., Ennes, M., Kester, B., & Antonenko, P. (2024). Scientist-School STEM Partnerships Through Outreach in the USA: A Systematic Review. International Journal of Science and Mathematics Education, 1-23. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10445-7>
- [6] Maratova T. et al. The need for modern teachers to integrate informatics with STEM education // World Transactions on Engineering and Technology Education. – 2024. Т. 22. – №. 1. – С. 38-43. URL: [[http://www.wiete.com.au/journals/WTE&TE/Pages/Vol.%2022,%20No.1%20\(2023\)/06-Maratova-T.pdf](http://www.wiete.com.au/journals/WTE&TE/Pages/Vol.%2022,%20No.1%20(2023)/06-Maratova-T.pdf)]
- [7] Kayan-Fadlelmula, F., Sellami, A., Abdelkader, N., & Umer, S. (2022). A systematic review of STEM education research in the GCC countries: Trends, gaps and barriers. International Journal of STEM Education, 9, 1-24. <https://doi.org/10.1109/ICET.2021.001122>.
- [8] Ejiwale, J. A. (2013). Barriers to successful implementation of STEM education. Journal of Education and Learning (EduLearn), 7(2), 63-74. <https://doi.org/10.11591/edulearn.v7i2.220>
- [9] Tuparova, D., Veleva, V., & Tuparov, G. (2019, May). About some barriers in usage of educational computer games by teachers in STEM. In 2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO) (pp. 727-730). IEEE. <https://doi.org/10.23919/MIPRO.2019.8756999>
- [10] Fang, S. C., & Fan, S. C. (2023). Exploring teachers' conceptions and implementations of STEM integration at the junior secondary level in Taiwan: An interview study. International Journal of Science and Mathematics Education, 21(7), 2095-2121. <https://doi.org/10.1007/s10763-022-10335-w>



M.A. Skiba<sup>1,2\*</sup> , A.R. Turganbaeva<sup>3</sup> , N. Skaburskiene<sup>1,4</sup> , D. Pavalkis<sup>1,5</sup> 

<sup>1</sup>Almaty Management University, Almaty, Kazakhstan,

<sup>2</sup>National Center for Higher Education Development, Astana, Kazakhstan,

<sup>3</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

<sup>4</sup>Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Republic of Lithuania,

<sup>5</sup>Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Republic of Lithuania

\*e-mail: [marina.a.skiba7@gmail.com](mailto:marina.a.skiba7@gmail.com)

## TO THE QUESTION OF DIGITALIZATION OF UNIVERSITIES IN THE CONTEXT OF STRIVING FOR ACADEMIC EXCELLENCE

### Abstract

The article examines the possibilities of integrating digital technologies into university activities across its four missions: teaching, research, employer engagement, and community interaction. These missions are considered indirect parameters of academic excellence, which can be used to assess the effectiveness of university education. The article also analyzes processes supporting university activities, particularly management processes. An attempt is made to develop scientific, methodological, and conceptual foundations for implementing the academic excellence initiative in higher education. The article provides detailed descriptions of digital platforms and tools corresponding to each of the university's missions aimed at achieving academic excellence. In conclusion, it is noted that digital transformation significantly impacts the achievement of academic excellence through several key aspects: access to resources, personalized learning, interactive teaching methods and virtual reality, flexibility and accessibility, collaboration and networking, analytics and evaluation, innovative research, and future skills development. Thus, digital transformation in universities creates conditions for a higher level of academic excellence by ensuring quality education that meets modern requirements and challenges.

**Keywords:** academic excellence, digitalization of universities, digital transformation of universities, digital university.

M.A. Скиба<sup>1,2</sup>, А.Р. Тұрғанбаева<sup>3</sup>, Н. Скабурскиене<sup>1,4</sup>, Д. Павалькис<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup>Алматы Менеджмент Университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Жоғары білімді дамытудың ұлттық орталығы, Астана қ., Қазақстан

<sup>3</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>4</sup>Вильнюс Гедиминас техникалық университеті, Вильнюс қ., Литва Республикасы

<sup>5</sup>Литва денсаулық ғылымдары университеті, Каунас қ., Литва Республикасы

### АКАДЕМИЯЛЫҚ БАСЫМДЫЛЫҚҚА ҚҰМЫТТАНУ ЖАҒДАЙЫНДА УНИВЕРСИТЕТТЕРДІ ЦИФРАНДЫРУ МӘСЕЛЕСІ ТУРАЛЫ

### Аңдатпа

Мақалада авторлар университет қызметіне цифрлық технологияларды енгізу мүмкіндіктерін оның төрт миссиясы: оқыту, зерттеу, жұмыс берушілермен өзара әрекеттесу, қоғаммен өзара әрекеттесу – арқылы академиялық басымдылықтың көп өлшемді моделінің табиғи қырлары болып табылатын контекстінде қарастырады. Білім сапасының жанама параметрлері болып табылатын танылған рейтингтердің критерийлеріне талдау жүргізілді. Мақалада сонымен қатар университет қызметін, оның ішінде басқару процесін қамтамасыз ететін бизнес-процестер мен процестерді цифрландыру мүмкіндіктері талданады. Жоғары білім саласындағы академиялық басымдылық бастамасын жүзеге асыру үшін ғылыми, әдістемелік және тұжырымдамалық негізді әзірлеуге талпыныс жасалды. Академиялық басымдылыққа қол жеткізу үшін қолданылатын цифрлық технологиялар, платформалар мен құралдар университет миссиялары контекстінде егжей-тегжейлі сипатталған. Ол университеттердің цифрлық трансформациясы келесі негізгі аспектілер арқылы академиялық басымдылыққа жетуге айтарлықтай әсер етеді деген қорытындыға келеді: ресурстарға қолжетімділік,

дербестендірілген оқыту, интерактивті оқыту әдістері мен виртуалды шындық, икемділік пен қолжетімділік, ынтымақтастық және желілік байланыс, аналитика және бағалау, инновациялық зерттеулер, болашақ дағдыларын дамыту. Осылайша, университеттердің цифрлық трансформациясы ағымдағы және болашақ талаптар мен міндеттерге жауап беретін академиялық басымдылықты қамтамасыз ету үшін жағдай жасайды.

**Түйін сөздер:** академиялық шеберлік, университеттерді цифрландыру, университеттердің цифрлық трансформациясы, цифрлық университет.

М.А. Скиба<sup>1,2</sup>, А.Р. Турганбаева<sup>3</sup>, Н. Скабурскиене<sup>1,4</sup>, Д. Павалькис<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup> Алматы Менеджмент Университет, г. Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup> Национальный центр развития высшего образования, г. Астана, Қазақстан,

<sup>3</sup> Қазақский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Қазақстан,

<sup>4</sup> Вильнюсский технический университет имени Гедиминаса, г. Вильнюс, Литовская Республика,

<sup>5</sup> Литовский университет наук здоровья, г. Каунас, Литовская Республика

## **К ВОПРОСУ О ЦИФРОВИЗАЦИИ УНИВЕРСИТЕТОВ В КОНТЕКСТЕ СТРЕМЛЕНИЯ К АКАДЕМИЧЕСКОМУ ПРЕВОСХОДСТВУ**

### *Аннотация*

В статье авторами рассматриваются возможности интеграции цифровых технологий в деятельность университета в разрезе его четырех миссий: обучение, исследование, взаимодействие с работодателями, взаимодействие с обществом, которые по своей сути являются гранями многомерной модели академического превосходства. Проведен анализ критериев, признанных рейтингов, являющихся косвенными параметрами качества образования. Также в статье анализируются возможности цифровизации бизнес-процессов и процессов, поддерживающих деятельность университета, в том числе процесса управления. Предпринята попытка разработки научно-методологических и концептуальных основ реализации инициативы академического превосходства в сфере высшего образования. Подробно описаны в разрезе миссий вузов цифровые технологии, платформы инструменты, используемые для достижения академического превосходства. В заключении сделан вывод о том, что цифровая трансформация университетов существенно влияет на достижение академического превосходства через следующие ключевые аспекты: доступ к ресурсам, персонализированное обучение, интерактивные методы обучения и виртуальная реальность, гибкость и доступность, сотрудничество и сетевое взаимодействие, аналитика и оценка, инновационные исследования, развитие навыков будущего. Таким образом, цифровая трансформация университетов создает условия для обеспечения академического превосходства, отвечающего современным и будущим требованиям и вызовам.

**Ключевые слова:** академическое превосходство, цифровизация университетов, цифровая трансформация университетов, цифровой университет.

### **Main provisions**

Digital technologies have had a significant impact on the specifics of the learning process at universities, creating new opportunities and changing the roles of students and teachers. Academic excellence involves continuous improvement in the process of preparing competitive graduates that meets the changing requirements of the labor market and the post-industrial economy.

The rankings contain direct and Digital transformation of universities significantly affects the achievement of academic excellence through several key aspects: access to resources, personalized learning, interactive teaching methods and virtual reality, flexibility and accessibility, collaboration and networking, analytics and assessment, innovative research, development of skills of the future. indirect indicators of the quality of education and academic excellence in the context of university missions.

The integration of digital technologies into the activities of the university occurs in the context of its four missions: teaching, research, interaction with employers, interaction with society, as well as in the context of the processes supporting the activities of the university, particularly the management process. The digitalization of education increases competition between universities, moving it from

the local to the global level, in connection with ensuring the sustainability of universities and creating ecosystems in which universities play leading roles is of particular importance.

### **Introduction**

Academic excellence is a complex concept that involves training professionals at universities who succeed in the job market and support the country's competitiveness. Initiatives aimed at achieving academic excellence focus on advancing universities, continuously improving education, and increasing graduates' competitiveness. Digital technologies have led to the emergence of concepts like Economy 4.0 and the post-industrial economy, marking another information revolution that has reshaped professions and occupations. However, the digitalization of real, product-producing sectors of the economy has significantly outpaced the digital transformation of education [1]. The speed and volume of information processing have changed. The internet, social media, big data, and artificial intelligence have brought people closer together, creating a unified space where everyone is informed, aware of global processes, and can access information about anyone. Marshall McLuhan's 1962 metaphor of a "global village" has become a reality. The application of the quintuple helix model in universities supports their sustainability by digitizing all processes, integrating various development perspectives for the benefit of society [2]. The transformation of society is also changing university processes, including digitalization and analysis [3]. Researchers suggest that such measures are common in most neoliberal university policies within the context of academic excellence programs. Digitalization has become a critical factor in decision-making for effectively implementing quality standards, as it allows the use of numerous standardized forms and templates to automatically recognize and analyze data needed for management decisions. The trend towards enhancing university efficiency and reducing costs involves ensuring sustainability through continuous big data analysis during decision-making [4]. Digital transformation is leading to the emergence of the digital university model – a smart university where all processes are digitized at a systemic level, prioritizing AI technologies [5].

Universities in the new digital reality must systematically address challenges such as globalization, attracting new students, entering new markets, marketing promotion, massification, digitalization, creating digital twins, and promoting sustainable development goals [6]. Consequently, universities are evolving towards a new model called the digital university, which involves not only integrating new technologies but also strategically transforming systems, processes, and people [7-8]. Digital universities will dominate the education market and become leaders, provided they transform into partnership ecosystems that facilitate the acquisition, exchange, and generation of digital skills and technologies necessary for developing and managing the digital world [9]. Academic excellence becomes unattainable without the systematic digitalization of universities.

The standardization of university processes, harmonization of education levels based on the Dublin Descriptors, Qualification Frameworks, and Professional Standards, as well as internationalization, academic mobility, accreditation, and distance learning, have laid the foundation for viewing the university as a fractal and allowed the duplication of processes, approaches, teaching materials, and instructors. As a result, universities are gradually transforming into a global, distributed campus. Universities, through digital technologies, provide people with opportunities for education in a virtual environment, ensuring educational quality while changing the roles of teachers and students. The accessibility of education and digital educational resources has exponentially increased [10-11].

Thus, there is a need to identify the impact of digitalization of universities in the context of the pursuit of academic excellence through the development of scientific and methodological foundations and concepts. At this stage, there is very little research on this issue.

### **Research Methodology**

The research employed a multifaceted methodological framework, incorporating systems analysis, narrative review, and reflective practices derived from administrative activities within the university context. The conceptualization of the "digital university" remains nascent, necessitating an evolving

methodological approach that integrates both theoretical models and practical applications. The study utilized a combination of qualitative and quantitative data sources to assess the impact of digital technologies on university processes, with a specific focus on academic excellence and its associated indicators.

## **Results of the study**

### *Digital Transformation in Higher Education*

The transformation of higher education institutions into digital ecosystems is vital to maintaining academic excellence in the 21st century. Digitalization affects various facets of university operations, from teaching and research to governance and external engagement.

1. **Educational Enhancement.** Digital tools such as Learning Management Systems (LMS) and Massive Open Online Courses (MOOCs) provide global access to education. By personalizing learning experiences and expanding access to high-quality content, universities can reach a diverse population of students [11] (Alenezi et al., 2023). Hybrid learning models – combining in-person and online methods – further facilitate student engagement and knowledge retention.

2. **Research and Collaboration.** Cloud-based collaboration platforms and virtual research environments have revolutionized academic research. These tools enable real-time, cross-institutional collaboration, allowing researchers to conduct experiments using virtual labs, data analytics, and simulation tools [4] (Sulkowski, 2023). The digital university enhances research output by fostering innovation and interdisciplinary collaboration.

3. **Governance and Decision-Making.** Big data analytics and AI-driven tools have become integral to university decision-making processes. Data gathered through administrative, academic, and financial systems are used to track performance, forecast trends, and optimize resource allocation [6] (Giesenbauer & Müller-Christ, 2020). These technologies also provide insights into student success, allowing institutions to tailor interventions for students at risk of academic failure.

4. **Challenges and Considerations.** Despite the opportunities offered by digital transformation, universities face significant challenges, including the digital divide, cybersecurity concerns, and infrastructure limitations. Addressing these challenges requires a balance between adopting new technologies and ensuring equitable access to resources [5] (George & Wooden, 2023).

## **Digital University as a Strategic Ecosystem**

The digital university model encompasses more than the mere adoption of technologies. It represents a shift towards a strategic ecosystem that fosters collaboration, innovation, and sustainability.

1. **Collaborative Ecosystems.** Digital universities form partnerships with industries, research institutions, and technology providers to create a networked ecosystem. These partnerships provide students and faculty access to state-of-the-art technologies, enhancing both the learning environment and research capabilities [7] (Fernández et al., 2023).

2. **Sustainability and Infrastructure.** The digital transformation process supports sustainable development by optimizing resource usage and reducing operational costs. Cloud computing, AI-based decision tools, and other digital solutions enable universities to align with the United Nations' Sustainable Development Goals (SDGs) [2] (Carayannis & Morawska-Jancelewicz, 2022).

3. **Virtual Learning Environments.** The advent of virtual campuses and digital learning environments offers greater flexibility and accessibility in education. This approach supports lifelong learning, allowing individuals to continually upskill and adapt to the demands of the digital economy [9] (Rousseau, 2023).

### *Digital technologies to achieve academic excellence*

The use of digital technologies in higher education to achieve academic excellence encompasses various aspects, from improving the learning process to enhancing research activity and data

management. Below are the main areas of university digital transformation in relation to its processes and ecosystem creation.

Academic excellence involves training competitive graduates who meet the evolving demands of the labor market and post-industrial economy. The effectiveness of training, and therefore the level of academic excellence, can only be assessed retrospectively over a long period. However, there are secondary indicators and criteria that are essentially indirect parameters of academic excellence, suggesting the effectiveness of university training. These parameters include the main criteria of the four most well-known university rankings, categorized by the university's missions:

1. Teaching:

- Academic reputation (QS, THE)
- Ratio of undergraduates to doctoral students (THE)
- Attractiveness to international students (QS, THE)
- Attractiveness to international faculty (QS)
- Student-to-teacher ratio (QS, THE)
- Number of full-time faculty (ARWU)
- Development and teaching of courses on sustainable development (Greenmetrics).

2. Research:

- Research reputation (THE)
- Publication activity of researchers, including the number of publications per scholar in Scopus (QS)
- Number of publications in Nature & Science (ARWU)
- Number of WoS-indexed publications (ARWU)
- Number of publications prepared in collaboration with international researchers (QS)
- WoS citation index (THE)
- Number of Nobel or Fields Medal laureates among faculty (ARWU)
- Number of highly cited researchers among faculty and graduates (ARWU).

3. Labor Market Interaction:

- Employer reputation (QS)
- Graduate employment rate (QS)
- Contribution to industry, revenue from companies using its inventions and innovations (THE).

4. Societal Engagement:

- Number of successful graduates (QS)
- Research within the framework of the UN Sustainable Development Goals (QS)
- Greenmetrics indicators of resource consumption and conservation
- Compliance with environmental norms (Greenmetrics).

Digital technologies play a significant role in advancing universities in global rankings by enhancing compliance with criteria, thereby indirectly influencing the quality of graduate training. Below are the opportunities for integrating digital technologies into university activities based on its four missions: teaching, research, employer engagement, and societal engagement, as well as supporting university processes, particularly management. The university management process, like all processes, follows the PDCA cycle – plan, implement, check/control, and make decisions. Digitalization accompanies all these stages. There are software tools for strategic planning, cascading, and monitoring. Corporate email systems that manage document flow ensure information dissemination and support decision-making. Collaboration platforms like Zoom Workplace, Microsoft Teams, and Google Workplace enable seamless work among colleagues, sometimes located in different parts of the world, monitoring work processes and ensuring decisions are implemented on time. Online meetings have become the norm, as AI now transcribes and subtitles these meetings, which are then used to create minutes. Digital traces allow events to be recorded and stored. Applications like Power BI and others (Statistica, 1C. Analytics, etc.) enable data analysis, visualization, accumulation, and comparison of large volumes, facilitating deep, time-series research. Modern corporate management systems impact productivity by monitoring staff activities, including

account usage, university e-resources, cloud technology, scientific databases, digital libraries, and the use of computer and printing equipment. Implementing CRM systems and other digital tools help optimize administrative processes, improving efficiency. Using data to analyze program, course, and initiative effectiveness allows universities to make informed decisions to enhance the academic environment. The university's first mission is education – the transfer of societal culture into student knowledge, meaning effectively fostering cultural internalization in a person's mind. All attention is focused on ensuring educational quality. All graduates must achieve the learning outcomes declared in the program. The transmission of culture occurs both in education and character development:

- Online courses and MOOCs allow universities to expand access to quality education, attracting students from different regions and other countries. Furthermore, online courses attract students for virtual academic mobility programs, which may later lead to offline education at other universities.

- Educational platforms enable universities to become global, recognized by students from various countries. The availability of courses from leading universities posted on educational and institutional platforms levels the quality of education, showcasing the best teaching practices and courses.

- Hybrid learning, combining traditional and online methods, allows students to learn at their own pace while teachers can tailor materials to different learning styles.

- Platforms for collaboration (e.g., Google Classroom, Google Docs, Microsoft Teams, Canva, Notion, ClickUp) create interactive environments where students can engage with each other and their instructors.

- Learning management systems (LMS) manage educational processes, course transfers, student progress tracking, data monitoring, and trend identification in university learning.

- Adaptive learning systems analyze student performance and provide personalized study material recommendations, enhancing knowledge acquisition.

- Data analytics to track student performance ensures quality and process adjustments, helping universities identify problem areas and provide timely support where needed.

- Digital tools for collecting student feedback on courses and instructors help universities improve education quality based on real data.

- Digital laboratories, including virtual labs, allow experiments and research in a safe environment with unlimited repetitions for each student.

- Access to digital libraries 24/7 helps students and faculty find current information for educational purposes.

- Digital technologies allow universities to establish connections with educational institutions worldwide, opening opportunities for student and faculty exchanges, joint research, and projects.

- Software helps create unique educational paths by optimizing routes based on graph theory, building optimal learning trajectories.

- Messengers, corporate e-mail systems.

Research Mission:

- Use of cloud technologies and specialized platforms (e.g., ResearchGate) for collaboration on scientific projects accelerates research processes and improves quality. In joint research, methodologies are transferred, best practices are adopted, and approaches are compared. An essential factor is the presence of researchers who think beyond the boundaries and limitations inherent in the research culture of a specific university or country. Another approach is to establish mirror laboratories that conduct the same research in another country, constantly comparing and discussing the results. Sometimes distributed laboratories emerge, where different stages of the research are conducted at different universities. Virtual laboratories, where scientists from various countries can work simultaneously, also deserve special attention.

- Organization of virtual and hybrid dialogue platforms, online forums, and conferences simplifies the participation of scientists and students in international discussions, promoting knowledge and idea exchange. New ideas are quickly transformed into knowledge and disseminated to a broad audience of scientists. Online platforms facilitate the rapid spread of ideas and help find

individuals interested in discussing or continuing the research. Additionally, digital services like YouTube and Facebook serve as repositories, storing broadcasts and various event recordings, allowing access at any time.

- Descriptive information models allow the collection, storage, and analysis of information written in natural language.

- Development environments (e.g., R Studio, MS Visual Studio) and specialized programs (e.g., MathCAD, MATLAB) enable the creation of mathematical models that form the basis of research. These environments allow for simulation modeling, virtual debugging of models, and experiments.

- Scientific platforms help identify top researchers, recognize those whose studies have gained prominence, and provide equitable access to new knowledge.

Mission: Engagement with Employers

- Digital student portfolios allow interested employers to access comprehensive information about students.

- Employers can promptly express their needs for research to be conducted by researchers and students from various universities.

- Digital and virtual technologies make it possible to involve students from different universities in internships within virtual spaces without physical relocation, enabling dual learning and continuous professional practice, particularly in humanities and IT programs.

Mission: Engagement with Society

- University websites, digital educational platforms, digital resources, and libraries provide reliable information beneficial for developing the competencies of citizens and community members. MOOCs deliver knowledge and foster new learning outcomes, upgrading existing competencies.

- Universities also promote digital literacy in society by offering courses and programs for the elderly, bridging skill gaps, expanding opportunities, and minimizing digital inequality.

- In the digital world, universities' role in informing the public extends beyond reporting on their processes and specifics; they also actively participate in building a sustainable society, including implementing the UN Sustainable Development Goals.

## **Discussion**

Digital technologies open new horizons for universities in their pursuit of academic excellence. Their use not only enhances educational quality but also promotes scientific achievements, international cooperation, and effective management. It is crucial for universities to actively integrate these technologies into their practices, adapting to the modern demands of the educational environment. Digitalization intensifies competition between universities, shifting it from a local to a global level, which emphasizes the importance of ensuring the sustainability of universities and creating ecosystems where universities play a central role.

## **Conclusion**

The digital transformation of universities plays a vital role in enhancing academic excellence. By integrating digital tools into their core functions, universities not only improve the quality of education but also strengthen research capabilities and foster global collaboration. However, successful digital transformation requires a comprehensive strategy that incorporates technological, organizational, and cultural changes. As universities evolve into digital ecosystems, they must navigate challenges such as the digital divide and cybersecurity while leveraging the opportunities presented by new technologies. Ultimately, digital universities will serve as catalysts for innovation, contributing to the development of a more equitable and sustainable global society.

The transformation of digital universities into full-fledged digital ecosystems characterizes the current stage in higher education development. These processes are systematic and encompass various aspects of activities, creating new opportunities and alliances. The transition to digital technologies not only changes traditional educational processes but also creates unique opportunities for personalized learning, increased accessibility, and improved quality of educational content.



However, the successful implementation of digital university transformation requires a detailed systematic approach, including technological, resource, and organizational changes, as well as human capacity development. Additionally, social and cultural aspects must be considered to ensure inclusiveness and equal access to educational resources for all students. In a rapidly changing world, digital universities should not only serve as knowledge repositories but also as open sources of innovation, transforming society and contributing to the achievement of sustainable development goals. In the aspect of human potential development, universities foster critical thinking, creativity, and skills necessary for successful professional activity not only among students but also for regional residents through lifelong learning. Thus, a country's competitiveness directly depends on the quality and attractiveness of higher education. In turn, the future of higher education will be defined by universities' ability to adapt to new challenges and leverage digitalization and artificial intelligence opportunities. The digital transformation of universities significantly influences the achievement of academic excellence through several key aspects: resource access, personalized learning, interactive learning methods and virtual reality, flexibility and accessibility, collaboration and networking, analytics and assessment, innovative research, and skills development for the future. Hence, the digital transformation of universities creates conditions for a higher level of academic excellence, providing quality education that meets contemporary demands and challenges.

### Acknowledgment

This article was prepared as part of a scientific program under the targeted funding program by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan on the topic IRN BR21882373 "Development of scientific-methodological and conceptual foundations for implementing academic excellence initiatives in higher education and science in Kazakhstan."

### References

- [1] McCarthy, A. M., et al. (2023). *Digital transformation in education: Critical components for leaders of system change*. *Social Sciences & Humanities Open*, 8(1), 100479. DOI: 10.1016/j.ssaho.2023.100479
- [2] Carayannis, E. G., & Morawska-Jancelewicz, J. (2022). *The futures of Europe: Society 5.0 and Industry 5.0 as driving forces of future universities*. *Journal of the Knowledge Economy*, 13(4), 3445-3471. DOI:10.1007/s13132-021-00854-2
- [3] Sørensen, K. H., & Traweek, S. (2022). *Questing excellence in academia: A tale of two universities*. Taylor & Francis, 236-225 p. DOI:10.4324/9780429290633
- [4] Sułkowski, Ł. (2023). *Managing the digital university: paradigms, leadership, and organization*. Taylor & Francis, 299. DOI: 10.4324/9781003366409
- [5] George, B., & Wooden, O. (2023). *Managing the strategic transformation of higher education through artificial intelligence*. *Administrative Sciences*, 13(9), 196. DOI: 10.3390/admsci13090196
- [6] Giesenbauer, B., & Müller-Christ, G. (2020). *University 4.0: Promoting the transformation of higher education institutions toward sustainable development*. *Sustainability*, 12(8), 3371. DOI: 10.3390/su12083371
- [7] Fernández, A., et al. (2023). *Digital transformation initiatives in higher education institutions: A multivocal literature review*. *Education and Information Technologies*, 28(10), 12351-12382. DOI: 10.1007/s10639-022-11544-0
- [8] Gkrimpizi, T., Peristeras, V., & Magnisalis, I. (2023). *Classification of barriers to digital transformation in higher education institutions: Systematic literature review*. *Education Sciences*, 13(7), 746. DOI: 10.3390/educsci13070746
- [9] Rousseau, H. P. (2023). *From Gutenberg to Chat GPT: The Challenge of the Digital University*. CIRANO, 2023rb-02. <https://cirano.qc.ca/files/publications/2023RB-02.pdf>.
- [10] Alenezi, M., Wardat, S., & Akour, M. (2023). *The need of integrating digital education in higher education: Challenges and opportunities*. *Sustainability*, 15(6), 4782. DOI: 10.3390/su15064782
- [11] Kümmel, E. (2024). *Sustainable and Transparent Digitalization in Academic Teaching: The Role of Theoretical Research Perspectives and University Alignment for Learning Outcomes and Student Engagement in Higher Education*. DOI: 10.15496/publikation-67391

**В.К. Smagul<sup>1\*</sup>**, **В.Д. Sydykhov<sup>1</sup>**, **Г.Ж. Anuarbekova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: botashka-93bk.ru

## **METHODOLOGY FOR DEVELOPMENT OF INTELLECTUAL ABILITIES OF SCHOOLCHILDREN BASED ON DIGITAL TECHNOLOGIES**

### *Abstract*

The article discusses the use of digital technologies, as well as active teaching methods for the development of students' intellectual abilities. In addition, one of the urgent problems of our time was discussed – the use of digital educational technologies in school education. In the article, its relevance was determined and studied by a number of factors. The article examines the need to bring educational institutions of modern society as close as possible to modern digital technologies. The psychological and pedagogical literature compares and analyzes the insufficient development of the methodology of this problem, the need to improve specially developed teaching methods for digital technologies and the development of intellectual abilities of schoolchildren. The ways of solving the problems caused by the lack of equipment for the use of new information technologies in schools and in-depth education of children in the digital education environment are proposed. The article examines the possibilities of using the digital educational environment in the educational process and its impact on the formation of intellectual abilities of schoolchildren. The article also examines a number of needs in the development of pedagogical conditions for the development of intellectual abilities of older and preschool children in the process of using the digital educational environment in educational organizations. The authors of the article intend to further improve their methodology.

**Keywords:** education, digital technologies, methods, educational process, analysis, training.

В.К. Смагул<sup>1</sup>, В.Д. Сыдыхов<sup>1</sup>, Г.Ж. Ануарбекова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный педагогический университет им. Абая, г. Алматы, Казахстан

## **МЕТОДИКА РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ШКОЛЬНИКОВ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

### *Аннотация*

В статье рассматриваются вопросы использования цифровых технологий, а также активных методов обучения для развития интеллектуальных способностей учащихся. Кроме того, обсуждалась одна из актуальных проблем современности – использование цифровых образовательных технологий в школьном образовании. В статье ее актуальность определялась и изучалась рядом факторов. Исследуется необходимость максимально приблизить образовательные учреждения современного общества к современным цифровым технологиям. В психолого-педагогической литературе сопоставляются и анализируются недостаточная разработанность методологии этой проблемы, необходимость совершенствования специально разработанных методов обучения к цифровым технологиям и развитие интеллектуальных способностей школьников. Предложены пути решения проблем, вызванных отсутствием оборудования для использования новых информационных технологий в школах и углубленного обучения детей в среде цифрового образования. В статье рассматриваются возможности использования цифровой образовательной среды в образовательном процессе и ее влияние на формирование интеллектуальных способностей школьников. В статье также изучен ряд потребностей в разработке педагогических условий развития интеллектуальных способностей детей младшего и старшего возраста в процессе использования цифровой образовательной среды в образовательных организациях. Авторы статьи намерены и дальше совершенствовать свою методологию.

**Ключевые слова:** образование, цифровые технологии, методы, учебный процесс, анализ, обучение.

Б.Қ. Смағұл<sup>1</sup>, Б.Д. Сыдыхов<sup>1</sup>, Г.Ж. Ануарбекова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан  
**ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР НЕГІЗІНДЕ МЕКТЕП ОҚУШЫЛАРЫНЫҢ ЗИЯТКЕРЛІК  
ҚАБІЛЕТТЕРІН ДАМУ ТӘДІСТЕМЕСІ**

*Аңдатпа*

Мақалада цифрлық технологияларды, сондай-ақ оқушылардың интеллектуалдық қабілеттерін дамыту үшін оқытудың белсенді әдістерін қолдану мәселелері қарастырылады. Сонымен қатар, қазіргі заманның өзекті мәселелерінің бірі – мектепте цифрлық білім беру технологияларын қолдану талқыланған. Мақалада оның өзектілігі бірқатар факторлармен анықталды және зерттелді. Қазіргі қоғамның білім беру мекемелерін заманауи цифрлық технологияларға барынша жақындату қажеттілігі зерттелген. Психологиялық-педагогикалық әдебиеттерде осы мәселенің әдіснамасының жеткіліксіз дамуы, цифрлық технологияларға оқытудың арнайы әзірленген әдістерін жетілдіру қажеттілігі және оқушылардың интеллектуалдық қабілеттерін дамыту салыстырылады және талданады. Мектептерде жаңа ақпараттық технологияларды қолдануға және цифрлық білім беру ортасында балаларды тереңдетіп оқытуға арналған жабдықтардың болмауынан туындаған мәселелерді шешу жолдары ұсынылды. Мақалада білім беру процесінде цифрлық білім беру ортасын пайдалану мүмкіндіктері және оның оқушылардың зияткерлік қабілеттерін қалыптастыру әдістемесі зерттелді. Мақалада сонымен қатар білім беру ұйымдарында цифрлық білім беру ортасын пайдалану процесіндегі және үлкен жастағы балалардың зияткерлік қабілеттерін дамытудың педагогикалық жағдайларын әзірлеудің бірқатар қажеттіліктері зерттелген. Мақала авторлары өз әдістемелерін әрі қарай жетілдіруді көздеп отыр.

**Түйін сөздер:** білім беру, цифрлық технологиялар, әдістер, оқу процесі, талдау, оқыту.

**Main provisions**

The study is devoted to the development and application of a methodology for developing intellectual abilities of schoolchildren using digital technologies. The main idea is to integrate digital tools to develop critical thinking, logical analysis, creative and analytical skills of students. The study proved that the use of digital technologies increases motivation for learning and allows you to adapt the educational process to the individual characteristics of schoolchildren. The results show that digital methods contribute to the development of such skills as analysis, synthesis, comparison and abstraction. The conclusion is that modern digital approaches are an effective means for the intellectual development of schoolchildren in a dynamically changing educational environment.

**Introduction**

Reforming the education system, which is the main condition for rapid socio-economic growth. Social development, development and stability of the country are considered a necessary condition for creating an innovative economy. The competitiveness of a country's education system is an important component of global competitiveness. There must be constant technological innovation. The rapid development of innovation and rapid adaptation to the needs and requirements of a rapidly changing world, as well as access to quality education, are one of the most important values in people's lives and one of the main factors of economic justice in the world. society. and society. political stability [1].

Changes in the nature and results of modern education correspond to its main goals and content, giving special importance to the development of creative abilities and independence of schoolchildren. Important aspects are increasing their competitiveness, acquiring flexible skills and improving the quality of education. The system of higher professional education should prepare specialists capable of making informed and responsible decisions in the conditions of a dynamically developing society. People who can foresee possible consequences. People who can work together are flexible, dynamic, creative, capable of self-improvement, respectful and competent. Ethics and entrepreneurship are responsible for the fate of the country [2]

Currently, the process of dissemination of social information has accelerated significantly. Profound changes are taking place in all spheres of human life. The importance of both production

and consumption of information is growing. For the successful development of modern society, higher education plays a key role in the creation and implementation of new ideas. It is characterized by openness, readiness to perceive new things, critical thinking and the ability to view the world holistically, as well as to find effective solutions to emerging problems. From this point of view, educational activities in schools are gradually developing today. It is no longer possible to limit ourselves to giving and receiving information. The purpose of school is to develop educated, intelligent, educated and effective thinkers and to acquire the necessary skills and qualifications. They can independently develop their knowledge throughout their lives, since the time needed to successfully assimilate the necessary information is limited. Therefore, it is necessary to find and implement ways to optimize the educational process in schools: reinforcement lessons. Using innovative teaching methods to support students' cognitive and intellectual development. and develop the communication skills and abilities necessary for effective learning [3].

### **Research Methodology**

The main types of digital technologies include mobile learning, cloud computing, online courses, gaming, and online assignments. Mobile learning technologies are gaining popularity in the education sector. The continuous development of digital learning technologies is the ultimate goal of business education, enabling students to develop competitive value and become qualified professionals. Therefore, the main role of teachers is to use digital technologies in the learning process, taking into account the individual capabilities of students. The modern labor market requires training for skilled workers and creates new requirements for the use of innovative technologies in education. We are currently looking for graduates with a background in digital technologies. One of the main goals of educational institutions is to provide students not only with theoretical knowledge, but also with the skills to use information technology, to independently receive and analyze information [4].

Universities should increasingly use digital technologies and modern textbooks and learning media based on technology. Digital educational technologies are a new approach to conducting educational lessons using electronic systems. The use of digital technologies is aimed at improving the quality and efficiency of the educational process and the successful socialization of school-aged children. Many researchers believe that the development of digital technologies in the education system is the result of reducing workload and developing independent learning. Therefore, digital educational technologies are actively used to support and improve the quality of education, ensure mutual cooperation between teachers and students, and quickly eliminate students' knowledge deficits [5].

The possibilities of digital technology for student learning include:

- Good flexibility when performing activities and learning materials;
- Increasing children's activities in school;
- Personalizing the learning process;
- Increasing the visibility of the materials;
- Direct feedback to the teacher;
- School children can see the results immediately after completing the activity.

Scientists believe that since digital technology is an important part of social life, learners are expected to use various electronic devices in their lives, and their use in the learning process will be easier. It will help you understand information better and process content more easily. Digital technology improves the quality of education by meeting the individual needs of each learner by decentralizing the educational process and setting goals according to the level of education. The use of digital tools allows students to participate in the learning process, moving from passive perception to active action when trying to complete a task [6].

#### *Development of intellectual abilities of school children*

Information and communication technology has the ability to influence the thinking process. Creativity, communication skills and humanitarian socialization are solutions to the problems of intellectual development of children in elementary school, high school, and college. Intelligence is understood as a relatively stable structure of human mental abilities. The ability of schoolchildren to

solve various problems and successfully adapt to the digital society plays a key role in the development of their intellectual abilities [7]. There are different types of intelligence - linguistic, logical-mathematical, spatial, interpersonal and others - each of which is used in certain educational and life situations [8]. In the process of learning using digital technologies, children develop important skills: recognizing and analyzing objects, observing and recording their characteristics, making changes and recording results. Digital tools help schoolchildren develop the ability to analyze cause-and-effect relationships, strategically plan their actions several steps ahead, and develop plans and strategies to achieve goals. Such mental operations as observation, classification, comparison, analysis and synthesis become more effective when using digital platforms and software [9]. An important aspect of intellectual development is the ability to highlight details and combine them into a holistic idea of the object or phenomenon being studied. Digital technologies allow students to practice abstraction, concretization and generalization, which helps them better absorb educational material and develop creative thinking. Aggregation facilitates the development of concepts and laws: classification according to any characteristics. This allows larger objects to be grouped into smaller groups or larger compositions. Abstraction is understood as a mental activity that allows abstract thinking about objects and phenomena in another place. Concreteness allows us to move from speculative symbols and properties to specific properties of a particular object. This can lead to thinking that deviates from reality [10]. Active learning tools and methods are used in modern teaching technologies. This includes the use of information and communication technologies. Promotes the development of students' thinking skills. Preschoolers and kindergarteners can think concretely based on visual images and concepts. Give students specific examples. The teacher understands the general properties and features of objects and phenomena. The essence and main characteristics of these concepts consist of a gradual transition from visual-figurative thinking to verbal-logical thinking [11]. Although the thinking of preschool and preschool children is related to concrete reality and direct observation and is based on certain logical principles, abstract and formal logical thinking as early childhood education develops raises some problems. They will be given the opportunity to think. Psychological functions analyze and think about one's behavior. And prepare an action plan. Progressive and complex psychological activities promote the development of children's intelligence. The use of images, programs and simulation environments promotes the development of visual thinking and imagination [12]. Figure 1 below shows an exercise that promotes thinking.



*Figure 1. Development of thinking in children of primary school age*

The lack of cardiac activity further complicates the learning process. Children are encouraged to recognize relationships between information, explore problem structures, and use principles and theories to evaluate new scenarios. The development of logical thinking is supported by activities aimed at solving children's psychological problems. These are logic games, pattern-finding exercises, mathematical problems, logical puzzles [13]. An excerpt from such exercises is presented in Figure 2 below.





Figure 2. Using interactive whiteboards at school

In addition, children are invited to participate in play-related activities, where they imagine and act out play stories on their own. Ways to develop effective visual thinking include assembling pictures using puzzles. Let's try to build structures using cubes and Lego blocks. Introduction of information and communication technologies in education, extracurricular, extracurricular and independent activities of school-age children [14]:

- Allow students to carry out an individual learning path, adjusting the learning process depending on the content, amount and speed of absorption of the learning material.
- Helps to speed up and optimize the learning process.
- Activate students' cognitive activity when using modern application programs with interactive, modeling, communication and multimedia capabilities.
- Increase students' activity and spontaneity during lessons.
- Increase engagement by conveying information in various graphic, audio and video formats.
- Improve the quality of learning results, since it allows repeated practice of acquired skills in realistic situations and use of acquired knowledge in a playful way in new situations.
- Create conditions for forming appropriate self-esteem in students through computer management of learning outcomes.
- Provides favorable conditions for learning and self-development without direct contact between the teacher and the child.
- Increases comfort.
- Improves information and communication skills of students.

Computer technology engages cognitive processes and fosters creativity in young children. Leveraging computer tools for enhancing children's intellectual capacities not only ensures the successful completion of educational objectives but also bolsters cognitive skills and overall personal growth. It cultivates the ability to foresee outcomes of actions and form strategies for effective problem-solving [15]. Techniques and approaches in computer-based education for young learners encompass utilizing multimedia, interactive tools, and e-learning resources, including educational games. Creating educational projects with Logo programming languages like Pervo Logo and Logomir is part of this educational methodology. International internet-based education utilizing hypertext and hypermedia technologies, telecommunications initiatives, research tasks employing computer tools, virtual learning environments, exhibitions, museums, and libraries all contribute to enriching the educational experience. Furthermore, the illustration of knowledge acquisition through auditory means with headphones is depicted in Figure 3 below. Moreover, innovative training systems, along with robotics design and programming, present rich educational resources. Presently, there is a notable integration of e-learning components and technologies within formal education systems [16]. The formulation of educational curricula for young learners hinges on a fundamental pedagogical tenet that emphasizes the incorporation of playful elements to varying extents. This underscores the significance of gaming as a pivotal mode of interaction for children with computing

devices [17]. The visual representation in Figure 4 highlights the importance of presenting educational content in a game format to enhance students' understanding of the material.



Figure 3. Using a laptop to solve tasks



Figure 4. Using an interactive whiteboard in additional education classes

Presently, there is a significant focus on educational tools driven by computers that facilitate a playful approach to learning. This emphasis stems primarily from state mandates and the evolving educational needs of students in both junior and senior school levels. Interactive educational games serve as vehicles for fostering learning processes. Engaging students with computer games in lessons aids in cultivating their motivation to explore new concepts, fosters self-reliance in mastering fresh material, and enhances the development of specific skills and competencies. The digitalization of education has reshaped the paradigms of nurturing and educating primary and secondary school children. The pivotal role played by computers in enhancing the intellectual capacities of preschool and primary school children is now widely acknowledged. While computers offer extensive potential for both gaming and learning, their impact on a child is profound. However, it is crucial to acknowledge that optimal results in the intellectual development of primary and secondary school children can only be achieved through the harmonious interplay between teachers, students, and computers. The efficacy of computer-based educational games and developmental programs hinges on the objectives set by educators, the strategies employed to attain these goals, and the methodologies integrated into instructional practices. Consequently, educators who lead classes within computer-based learning environments play a critical role, with their pedagogical acumen, professional attributes, and adeptness in selecting appropriate computer applications for organizing lessons crucial in fostering the intellectual growth of school-aged children[18].

### Results of the study

The studies discussed in the article delve into the digital landscape around young schoolchildren, both at home and in educational settings. The research is based on information obtained from surveys conducted among teachers, academics, parents and students. The main objectives include analyzing the digital environment within families and kindergartens (including access to devices, usage patterns, types of content, levels of adult digital literacy), examining the similarities and differences between home and educational environments in terms of digital socialization, children's digital literacy and the exploitation of digital technologies to develop schoolchildren's intellectual abilities.

The authors of the study came to the following findings and conclusions:

- The home digital environment of preschool children has varying degrees of intensity depending on the age of the children. Children generally have access to several devices with various functionalities, while parents demonstrate relatively high levels of computer literacy. Screen time content often includes educational content that does not always match the age and psychological profile of the child. Almost half of parents do not actively monitor their children's use of gadgets and TV.

- In preschool institutions, the digital environment is mainly designed for adults, used by administrators and teachers of preschools. Software and hardware infrastructure is often of poor quality, which hinders operation and administrative functions. Administrators usually have more



access to devices than caregivers, with most devices being inappropriate for preschool children. Teachers and administrators assess their information and communication technology skills quite positively, but many of them are looking to improve their skills and support children's digital development (a skill that many professionals currently lack) in the future.

- The use of digital devices is limited when it comes to interacting with children, with a sparse distribution of devices intended for children. A small part of teachers focuses on increasing the computer literacy of preschool children. Group-oriented, mainly stationary, technological resources are predominant and serve mainly for educational purposes rather than for leisure activities.

- The integration of digital technology lengthens the educational process, requiring concerted efforts from methodologists and teachers. However, the initiatives taken (or planned) by teachers are often overlooked by parents, who believe that kindergartens have little support for children's digital development. Despite this belief, parents rarely try to improve the situation.

- Parents generally do not consider kindergartens as important agents for children's integration into the digital sphere. Nevertheless, they view teachers' efforts positively, trusting them in the selection of equipment and control over the use of digital technology.

- Teachers display mixed feelings about educational digitalisation: they recognise the potential risks of early digital exposure for children, acknowledge their own skill limitations and struggle with the technical constraints of their schools.

### **Discussion**

Findings and future research directions emerging from the study underscore the benefits of digital technologies in education, notably in customizing the learning experience and tailoring it to individual students. This transformative approach elevates education by prioritizing not only adherence to curricular standards but also the consideration of students' interests and unique abilities. The incorporation of digital educational tools expands students' perspectives and provides fresh avenues for knowledge acquisition in a structured and accessible manner. Advantages encompass reduced administrative burdens, streamlined teaching processes, and enhanced student learning experiences, fostering the development of practical skills. By leveraging digital technologies, education transitions to a new quality benchmark marked by the democratization of knowledge access.

### **Conclusion**

Digital technologies are increasingly becoming indispensable tools for educators in preschool settings, aiding in content structuring, simplifying information retrieval, facilitating the incorporation of multimedia elements like illustrations, audio, video, and animations, and enabling the implementation of personalized teaching approaches. The integration of digital educational tools in early childhood education shifts a child from a passive recipient to an engaged, active participant. It sparks interest even in the most reserved learners, drawing them into the educational process. Modern educators are tasked with harmonizing traditional practices with innovative techniques, blending conventional methodologies with emerging pedagogical trends. While the future trajectory of preschool education remains uncertain, it is evident that preschool institutions are actively engaged in the digital transformations of contemporary society. Subsequent research endeavors could explore avenues such as enhancing educators' proficiency in leveraging digital educational environments and enriching methodological support for utilizing digital technologies to cultivate the intellectual capacities of older preschoolers.

*Пайдаланылган дереккөздер тізімі*

[1] Блинов В.И. *Образовательный процесс в профессиональном образовании: учебное пособие для вузов* / В.И. Блинов; под общ. ред. В.И. Блинова. – М.: Издательский дом "Юрайт", 2018. – С.127-135.

[2] Вишневская Г.В. *Технологический подход в педагогическом процессе высшей профессиональной школы*// *Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского.* –2008. –№ 6(10). С.

235-239.<https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskij-podhod-v-pedagogicheskom-protseesse-vysshey-professionalnoy-shkoly/viewer>

[3] Маркова С.М., Наркозиев А.К. Методы исследования содержания профессионального образования // Вестник Мининского университета. –2019. –№ 7(1). –С. 200-205.<https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-issledovaniya-soderzhaniya-professionalnogo-obrazovaniya/viewer>

[4] Померанцева Н.Г., Сирина Т.А. Особенности формирования иноязычной социокультурной компетенции средствами массовых открытых онлайн-курсов // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2017. –№ 6(4). –С. 167-170.<https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-formirovaniya-inoazychnoy-sotsiokulturnoy-kompetentsii-sredstvami-massovykh-otkrytykh-onlayn-kurov/viewer>

[5] Зайцев В.С. Современные педагогические технологии: учебное пособие. В 2-х книгах. Книга 1. –Челябинск: ЧГПУ, 2012. –411 с.[https://phsreda.com/ru/article/648/discussion\\_platform](https://phsreda.com/ru/article/648/discussion_platform)

[6] Селевко Г.К. Современные образовательные технологии: учебное пособие / Г.К. Селевко. –М.: Народное образование, 1998. –256 с.<https://charko.narod.ru/tekst/an4/1.html>

[7] Муравьева Г.Е. Проектирование технологий обучения: учебное пособие для студентов и преподавателей педагогических вузов, слушательниц и преподавателей педагогических курсов повышения квалификации / Г.Е. Муравьева. – Иваново, 2001. – 123 с. [https://freereferats.ru/advanced\\_search\\_result.php?keywords=01002606681](https://freereferats.ru/advanced_search_result.php?keywords=01002606681)

[8] Борытко Н.М., Соловцова И.А., Байбаков А.М. Педагогические технологии: учебное пособие для студентов педагогических вузов / Н.М. Борытко, И.А. Соловцова, А.М. Байбаков; под ред. Н.М. Борытко. – Волгоград: Изд-во ВГИПКРО, 2006. –59 с.<https://zapotni.com/vgspu-volgograd/borytko-vvedenie-v-pedagogicheskiy-2006-794>

[9] Ваганова О.И., Пирогова А.А., Прохорова М.П. Инновационные технологии в инклюзивном образовании // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. –2018. –№ 6(32). –С. 36-40.<https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-tehnologii-v-inklyuzivnom-obrazovanii/viewer>

[10] Маркова С.М., Наркозиев А.К. Методология исследования содержания профессионального образования // Вестник Мининского университета. –2019. –Т. 2. –№ 7(1).<https://doi.org/10.26795/2307-1281-2019-7-1-2>

[11] Мьякина Е.В. Диагностика качества образования в высшей школе // Вестник Мининского университета. –2019. –Т. 4. –№ 7(3).<https://doi.org/10.26795/2307-1281-2019-7-3-4>

[12] Мальцева С.М., Ваганова О.И., Алешигина Е.А. Технология разработки электронного учебно-методического комплекса по дисциплине "Педагогические технологии" // Инновации в образовании. –2019. –№ 6. –С. 103-109.<http://ripo.by/index.php?id=5555>

[13] Ваганова О.И., Ильяшенко Л.К., Белоусова Г.А. Современные технологии профориентации в системе высшего образования // Современные исследования социальных проблем (электронный научный журнал). –2018. –№ 9(5). –С. 45-48.

[14] Макарова Е.Л., Пугач О.И. Особенности разработки и внедрения курсов по образовательной области "математика" в системах дистанционного обучения // Самарский научный вестник. –2016. –№ 2(15). –С. 165-171.<https://doi.org/10.17816/snvt20162307>

[15] Ярмольчук Т.М. Синхронные и асинхронные онлайн-инструменты изучения иностранного языка в процессе профессиональной подготовки специалистов в области информационных технологий // Гуманитарные балканские известия. –2018. –№ 1. –С. 75-79.

[16] Клинков Г.Т. Технологическое и профильное образование в университетах: активные методы // Американский журнал педагогики и образования. –2014. –№ 4(2). –С. 7-15.

[17] Иттинсон К.С. Массовые открытые онлайн-курсы и их влияние на высшее образование // Карельский научный журнал. –2019. –№ 3(28). –С. 15-17.<https://cyberleninka.ru/article/n/massovye-otkrytye-onlayn-kursy-i-ih-vliyanie-na-vysshee-obrazovanie/viewer>

[18] Прохорова М.П., Бушуева В.В., Ваганова О.И. Практико-ориентированные технологии формирования профессиональных компетенций студентов вузов // Проблемы современного педагогического образования. – 2017. –№ 56(8). –С. 193-199.

#### References

[1] Blinov V.I. (2018) *Obrazovatel'nyiprotsess v professional'nomobrazovanii: uchebnoeposobiedlyavuzov [Educational process in professional education: a teaching aid for universities]*. V.I. Blinov; pod obshch. red. V.I. Blinova.M.: Izdatel'skiidom "Yurait", 127-135. (In Russian)

[2] Vishnevskaya G.V.(2008) *Tekhnologicheskii podkhod v pedagogicheskom protseesse vysshei professional'noi shkoly [Technological approach in the pedagogical process of higher professional school]*.IzvestiyaPenzenskogogosudarstvennogopedagogicheskogouniversitetaim. V.G. Belinskogo. № 6(10). 235-239. (In Russian) <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskij-podhod-v-pedagogicheskom-protseesse-vysshey-professionalnoy-shkoly/viewer>

[3] Markova S.M., Narkoziev A.K.(2019) *Metody issledovaniya sodержaniya professional'nogo obrazovaniya [Methods of research of the content of professional education]*. VestnikMininskogouniversiteta.№ 7(1). 200-205. (In Russian) <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-issledovaniya-soderzhaniya-professionalnogo-obrazovaniya/viewer>

[4] Pomerantseva N.G., Sirina T.A. (2017) *Osobennosti formirovaniya inoyazychnoy sotsiokul'turnoy kompetentsii sredstvami massovykh otkrytykhonlain-kursov* [Features of the formation of foreign language sociocultural competence by means of massive open online courses]. *Azimuth nauchnykh issledovaniy: pedagogika i psikhologiya*. №6(4). 167-170. (In Russian) <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-formirovaniya-inoyazychnoy-sotsiokulturnoy-kompetentsii-sredstvami-massovykh-otkrytykh-onlayn-kursov/viewer>

[5] Zaitsev V.S. (2012) *Sovremennyye pedagogicheskie tekhnologii* [Modern pedagogical technologies]: *uchebnoeposobie*. V 2-kh knigakh. Kniga 1. Chelyabinsk: ChGPU. 411 p. (In Russian) [https://phsreda.com/ru/article/648/discussion\\_platform](https://phsreda.com/ru/article/648/discussion_platform)

[6] Selevko G.K. (1998) *Sovremennyye obrazovatel'nye tekhnologii* [Modern educational technologies]: *uchebnoeposobie*. G.K. Selevko. M.: Narodnoe obrazovanie. 256. (In Russian) <https://charko.narod.ru/tekst/an4/1.html>

[7] Murav'eva G.E. (2001) *Proektirovaniye tekhnologi obucheniya* [Design of learning technologies] *Design of learning technologies: uchebnoe posobie dlya studentov iprepodavatelei pedagogicheskikh vuzov, slushatel'nitsi prepodavatelei pedagogicheskikh kursov povysheniya kvalifikatsii* G.E. Murav'eva. Ivanovo. 123 p. (In Russian) [https://freereferats.ru/advanced\\_search\\_result.php?keywords=01002606681](https://freereferats.ru/advanced_search_result.php?keywords=01002606681)

[8] Borytko N.M., Solovtsova I.A., Baibakov A.M. (2006) *Pedagogicheskie tekhnologii* [Pedagogical technologies]: *uchebnoe posobie dlya studentov pedagogicheskikh hvuzov*. N.M. Borytko, I.A. Solovtsova, A.M. Baibakov; pod red. N.M. Borytko. Volgograd: Izd-vo VGIPKRO. 59 p. (In Russian) <https://zzapomni.com/vgspu-volgograd/borytko-vvedenie-v-pedagogicheskuyu-2006-794>

[9] Vaganova O.I., Pirogova A.A., Prokhorova M.P. (2018) *Innovatsionnyye tekhnologii v inklyuzivnom obrazovanii* [Innovative technologies in inclusive education]. *Innovatsionnaya ekonomika: perspektivy razvitiya i soversheniya*. № 6(32). 36-40. (In Russian) <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnyye-tehnologii-v-inklyuzivnom-obrazovanii/viewer>

[10] Markova S.M., Narkoziev A.K. (2019) *Metodologiya issledovaniya soderzhaniya professional'nogo obrazovaniya* [Methodology of research into the content of professional education]. *Vestnik Mininsko gouni versiteta*. T. 2. № 7(1). (In Russian) <https://doi.org/10.26795/2307-1281-2019-7-1-2>

[11] Myalkina E.V. (2019) *Diagnostikaya chestva obrazovaniya v vyssheishkole* [Diagnostics of the quality of education in higher education]. *Vestnik Mininskogo universiteta*. T. 4. № 7(3). (In Russian) <https://doi.org/10.26795/2307-1281-2019-7-3-4>

[12] Mal'tseva S.M., Vaganova O.I., Aleshugina E.A. (2019) *Tekhnologiya razrabotki elektronnoy uchebno-metodicheskoy kompleks na discipline "Pedagogicheskie tekhnologii"* [Technology of development of electronic educational and methodological complex on the discipline "Pedagogical technologies"]. *Innovatsii v obrazovanii*. № 6. 103-109. (In Russian) <http://ripo.by/index.php?id=5555>

[13] Vaganova O.I., Ilyashenko L.K., Belousova G.A. (2018) *Sovremennyye tekhnologii proforientatsii v sisteme vysshego obrazovaniya* [Modern technologies of career guidance in the system of higher education]. *Sovremennyye issledovaniya sotsial'nykh problem (elektronnyy nauchnyy zhurnal)*. № 9(5). 45-48. (In Russian)

[14] Makarova E.L., Pugach O.I. (2016) *Osobennosti razrabotki i vnedreniya kursov po obrazovatel'noi oblasti "matematika" v sistemakh distantsionnogo obucheniya* [Features of development and implementation of courses in the educational field of "mathematics" in distance learning systems]. *Samarskii nauchnyy vestnik*, № 2(15). 165-171. (In Russian) <https://doi.org/10.17816/sny20162307>

[15] Yarmolchuk T.M. (2018) *Sinkhronnyye i asinkhronnyye onlain-instrumenty izucheniya inostrannogo yazyka v protsess eprofessional'noi podgotovki spetsialistov v oblasti informatsionnykh tekhnologii* [Synchronous and asynchronous online tools for learning a foreign language in the process of professional training of specialists in the field of information technology]. *Gumanitarnyye balkanskiye izvestiya*. № 1. 75-79. (In Russian)

[16] Klinkov G.T. (2014) *Tekhnologicheskoye iprofil'noye obrazovanie v universitetakh: aktivnyye metody* [Technological and specialized education in universities: active methods] / *Amerikanskii zhurnal pedagogiki obrazovaniya*. № 4(2). 7-15. (In Russian)

[17] Itinson K.S. (2017) *Massovyye otkrytye onlain-kursy i ikh vliyanie na vysshee obrazovanie* [Massive Open Online Courses and Their Impact on Higher Education]. / *Karelskii nauchnyy zhurnal*. № 3(28). 15-17. (In Russian) <https://cyberleninka.ru/article/n/massovye-otkrytye-onlayn-kursy-i-ih-vliyanie-na-vysshee-obrazovanie/viewer>

[18] Prokhorova M.P., Bushueva V.V., Vaganova O.I. (2017) *Praktiko-orientirovannyye tekhnologii formirovaniya professional'nykh kompetentsii studentov vuzov* [Practice-oriented technologies for developing professional competencies of university students]. *Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya*. № 56(8). 193-199. (In Russian)

Sh. Turashova<sup>1\*</sup> , A. Amangeldin<sup>1</sup> , K. Seiduali<sup>1</sup> , N. Tekesbayeva<sup>1</sup> , M. Yersin<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: sh.turashova@abaiuniversity.edu.kz

## CREATION OF A SMART LIGHTING SYSTEM IN THE STUDY ROOM

### Abstract

The relevance of the introduction of innovative technologies in the educational process is steadily growing. Today, smart lighting is increasingly found in homes and offices, but it is still rare in schools and universities. The lack of ready-made solutions for classrooms is explained by the specific requirements for flexibility and efficiency of lighting, as well as the expediency of creating various lighting scenarios in an educational environment. "Smart lighting" in the classroom should include automatic brightness control depending on the time of day and natural lighting, changing the color temperature of the light to create an optimal, comfortable atmosphere depending on the time of day, uniform lighting settings for each workplace, integration with other smart classroom systems. The purpose of this study is to study the influence of various lighting parameters (brightness, color temperature, dynamics) on cognitive functions, emotional state, on the level of concentration and academic performance of students; with this in mind, the creation of a prototype smart lighting system for the classroom, which will optimize energy consumption and create comfortable learning conditions.

**Keywords:** smart lighting, smart audience, digitalization, Internet of Things, biodynamic lighting, automation, control sensors, control system, voice assistant.

Ш.П. Тұрашова<sup>1</sup>, А.А. Амангелдин<sup>1</sup>, К.Б. Сейдуәлі<sup>1</sup>, Н.А. Текесбаева<sup>1</sup>, М.Е. Ерсін<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан  
**ОҚУ БӨЛМЕСІНДЕГІ "АҚЫЛДЫ ЖАРЫҚТАНДЫРУ" ЖҮЙЕСІН ҚҰРУ**

### Аңдатпа

Білім беру үдерісіне инновациялық технологияларды енгізудің өзектілігі ұдайы өсіп келеді. Бүгінгі таңда "ақылды" жарықтандыру үйлер мен кеңселерде жиі қолданылады, алайда мектептер мен университеттерде сирек кездеседі. Оқу ғимараттары үшін дайын шешімдердің болмауы жарықтандырудың икемділігі мен тиімділігіне қойылатын нақты талаптармен, сондай-ақ білім беру ортасында әртүрлі жарық сценарийлерін құрудың орындылығымен түсіндіріледі. Оқу бөлмесіндегі "ақылды жарықтандыру" тәулік уақытына және табиғи жарықтандыруға байланысты жарықтылықты автоматты түрде реттеуді, тәулік уақытына байланысты оңтайлы, жайлы атмосфераны құру үшін жарықтың түс температурасын өзгертуді, әр жұмыс орны үшін жарықтандыруды біркелкі реттеуді, басқа ақылды сынып жүйелерімен интеграцияны қамтуы керек. Бұл зерттеудің мақсаты жарықтандырудың әртүрлі параметрлерінің (жарықтылық, түс температурасы, динамика) когнитивтік функцияларға, эмоционалдық күйге, оқушылардың зейіні мен үлгеріміне әсерін зерттеу болып табылады; осыны ескере отырып, энергия тұтынуды оңтайландыруға және оқуға қолайлы жағдай жасауға мүмкіндік беретін оқу бөлмесі үшін ақылды жарықтандыру жүйесінің прототиіпін жасау.

**Түйін сөздер:** ақылды жарықтандыру, ақылды аудитория, цифрландыру, Заттар интернеті, биодинамикалық жарықтандыру, автоматтандыру, басқару сенсорлары, басқару жүйесі, дауыстық көмекші.

Ш.П. Турашова<sup>1</sup>, А.А. Амангелдин<sup>1</sup>, К.Б. Сейдуәлі<sup>1</sup>, Н.А. Текесбаева<sup>1</sup>, М.Е. Ерсін<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан  
**СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ «УМНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ» В УЧЕБНОМ ПОМЕЩЕНИИ**

### Аннотация

Актуальность внедрения инновационных технологий в образовательный процесс неуклонно растет. Сегодня "умное" освещение все чаще встречается в домах и офисах, однако в школах и университетах оно пока редкость. Отсутствие готовых решений для учебных помещений объясняется

специфическими требованиями к гибкости и эффективности освещения, а также целесообразности создания различных световых сценариев в образовательной среде. «Умное освещение» в учебном помещении должно включать автоматическое регулирование яркости в зависимости от времени суток и естественного освещения, изменение цветовой температуры света для создания оптимальной, комфортной атмосферы в зависимости от времени суток, равномерную настройку освещения для каждого рабочего места, интеграцию с другими системами умного класса. Целью данного исследования является изучение влияния различных параметров освещения (яркость, цветовая температура, динамика) на когнитивные функции, эмоциональное состояние, на уровень концентрации внимания и успеваемость обучающихся; с учетом этого создание прототипа системы умного освещения для учебного помещения, который позволит оптимизировать энергопотребление и создать комфортные условия для обучения.

**Ключевые слова:** умное освещение, смарт аудитория, цифровизация, Интернет вещей, биодинамическое освещение, автоматизация, датчики управления, система управление, голосовой помощник.

### **Main provisions**

Lighting plays an important role in the educational process. Properly selected lighting helps to increase students' concentration and improve their academic performance. The article discusses the issues of creating a "smart lighting" system that automatically adapts the light in the classroom to different conditions and needs of students. Based on the results of studying the influence of various lighting parameters on cognitive functions, emotional state, concentration level and academic performance of students, as part of the project assignment, students created a prototype of a smart lighting system for the classroom, which allows optimizing energy consumption and creating comfortable learning conditions. The created system uses light, motion and time sensors to automatically adjust the brightness of the light depending on the time of day, the level of natural light and the presence of people in the room, voice control.

### **Introduction**

The modern world is actively implementing Internet of Things (IoT) technologies in all spheres of life. Every year these technologies become more accessible due to lower equipment costs and the rapid development of innovations. In the context of global digitalization, it is important to prepare the younger generation for a future where the use of IoT will be ubiquitous.

The educational system of the Republic of Kazakhstan has already taken steps in this direction. The computer science course in high school has a separate chapter dedicated to the Internet of Things. However, one chapter is not enough for the comprehensive development of IoT technologies. It is necessary to include them in the training of students through project activities, this is an excellent opportunity for students not only to master theoretical knowledge, but also to apply it in practice. One of the promising topics for IoT projects may be the development of "smart lighting" in classrooms, which will increase energy efficiency and improve comfortable learning conditions, which is an urgent task for modern educational institutions.

The concept of "smart lighting" is technically implemented in the context of a smart home, but classrooms have their own characteristics that must be taken into account when creating smart lighting. Lighting in classrooms plays a key role in creating a comfortable educational environment. Properly organized, adaptive lighting that changes brightness and color temperature depending on the time of day and type of activity helps to create optimal conditions for learning, reduces eye fatigue and increases concentration.

Traditional lighting systems in classrooms often do not take into account the specifics of the visual load of students and do not allow flexible adaptation of lighting to various types of activities and depending on the time of day. The purpose of this study is to study the influence of various lighting parameters on cognitive functions, emotional state, on the level of concentration and academic performance of students and, based on them, to create a prototype of a smart lighting system for the classroom, which will optimize energy consumption and create comfortable learning conditions.

### **Research methodology**

The study was conducted in three stages: theoretical, experimental and analytical. The choice of research methods on each of them was determined by the goals and objectives of the study. At the first stage, the following theoretical research methods were used: the study and analysis of literature on the topic under consideration, as well as the analysis of existing solutions for the creation and application of smart lighting in classrooms. At the experimental stage, a survey of potential users was conducted to identify opinions on the feasibility of creating and implementing a smart lighting system in classrooms with automatic brightness and color temperature control depending on the time of day and type of activity in order to create comfortable learning conditions and improve the quality of student academic performance. The analysis of the results of the study made it possible to develop a conceptual model, determine the equipment and smart lighting control systems necessary for the implementation, and create a prototype of a smart lighting system for an educational facility based on them.

### **Results of the study**

Light plays a key role in regulating our internal clock. Proper use of light allows you to maintain healthy circadian rhythms, improve sleep, improve mood and productivity. The physiology of human color perception is a fundamental area of research that studies the mechanisms of interaction of light stimuli with the visual system. Light, as a physical factor, has a significant effect on psychophysiological processes, modulating the emotional background, energy level and cognitive functions [1]. During the day (morning and evening hours), you can notice a decline in strength and a decrease in human energy. A similar emotional response to exposure to natural light appears under the influence of physical factors and appears in the body with the help of a hormonal (chemical) reaction. The control of biological clocks, seasonal and daily rhythms of the body all depend on the influence of natural light on hormones [1].

A lack of light exposure can cause depression, reduce performance and cause anxiety. At the same time, an optimally selected light mode can improve mood, reduce stress levels and improve concentration. Modern technologies, in particular, smart home systems and various IT solutions, actively use lighting effects to create personalized lighting scenarios that can adapt to human biorhythms, weather conditions and individual preferences. However, it should be borne in mind that prolonged exposure to certain spectral ranges, for example, blue light, can negatively affect eye health and disrupt circadian rhythms [2].

In 2002, scientists discovered a third type of light-sensitive cells in the retina of the eye, in addition to those responsible for twilight and color vision. These cells react to the illumination around them, although they themselves do not participate in the process of vision. They regulate biological processes in the body, such as hormone synthesis and visual reflexes, depending on the level of illumination [3]. The more natural light, the better for our health: it reduces the risk of depression, improves mood, increases energy levels, concentration and productivity. But, unfortunately, not all rooms have enough windows to provide the right amount of daylight.

The widespread use of lamps with electromagnetic controls in Kazakhstan, especially 4x18 W models with a mirrored grille, leads to a high level of light pulsation (38-49%). Such pulsation negatively affects the visual system, causing increased fatigue, especially in children under 14 years of age [4].

Biodynamic lighting comes to the rescue, which mimics the behavior of the sun and synchronizes with natural human biorhythms. It allows you to create a light close to natural in the room, adjusting not only the brightness, but also the color temperature of the light. Modern lighting systems are developed taking into account the influence of light on the emotional state of students. Biodynamic lighting helps both in studies and in recreation, changing its parameters depending on the time of day and human biorhythms (Figure 1). Research shows that during lessons, exams and tests, it is worth using light with a high color temperature (4 500 – 5 000 K), which stimulates the body by reducing melatonin levels and increases brain concentration and activity [5].



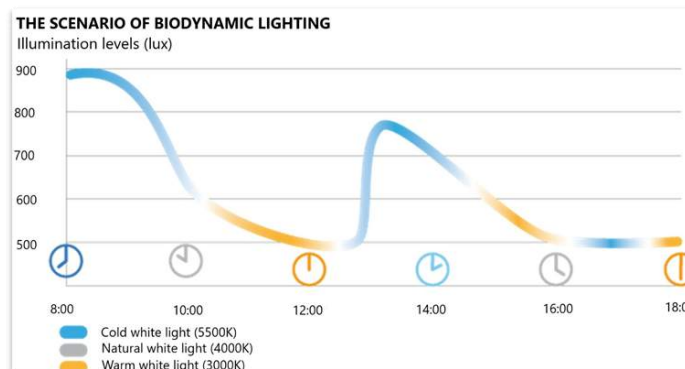


Figure 1. Biodynamic lighting scenario

Warmer light is recommended at recess and in the corridors (2 500 – 4 000 K) to help students relax and recuperate. Smart lighting, thanks to the use of biodynamic principles and modern technologies, creates optimal conditions for learning:

- Energy efficiency with significant energy savings due to intelligent lighting control.
- Adaptive lighting with automatic adjustment of brightness and color temperature depending on the time of day and type of activity, which helps to reduce visual load, increase student concentration and motivation, and improve the quality of learning.

In order to clarify the attitude towards the introduction of smart lighting in educational premises and to assess its effectiveness in comparison with traditional lighting systems, a survey of potential users was conducted. The survey was attended by school teachers, teachers and university students. In total, 50 people from the teaching staff and 150 students were interviewed (Table 1).

Table 1. Survey results

<i>General awareness and opinion about smart lighting</i>	<i>80% of teachers and 90% of students are familiar with the concept of "smart" lighting and understand its advantages</i>	<i>75% of teachers and 85% of students expressed the opinion that the use of smart lighting can significantly increase the comfort and efficiency of learning in classrooms</i>
<i>The efficiency of smart lighting compared to traditional</i>	<i>85% of teachers and 88% of students believe that smart lighting is much more effective than traditional lighting, as it adapts to natural lighting conditions and the intensity of classes</i>	<i>70% of teachers noted that smart lighting reduces eye fatigue and increases students' concentration during classes</i>
<i>Features of the work of educational facilities</i>	<i>65% of respondents pointed to the difficulties associated with the lack of ready-made solutions for the introduction of smart lighting in classrooms. The main reasons are the peculiarities of the use of premises: different modes of operation (lectures, seminars, laboratory work) require flexibility in light management</i>	<i>The teachers stressed that smart lighting should be integrated with building management systems for more accurate monitoring and analysis of the use of premises</i>
<i>Analysis of the use of premises</i>	<i>60% of teachers noted that classrooms often remain unlit or, conversely, overly illuminated, which negatively affects concentration and overall comfort</i>	<i>70% of the participants expressed the opinion that smart lighting can automatically adapt to the number of people in the room and current needs, which will improve the conditions for classes</i>



Despite the lack of ready-made solutions that take into account the specifics of classrooms, most teachers and students support the idea of switching to smart technologies. The survey results showed that 84% (42 out of 50) of teachers believe that smart lighting will significantly increase the comfort and efficiency of learning. Many noted that flexible adaptation of lighting to various types of educational activities will create more favorable conditions for the perception of information. One of the teachers stressed: "Smart lighting will create a more comfortable and stimulating learning atmosphere in the classroom." The students also appreciated the potential of smart lighting, noting that it will help reduce eye strain and increase concentration.

The smart lighting system for classrooms is an innovative solution that allows you to optimize lighting in classrooms and classrooms, creating a comfortable and effective learning environment. The system consists of LED lights, light, motion and presence sensors, as well as a central controller. Sensors collect information about the level of natural light, class occupancy, and time of day. The controller analyzes this data and transmits commands to the luminaires, adjusting the brightness and color temperature of the light.

The distribution of natural light in classrooms is often uneven: the maximum illumination is observed near windows - it is lighter closer to the window, and darker further away. Ordinary lamps are turned on for the entire audience, even if it is already light at the window. Standard artificial lighting systems do not take this feature into account, which leads to inefficient use of electricity. To solve this problem, you can install special sensors. They will measure how much light there is in each part of the room and automatically turn on or off the lamps. Installing sensors above each row of desks will allow you to maintain a set level of illumination in each area of the classroom, automatically adjusting the intensity of artificial lighting depending on the level of natural light. This approach will ensure uniform lighting of all workplaces and reduce energy consumption.

A voice assistant can be used to control the "smart lighting" in the classroom. To date, there are 3 voice assistants that understand Russian: Alice, Siri and Google Assistant (Table 2). When choosing an assistant, it is important to understand that not only the voice recognition system is selected, but also the devices and applications with which the control will take place.

Table 2. The main characteristics of popular voice assistants

<i>Specifications</i>	<i>ALICE</i>	<i>Siri</i>	<i>Google Assistant</i>
<i>Voice recognition quality</i>	<i>High</i>	<i>High</i>	<i>High</i>
<i>Operating systems</i>	<i>Microsoft Windows, Android, iOS u Linux</i>	<i>iOS, macOS</i>	<i>Android, iOS, Wear OS, Android Auto u Chrome OS</i>
<i>Smartphone/ Tablet/ Laptop/ PC</i>	<i>Any device</i>	<i>Apple Devices</i>	<i>Any device</i>
<i>Unlocking your smartphone by voice</i>	<i>No, it only works through the launch of the Yandex application (the exception is Yandex.Smartphone)</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>
<i>Smart Speaker</i>	<i>Yandex. Station</i>	<i>Apple HomePod (снята с производства)</i>	<i>Google Home</i>
<i>Smart Watches</i>	<i>Elari KidPhone 3G</i>	<i>Apple Watch</i>	<i>Android Wear</i>
<i>Distinctive features</i>	<i>Does not work with sensors</i>	<i>To access from the Internet, you will need to set up an additional Apple TV or iPad</i>	<i>—</i>

The basic voice commands for controlling the light are the same for all assistants – turn on/off the light and increase/decrease the brightness of the light. You can also use, for example, open/close blinds if they are equipped with an electric drive. The ALICE voice assistant dock station was chosen as a platform for the implementation of smart lighting in the framework of this study, due to its high flexibility and wide possibilities for the implementation of various projects (Figure 2).



Figure 2. Layout of the proposed lighting system in the classroom

For voice control of the light, you definitely need the Internet, a voice assistant and a connected smart room system. The voice assistant can be installed in any ordinary smartphone, tablet, laptop or computer, smart speaker. In general, there are many options. The operation of the system is carried out in this way (Figure 3):

- The user gives a command to perform a specific operation.
- The team is sent to the Yandex cloud.
- The system recognizes the command and transmits it to the cloud of the manufacturer of a particular device.
- Data is being transferred to the equipment.

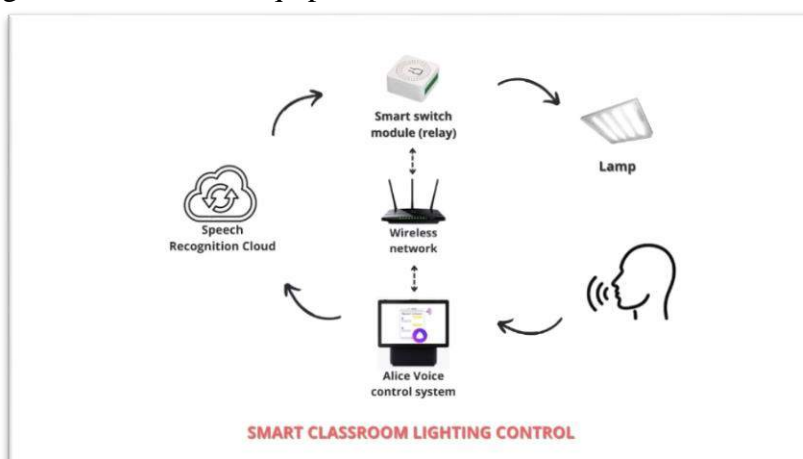


Figure 3. Intelligent lighting control in the classroom

Yandex Smart home management is provided through the Home with Alice app or by voice using a smart speaker. To set up the Yandex Smart Home, you need to download the Home with Alice app to your smartphone and create an account on the Yandex platform. After adding all the "smart"

devices, they can be controlled by voice. In addition to the "turn on" and "turn off" commands, more subtle settings are available: turn on the device for a certain time (or after some time), turn on a certain device mode. Using the application, you can not only turn on one of the devices, but also adjust its operation, create a schedule or work scenario for it, which is convenient for setting various lighting scenarios. And for a school project, you can use a microcontroller-based hardware platform designed for the development of smart devices and automated systems such as Arduino.

Like any programmable system, Arduino consists of:

- hardware – a printed circuit board with electronic components, connectors for connection, including USB type, as well as other circuits;
- the program part is called a "sketch" or a finished program.

For a school project, the Arduino smart lighting kit will include ready-made standard parts and components:

- Arduino Uno Controller;
- RTC DS3231 module – to get the current time;
- RGB LED or RGB ribbon for dynamic color change.

Connection pins:

- The RGB LED is connected to pin 2.
- The RTC DS3231 is connected via the I2C interface (SCL to A5, SDA to A4 on the Arduino Uno board).

The connection diagram of the smart lighting project is shown below, which changes the color of the light depending on the time is shown in Figure 4.

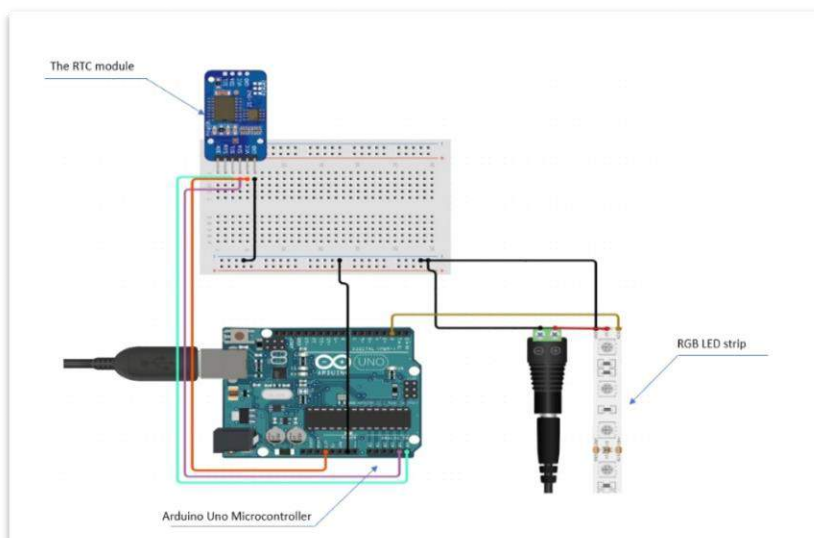


Figure 4. Connection diagram of the smart lighting project

Description of the program operation:

1. The DS3231 RTC module is used to get the current time. The program tracks the time in the clock and, depending on the time of day, changes the color of the lighting:

- In the morning (6:00-12:00), a warm white light turns on.
- in the afternoon (12:00-18:00) – cold white light.
- in the evening (18:00-22:00) – warm orange light.
- at night (22:00-6:00) – dimmed blue light.

2. An RGB LED or a NeoPixel-enabled ribbon changes its color depending on the current time.

Table 3 below shows the code of the smart lighting program, which changes color depending on the time of day.

Table 3. The program code

```

#include <Wire.h>
#include <RTClib.h>
#include <Adafruit_NeoPixel.h>

#define PIN 6
#define NUMPIXELS 1

RTC_DS3231 rtc;
Adafruit_NeoPixel pixels(NUMPIXELS, PIN, NEO_GRB + NEO_KHZ800);

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  if (!rtc.begin()) {
    Serial.println("The RTC module was not found ");
    while (1);
  }
  if (rtc.lostPower()) {
    Serial.println("setting the time...");
    rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
  }
  pixels.begin();
}

void loop() {
  DateTime now = rtc.now();

  int hour = now.hour();
  if (hour >= 6 && hour < 12) {

    setLightColor(255, 223, 186);
  }
  else if (hour >= 12 && hour < 18) {

    setLightColor(173, 216, 230);
  }
  else if (hour >= 18 && hour < 22) {

    setLightColor(255, 153, 51);
  }
  else {
    setLightColor(0, 0, 139);
  }

  delay(1000);
}

void setLightColor(uint8_t r, uint8_t g, uint8_t b) {
  for (int i = 0; i < NUMPIXELS; i++) {
    pixels.setPixelColor(i, pixels.Color(r, g, b));
  }
  pixels.show();
}

```

## Discussion

Smart lighting in the educational environment is a promising direction that allows you to create more comfortable and effective learning conditions. As part of this study, a prototype smart lighting system for the school classroom was successfully developed and tested. The system has demonstrated the ability to adapt the light level and color temperature of the lighting depending on the time of day,

the level of natural light and the tasks performed by the students. The developed system can serve as a basis for creating larger-scale solutions in the field of educational infrastructure.

## Conclusion

When creating a smart lighting system in an educational institution, it is necessary to take into account many factors, ranging from regulatory requirements to the specific needs of students and teachers. It is important to choose reliable equipment, develop a competent project and ensure high-quality installation and configuration of the system. For middle and high school students, smart lighting projects can be not only an exciting activity, but also an excellent opportunity to deepen their knowledge in the field of electronics, programming and the Internet of things. The experience they gained during the implementation of the project can be useful in the development of other intelligent automation systems.

## Acknowledgements

This research article has been supported by the This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan within the project «IoT Transformation of an Educational Institution: Design, Implementation of Smart Classrooms and Training of Specialists in the Field of IoT for Education» (IRN AP23490844).





## References

- [1] Centers for Disease Control and Prevention: National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), "The Color of Light Affects the Circadian Rhythms," [Online]. Available: <https://www.cdc.gov/niosh/emres/longhourstraining/color.html>. [Accessed 01 March 2021].
- [2] Sliney, D. H. (2016). Physiological and ecological relevance of light sources for plants and humans. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 372(1730), 20160028. <https://doi.org/10.1038/eye.2015.252>
- [3] Зотин О. (2015) Некоторые особенности VI светотехнической революции в наружном освещении // Полупроводниковая светотехника. № 1–3. <https://led-e.ru/wp-content/uploads/3328.pdf>
- [4] Приказ Министра здравоохранения Республики Казахстан от 5 августа 2021 года № ҚР ДСМ-76 «Об утверждении Санитарных правил «Санитарно-эпидемиологические требования к объектам образования». <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100023890>
- [5] Smith, J. (2020). IoT in Smart Homes: Technologies and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. [https://doi.org/10.1049/PBCE122E\\_ch7](https://doi.org/10.1049/PBCE122E_ch7)
- [6] Deguchi T, Sato M. (1992): The effect of color temperature of lighting sources on mental activity level. *Ann Physiol Anthropol*, 11:37–43. <https://doi.org:10.2114/ahs1983.11.37>
- [7] Лу П. (2019). Архитектура интернета вещей / ДМК Пресс. <https://djuv.online/file/wkD2EbowAO6DW?ysclid=m3mw6p7f0886378336>
- [8] Brown, A. (2019). *Wireless Technologies for IoT: A Comparative Analysis*. Springer. [https://doi.org:10.1007/978-981-16-6448-9\\_39](https://doi.org:10.1007/978-981-16-6448-9_39)
- [9] Baoshi Sun, Qiaoli Zhang, S. Cao. (2020). Development and Implementation of a Self-Optimizable Smart Lighting System Based on Learning Context in Classroom. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 1 February. <https://doi.org:10.3390/ijerph17041217>
- [10] Int. J. Environ. Res. Public Health 2020, 17, 1217; <https://doi.org:10.3390/ijerph17041217>
- [11] Рентюк В. (2019). Развитие «Интернета вещей»: проблемы и их решения [Development of the Internet of Things: Problems and their Solutions]. В. Рентюк // Беспроводные технологии. <https://wireless-e.ru/wp-content/uploads/5438.pdf>
- [12] Zhang, L., & Zhao, X. (2021). Energy Efficiency in IoT-based Smart Lighting Systems. *Journal of Smart Building Technologies*. <https://doi.org:10.3390/s23187670>
- [13] Zeebaree, S. R., and Yasin, H. M. (2014). Arduino based remote controlling for home: power saving, security and protection. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 5, no. 8, pp. 266-272. <https://www.ijser.org/researchpaper%5CArduino-Based-Remote-Controlling-for-Home-Power-Saving-Security-and-Protection.pdf>

References

- [1] Centers for Disease Control and Prevention: National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), "The Color of Light Affects the Circadian Rhythms," [Online]. Available: <https://www.cdc.gov/niosh/emres/longhourstraining/color.html>
- [2] Sliney, D. H. (2016). Physiological and ecological relevance of light sources for plants and humans. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 372(1730), 20160028. <https://doi.org/10.1038/eye.2015.252>
- [3] Zotin O. (2015), Nekotorie osobennosti VI svetotekhnicheskoi revolyucii v narujnom osveschenii [Some features of the VI lighting revolution in outdoor lighting]. *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*. № 1–3. <https://led-e.ru/wp-content/uploads/3328.pdf>
- [4] Prikaz Ministra zdavoohraneniya Respubliki Kazahstan ot 5 avgusta 2021 goda № ҚР DSM\_76 «Ob utverjdenii Sanitarnih pravil «Sanitarno epidemiologicheskie trebovaniya k obektam obrazovaniya» [[4] Order of the Minister of Health of the Republic of Kazakhstan dated August 5, 2021 No. ҚР ДСМ-76 "On approval of the Sanitary Rules "Sanitary and Epidemiological Requirements for Educational Facilities]. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100023890>
- [5] Smith, J. (2020). IoT in Smart Homes: Technologies and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. [https://doi.org/10.1049/PBCE122E\\_ch7](https://doi.org/10.1049/PBCE122E_ch7)
- [6] Deguchi T, Sato M. (1992): The effect of color temperature of lighting sources on mental activity level. *Ann Physiol Anthropol*, 11:37–43. <https://doi.org/10.2114/ahs1983.11.37>
- [7] Li P. (2019),. Arhitektura interneta veschei / DMK Press. <https://djuv.online/file/wkD2EbowAO6DW?vsclid=m3mw6p7f0886378336>
- [8] Brown, A. (2019). *Wireless Technologies for IoT: A Comparative Analysis*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-6448-9\\_39](https://doi.org/10.1007/978-981-16-6448-9_39)
- [9] Baoshi Sun, Qiaoli Zhang, S. Cao. (2020). Development and Implementation of a Self-Optimizable Smart Lighting System Based on Learning Context in Classroom. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 1 February. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041217>
- [10] *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17, 1217; <https://doi.org/10.3390/ijerph17041217>
- [11] Rentyuk V. (2019),. Razvitie «Interneta veschei»\_problemi i ih resheniya [Development of the Internet of Things: Problems and their Solutions]. V. Rentyuk. *Besprovodnie tehnologii*. <https://wireless-e.ru/wp-content/uploads/5438.pdf>
- [12] Zhang, L., & Zhao, X. (2021). Energy Efficiency in IoT-based Smart Lighting Systems. *Journal of Smart Building Technologies*. <https://doi.org/10.3390/s23187670>
- [13] Zeebaree, S. R., and Yasin, H. M. (2014). Arduino based remote controlling for home: power saving, security and protection. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 5, no. 8, pp. 266-272. <https://www.ijser.org/researchpaper%5CArduino-Based-Remote-Controlling-for-Home-Power-Saving-Security-and-Protection.pdf>



Н.Т. Шындалиев<sup>1</sup>, А.А. Раманқұлов<sup>1\*</sup>, Ж.Е. Зулпыхар<sup>1</sup>, Ж.К. Кулмагамбетова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

\*e-mail: [ashat-9595@mail.ru](mailto:ashat-9595@mail.ru)

## РОБОТОТЕХНИКА ПӘНІН ОҚЫТУДА ЭЛЕКТРОНДЫ СТЕНДТЕРДІ ҚОЛДАНУДЫҢ ӘСЕРІ

### *Аңдатпа*

Ақтөбе өңірлік университеті мен Еуразия ұлттық университетінің бірлескен эксперименті аясында робот техникасын оқытуда электронды стендтерді пайдалану тиімділігін бағалау бойынша зерттеу жүргізілді. Экспериментке бақылау-эксперименттік топтарға бөлінген 70 студент қатысты. Алдын ала білімді бағалау үшін 25 сұрақтық тест қолданылды. Бір семестрге созылған эксперимент нәтижелері бойынша эксперименттік топтағы білім деңгейінің статистикалық жағынан айтарлықтай жақсарғаны анықталды, бұл ретте (p)-мәні 0,0101. Сауалнама көрсеткендей, студенттердің көпшілігі оқытудың жаңа тәсілін оң бағалаған. Зерттеу нәтижелері электрондық стендтердің оқу процесіне тигізетін ықпалын және олардың робототехниканы оқыту сапасын арттыруға әсерін растайды. Бұл жаңалық робототехника мен жалпы білім беру саласын одан әрі дамыту үшін маңызды. Инновациялық тәсіл оқытудың жаңа әдістерін әзірлеуге және жоғары технологиялар саласында қажетті дағдыларды қалыптастыруға ықпал ететін білім беру технологияларын жетілдіруге негіз бола алады.

**Түйін сөздер:** электрондық стендтер, робототехниканы оқыту, инновациялық білім беру технологиялары, оқыту сапасын арттыру, оқу процесіне интеграциялау.

Н.Т. Шындалиев<sup>1</sup>, А.А. Раманқұлов<sup>1</sup>, Ж.Е. Зулпыхар<sup>1</sup>, Ж.К. Кулмагамбетова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, г. Астана, Казахстан

<sup>2</sup>Актюбинский региональный университет им. К.Жубанова, г. Актөбе, Казахстан,

## ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СТЕНДОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ РОБОТОТЕХНИКА

### *Аннотация*

В рамках совместного эксперимента Актюбинского регионального университета и Евразийского национального университета было проведено исследование, направленное на оценку эффективности использования электронных стендов в обучении робототехнике. В эксперименте приняли участие 70 студентов, разделенных на контрольную и экспериментальную группы. Для оценки предварительных знаний был использован тест из 25 вопросов. По итогам эксперимента, который длился один семестр, было выявлено статистически значимое улучшение уровня знаний у экспериментальной группы, с (p)-значением 0.0101. Анкетирование показало, что большинство студентов положительно оценили новый подход к обучению. Результаты исследования подтверждают потенциал интеграции электронных стендов в образовательный процесс и их влияние на повышение качества обучения робототехнике. Это открытие важно для дальнейшего развития области робототехники и образования в целом. Инновационный подход может стать основой для разработки новых методик преподавания и улучшения образовательных технологий, способствующие формированию необходимых навыков в сфере высоких технологий.

**Ключевые слова:** электронные стенды, обучение робототехнике, инновационные образовательные технологии, повышение качества обучения, интеграция в учебный процесс.



N.T. Shyndaliyev<sup>1</sup>, A. Ramankulov<sup>1</sup>, Zh.E. Zulpykhar<sup>1</sup>, Zh.K. Kulmagambetova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>L.N.Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

<sup>2</sup> Aktobe Regional University named after K.Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

## THE EFFECT OF USING ELECTRONIC STANDS IN TEACHING ROBOTICS

### Abstract

As part of a joint experiment of Aktobe Regional University and Eurasian National University, a study was conducted to assess the effectiveness of using electronic stands in robotics training. The experiment involved 70 students, divided into control and experimental groups. A 25-question test was used to assess prior knowledge. According to the results of the experiment, which lasted one semester, a statistically significant improvement in the level of knowledge in the experimental group was revealed, with a (p)-value of 0.0101. The survey showed that the majority of students positively assessed the new approach to learning. The results of the study confirm the potential of integrating electronic stands into the educational process and their impact on improving the quality of robotics training. This discovery is important for the further development of the field of robotics and education in general. An innovative approach can become the basis for the development of new teaching methods and the improvement of educational technologies that contribute to the formation of the necessary skills in the field of high technology.

**Keywords:** electronic stands, robotics training, innovative educational technologies, improving the quality of education, integration into the educational process.

### Негізгі ережелер

Зерттеудің негізгі идеясы – робототехниканы оқытуда электрондық стендтерді қолданудың оқу процесінің сапасына әсерін анықтау. Эксперименттік жұмыстар барысында электрондық стендтерді пайдалану оқушылардың білім деңгейіне айтарлықтай оң әсер ететіні және бақылау тобымен салыстырғанда білімнің статистикалық тұрғыдан маңызды түрде өскені анықталды ( $p = 0,0101$ ). Сауалнама нәтижелері студенттердің 63%-ы электрондық стендтерді пайдалануға толық қанағаттанғанын, 33%-ы бұл әдісті қолдайтынын көрсетті, ал теріс бағалар тіркелген жоқ. Бұл технологияның студенттер арасында жоғары қабылдау деңгейін көрсетеді. Нәтижелер электрондық стендтердің оқу материалын қабылдауды жақсартып, оқу үлгерімін арттыратынын, сондай-ақ студенттердің болашақ жобаларында осы технологияны қолдануға қызығушылық білдіретінін айқындайды.

### Кіріспе

Робототехника – өмірдің барлық салаларына еніп жатқан қарқынды дамып келе жатқан сала. Бұл-роботты жүйелерді жобалауға, жасауға, бағдарламалауға және басқаруға қабілетті білікті мамандарға шұғыл қажеттілікті тудырады.

Дәрістерге, семинарларға және зертханалық жұмыстарға негізделген робототехниканы оқытудың дәстүрлі әдістері студенттердің дайындығын жеткілікті деңгейде қамтамасыз ете бермейді. Осы орайда оқу үрдісінде электронды стендтерді пайдалану мәселені шешудің тиімді жолы бола алады.

Электрондық стендтер – роботтық жүйелерді имитациялауға және виртуалды эксперименттер жүргізуге мүмкіндік беретін бағдарламалық-аппараттық жүйелер. Олардың дәстүрлі оқыту әдістерімен салыстырғанда бірқатар артықшылықтары бар:

1. Мотивацияны арттырады: студенттер интерактивті ортада жобалармен жұмыс істей алады, бұл оқу үдерісін қызықты және қызықты етеді.

2. Кеңістіктік ойлауды дамыту: 3D модельдеу студенттерге робот жүйелерінің дизайнын жақсы елестетуге мүмкіндік береді.

3. Бағдарламалау дағдыларын дамытуға ықпал ету: электронды стендтер студенттерге виртуалды ортада роботтарды басқару үшін код жазу мүмкіндігін береді.

4. Зертханалық жұмысқа кететін уақытты қысқартады: виртуалды эксперименттер нақтыға қарағанда жылдамырақ жүргізілуі мүмкін.

Басқа авторлардың зерттеулері электронды стендтерді пайдалану робототехниканы оқытудың тиімділігін арттыруға болатынын көрсетті. Chen, Y., Sun, Y., & Liu, Z өз зерттеуінде робототехника шеберханаларында интерактивті дисплейлерді пайдаланатын студенттер дәстүрлі әдістермен салыстырғанда көбірек белсенділік танытқанын көрсетті. Экрандағы визуализация құралдары роботтың құрамдас бөліктері мен олардың функцияларын нақтырақ түсінуге мүмкіндік берді [1].

Benitti, F., Scaradozzi, D., & Ghedini, F. сияқты авторлар бірлескен оқуды жеңілдету үшін электрондық стендтердің әлеуетін атап көрсетеді. Бірнеше оқушы бір уақытта орындықта жұмыс істей алады, бұл есептерді шешу кезінде қарым-қатынас пен топтық жұмысты ынталандырады [2].

Nourbakhsh, I., Sycara, K., & Wright, M. роботтардың мінез-құлқын модельдеу үшін электронды стендтерді пайдалануды зерттейді. Студенттер әртүрлі бағдарламалық кодтармен тәжірибе жасай алады және виртуалды роботтың орындықтағы әрекетін бақылай алады, бұл сынақ және қателерді үйренуге ықпал етеді [3].

Mok, O., Xiao, Z., & Yang, M. зерттеулері электронды дисплей тақталарын интерактивті оқу материалдарын жеткізу үшін пайдалануға болатынын көрсетеді. Білім беру қолданбалары мен стендтік модельдеу әртүрлі оқу мәнерлерін қанағаттандыра алады, бұл студенттерге өз қарқынымен үлгеруге мүмкіндік береді [4].

Артықшылықтарды мойындай отырып, Benitti, F., Scaradozzi, D., & Ghedini, F. электронды стендтердің тиімділігін арттыру үшін жақсы жобаланған бағдарламалық қамтамасыз ету және мұғалімдерді дұрыс оқыту қажеттілігіне баса назар аударады [5].

Зерттеудің мақсаты: Оқушыларға робототехниканы оқытудың тиімділігіне электронды стендтерді қолданудың әсерін анықтау. Зерттеудің міндеттері:

1. Робототехниканы оқытуға арналған электронды стендтердің мүмкіндіктерін талдау.
2. Электрондық стендтерді қолдану саласындағы басқа авторлардың зерттеулерін зерттеу.
3. Оқу үрдісінде электронды стендтерді қолдану әдістемесін әзірлеу.
4. Жасалған әдістің тиімділігін тәжірибе жүзінде тексеру.

### **Зерттеу әдіснамасы**

Зерттеу мақсатына жету үшін ғылыми жарияланымдарды талдау және эксперименттік зерттеулер жүргізуді қамтитын аралас әдістеме қолданылды. Бірінші кезеңде білім беру процесінде, әсіресе робототехника пәнін оқытуда қолданылатын электронды стендтерге қатысты әдебиеттерге теориялық шолу жасалды. Техникалық пәндерді оқытуда цифрлық технологиялардың тиімділігін бағалауға бағытталған басқа зерттеушілердің жұмыстары зерттелді. Бұл деректер одан әрі эксперименттің тұжырымдамалық негізін қалыптастыруға көмектесті. Зерттеудің эксперименттік бөлігі Ақтөбе өңірлік университеті мен Еуразия ұлттық университетінің ынтымақтастығы аясында жүзеге асырылды. Экспериментке екі топқа бөлінген 70 студент қатысты. Студенттер бақылау және эксперименттік топтарға бөлінді. Барлық қатысушылардың бастапқы білім деңгейін анықтау үшін робототехника тақырыбы бойынша 25 сұрақтан тұратын алдын ала тест пайдаланылды. Эксперимент бір академиялық семестрге созылды, онда эксперименттік топ электронды стендтерді қолдана отырып оқытылды, ал бақылау тобы дәстүрлі оқыту әдістерін ұстанды. Эксперимент аяқталғаннан кейін екі топ материалды игеру деңгейін бағалау үшін қайта сынақтан өтті. Нәтижелер бақылау және эксперименттік топтар арасындағы нәтижелердегі маңызды айырмашылықтарды анықтау мақсатында статистикалық талдау жүргізілді. Нәтижелерді өңдеу үшін сипаттамалық статистика әдістері және тәуелсіз үлгілерге арналған t-тест қолданылды. Маңыздылық деңгейі ( $p$ -мәні) 0.05 деңгейінде белгіленді. Тестілеуден басқа, экспериментке қатысушыларға оқытудың жаңа тәсілін қабылдауды бағалау үшін сауалнама жүргізілді. Сауалнамада студенттердің білім беру процесіне қанағаттануы, олардың мотивациясы және оқытуда электронды стендтерді пайдалану туралы түсініктері туралы сұрақтар қамтылды.

### **Зерттеу нәтижелері**

*Әдебиеттерді талдау.* Зерттеулер көрсеткендей, электронды стендтерді робототехника бойынша оқытуға енгізу оқушылардың оқу нәтижелерін айтарлықтай жақсарта алады. Chen, Y., Li, X., Zhao, Y., & Liu, Z. өз жұмысында роботты бағдарламалауды оқыту үшін виртуалды шындық (VR) интерфейсі бар электронды стендті пайдаланудың тиімділігін зерттейді. Олардың нәтижелері электронды стендті пайдаланатын студенттер дәстүрлі оқыту әдістерімен салыстырғанда робот кинематикасы мен динамикасын тереңірек түсінетінін көрсетті [5].

Білім беру саласындағы жүйелі технологиялық өзгерістер қазіргі оқу әдістерін және білімді игеру тәсілдерін жақсартуға тікелей әсер етуі тиіс. Бұл тұрғыда әртүрлі технологиялық құралдарды енгізу педагогикалық процесті жетілдірумен және оның мүмкіндіктерін кеңейтумен қатар жүруі керек. Н.С. Каратаев, А.Б. Ибашова және А.Қ. Мошқаловтың пікірінше, осы аспектілерді қамтитын білім беру бағдарламаларының саны ұлғайып келеді, бұл әдістемелік жабдықтау мен оқу-әдістемелік базаны нығайту қажеттілігін арттырады. Технологияларды қолданудың артықшылықтары тәуелсіздікті дамытуға, мотивацияны арттыруға және когнитивтік қабілеттерді жетілдіруге ықпал етеді. Сонымен қатар, үкіметтің білім берудегі техникалық аспектілерді дамытуға басымдық беруі бұл мәселелердің өзектілігін сақтап отыр [6]. Бұл тұрғыда Williams, D. D., Seo, K., & Kim, Y. M. өздерінің 2017 жылғы зерттеуінде робототехника курстарында студенттердің белсенділігін және оқу нәтижелерін жақсарту үшін веб-негізделген робот қол симуляторын пайдаланудың тиімділігін қарастырды. Нәтижесінде, веб-негізделген симуляторды қолдану студенттердің роботтарды басқару және манипуляциялау дағдылары мен сыни ойлау қабілеттерінің айтарлықтай жақсарғанын көрсетті [7].

Сол сияқты, Gupta, A., Prakash, G., & Kumar, M. зерттеуінде Arduino микроконтроллері бар 3D басып шығарылған роботтық қолдың орта мектептердегі робототехника бағдарламасына ықпалы қарастырылған. Олар электронды стендтерді қолдану арқылы практикалық оқыту әдісі студенттердің роботтық принциптерді меңгеруін жақсартатынын және шығармашылық пен инновациялық дағдыларын арттыратынын анықтады [8].

Осыған байланысты, Г.А. Бегимбетова, Ш.Т. Шекербекова және Е. Оспанкулов өз зерттеулерінде АКТ мен білім беру технологияларының студенттер мен оқытушыларға мультимедиялық материалдармен жұмыс істеу мүмкіндігін арттыруға бағытталғанын атап өтті. АКТ енгізу оқу процесінде ақпаратты аудио және бейнематериалдар арқылы таныстырумен қатар, оқу мазмұнын кеңейтуге мүмкіндік береді, бұл студенттердің жаңа білім алуына және қажетті дағдыларды дамытуына ықпал етеді [9].

Оған қоса, Н.Т. Шындалиев және Г. Шынатай виртуалды технологиялардың білім беру бағдарламаларын виртуалды ортада оқытуда қалай қолданылатынын қарастырды. Виртуалды технологиялар студенттердің коммуникативті, шығармашылық және рефлексивті қабілеттерін дамытуға мүмкіндік береді, бұл білім беру процесінде оқытушының жаңа рөлін сипаттайды [10]. С.А. Исаев, О.С. Ахметова және А.К. Каиыргалиева электрондық білім беру ресурстарының коммуникативтік біліктіліктерді қалыптастырудағы маңыздылығын және мультимедиялық технологияларды қолдану арқылы білім беру процесін жетілдіруді зерттеді. Олар заттар интернетінің (IoT) технологияларының білім беру жүйесіне интеграциясы болашақ мұғалімдердің жоғары технологиялық сауаттылығын дамытуға зор ықпал ететінін көрсетті [11].

### *Педагогикалық эксперимент.*

Эксперимент жұмысы Қ. Жұбанов атындағы АӨУ және Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінде жүргізілді. Бақылау тобы ретінде Еуразия ұлттық университеті, Эксперименттік топ ретінде Ақтөбе өңірлік университеті таңдалып алынды. Экспериментке жалпы саны 70 студент қатысты. Топтардың алдын ала білімін бақылау мақсатында 25 сұрақтан тұратын тест алынды. Тест 100 балдық жүйемен бағаланды. Тест нәтижесі 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1. Экспериментке қатысушы студенттердің бөлінісі

Топ	Қатысушылар саны	Орташа балл	Стандартты ауытқу	p-мәні
Эксперименттік	37	80,72	6,034355	0.457
Бақылау	33	79,57	6,742135	

Эксперимент 1 семестрге (15 апта) жоспарланған. Эксперименттік топтың силлабусына электронды стендтерді пайдалана отырып оқыту ерекшеліктерін ескере отырып өзгерістер енгізілді. Соған сәйкес барлық тақырыпты қамтитын оқу құралы және электронды цифрлық оқыту құралы жасалынды.

Оқу құралында келтірілген лабораториялық жұмыстар сабақ барысында қолданылатын электронды стенд негізінде ұсынылған. Барлық орындалатын лабораториялық жұмыстар электр схемасымен, жалғау үлгісімен және түсіндірмесімен қамтылған. Лабораториялық сабақтар аясында жасалынған кез келген жұмысты электронды стенд ортасында және физикалық құрылғыларды қолдана отырып та жүзеге асыру мүмкіндігі бар. Электронды стенд қолданушыға drag and drop технологиясы көмегімен блоктық программалауға, дайын программаны кодқа түрлендіру мүмкіндігін береді.

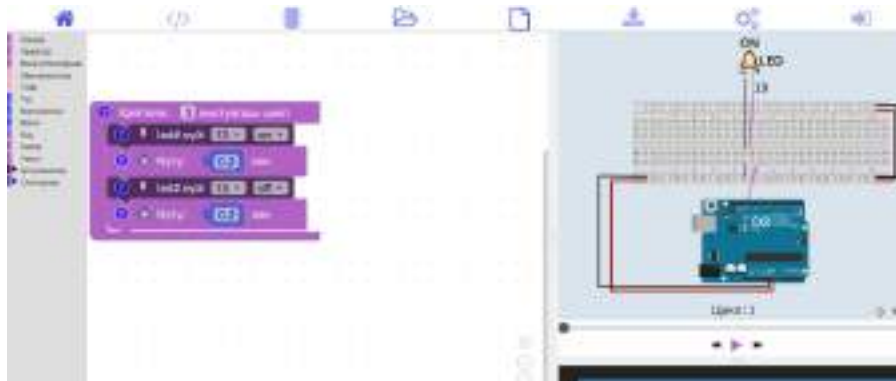
Біз қолданғалы отырған электронды стенд платформасы қазіргі қолданыста жүрген Tinkercad, wokwi секілді платформалардың артық тұстарын пайдаланады және кемшіл тұстарын дамытады. Мысалы, Tinkercad ортасы блоктар көмегімен программалауға жол ашса, wokwi электронды сызбаларды тез әрі оңтайлы жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Біздің электронды стендімізде код арнайы блоктар көмегімен жазылады, және программа логикасына сәйкес электронды схемасы автоматты түрде құрылады. Арнайы блоктар типіне қарай 13 бумаға біріктірілген. Электронды стендтің тағы бір артықшылығы ретінде жүйеде қарастырылмаған, бірақ қолданыста бар сенсорлар немесе Arduino контроллерлерін қосу мүмкіндігі қарастырылған. Қазіргі таңда электронды стенд құрамында Bluetooth, Led, Fast Led, RGB жарық диод, сұйықкристалды экран, жарық диод матрицасы, қозғалтқыш, buzzer, серво қозғалтқыш, қадамдық қозғалтқыш, 7 сегменттік дисплей, батырма, IR басқару, джойстик, температура сенсоры, термистор, RFID және қозғалыс сенсоры қосылған. Өр сенсор жұмысын сипаттайтын арнайы блоктармен қамтылған. Электронды стенд ортасын пайдалана отырып ұсынылған кейбір лабораториялық жұмыстарға тоқтала кетейік.

*Мысал 1. Адуино ортасында цифрлық сигналдарды басқару. Жарық диод жұмысын басқару.*

Лабораториялық жұмыс барысында студенттер цифрлық сигналдың қасиеттерімен, олармен қалай жұмыс жасау керектігімен және басқару әдістерімен таныс болады. Цифрлық сигналдар жұмысын практикалық тұрғыда көрсету мақсатында жарық диод жұмысын басқару ұсынылады. Тапсырма бойынша жарық диод әрбір 200мс жану керек және 200мс сөну керек. Қолданылатын құралдар:

1. Arduino UNO контроллері
2. Жарық диод
3. Мама-папа, папа-папа типті өткізгіштер
4. Резистор 220 Ом
5. Макеттік плата

Біз қолданып отырған электронды стендтің артықшылығы – студенттерге жоба электр схемасын құруды жеңілдетеді. Студенттер аталмыш жобаны асыру үшін тек керекті блоктарды программалау алаңына орналастырса және олардың бастапқы баптауларын жүргізсе жеткілікті. Электронды стенд программалау алаңына қойылған блоктар және программа логикасына сәйкес автоматты түрде электр схемасын құрады (1-сурет).



Сурет 1. Жарықдиод жұмысын басқару

Электронды стенд аясында құрылған жобаларды физикалық жоба ретінде жүзеге асыру өте жеңіл. Ол үшін көрсетілген схема бойынша физикалық макеттік платаға жинау керек. Arduino Ide ортасы арқылы физикалық құрылғыға прошивка жазу үшін электронды стенд қойылған блоктар негізінде автоматты түрде скетч құрастырады (2-сурет). Скетчті қарапайым көшіріп алуға немесе \*.ino кеңейтілімінде жүктеп алуға болады.

```

1 int simple_loop_variable = 0;
2
3 struct RGB {
4   int red;
5   int green;
6   int blue;
7 };
8
9
10
11 void setup() {
12   pinMode(13, OUTPUT);
13 }
14
15
16 void loop() {
17   digitalWrite(13, HIGH);
18   delay(200);
19   digitalWrite(13, LOW);
20   delay(200);
21 }
22
23
24

```

Сурет 2. Блоктар негізінде құрылған скетч үлгісі

*Мысал 2. Ардуино ортасында аналогты сигналдарды басқару. Температура сенсоры.*

Лабораториялық жұмыс барысында студенттер аналогты сигналдар жұмысымен таныс болады, оларды басқаруды үйренеді. Сонымен қатар студенттер осы тақырып аясында I2C синхронды шинасымен таныс болады. Оның көмегімен температура сенсорынан алынған мәліметті сұйықкристалды экранға шығарады. Жобаны жүзеге асыру үшін қолданылатын құралдар тізімі келесідей:

1. Arduino UNO контроллері
2. DHT11 температура және ылғалдылық сенсоры
3. Сұйықкристалды экран
4. Макеттік плата
5. Мама-папа, папа-папа типті өткізгіштер

Лабораториялық жұмыс орындау үшін программалау алаңына температура сенсорын және сұйықкристалды экран баптауларын жүргізу блоктарын орналастырамыз. Бұл жерден біз сенсордың қай ардуино контроллерінің қай пиніне жалғанатындығын, температура сенсоры үшін сенсор типін таңдау мүмкіндігі бар (3-сурет).



Сурет 3. Температура сенсорын және сұйықкристалды экранды ардуино контролері көмегімен басқару

*Мысал 3. Ардуино ортасының PWM сигналдарды генерациялау мүмкіндіктері.*

Лабораториялық жұмыс барысында студенттер PWM сигналдың аналогды және цифрлық сигналдардан айырмашылығын түсінеді. Бұл сигналдардың жасалу жолын, ерекшеліктерін және қасиеттерін меңгеретін болады. Тақырыпты меңгеру мақсатында лабораториялық жұмыс барысында жарықдиод жарығын программалық басқару тапсырмасы берілді. Тапсырма біздің электронды стендімізде орындалды. Электр схема және қолданылатын құралдар тізімі 1-лабораториялық жұмыспен бірдей. Нәтижесі 4-суретте келтірілген.



Сурет 4. Жарықдиод жұмысын PWM сигнал көмегімен басқару

Жоспарға сәйкес бақылау тобында дәстүрлі форматта сабақтар, эксперименттік топта электронды стендтер қолдана отырып сабақ өткізілді. Нәтижені білу мақсатында студенттерден тест жұмысы алынды. Қорытындысында эксперименттік топтың білім деңгейі бақылау тобына қарағанда өскендігін көрсетті. Нәтиже 2-кестеде келтірілген.

Сонымен қатар, экспериментке қатысқан топтардан электронды стенд көмегімен өткізілген сабақтар бойынша пікірін байқау мақсатында сауалнама өткізілді.

Кесте 2. Оқу нәтижелерін бағалаудағы эксперименттік және бақылау топтарының салыстырмалы көрсеткіштері

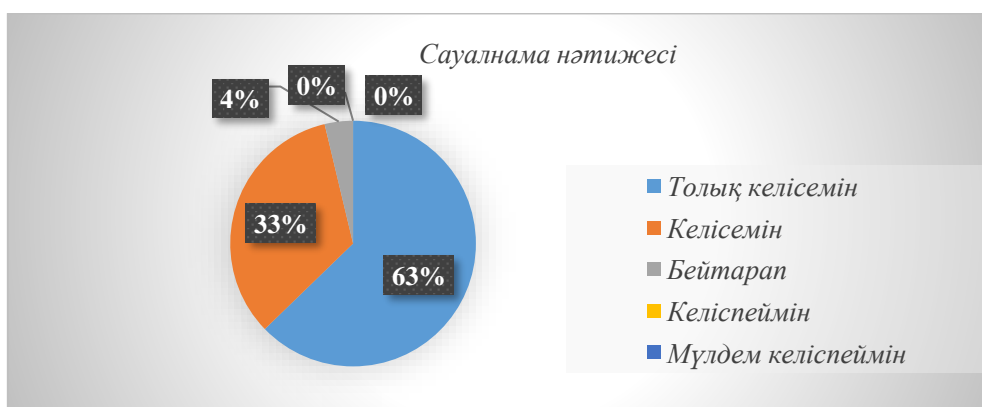
Топ	Қатысушылар саны	Орташа балл	Стандартты ауытқу	p-мәні
Эксперименттік	37	84,73	6,12	0,0101
Бақылау	33	80,56	6,96	

Сауалнама 5 сұрақтан тұрды. Сауалнама нәтижесін 3-кестеден көре аламыз.

Кесте 3. Студенттердің пікірін байқау мақсатында өткізілген сауалнама нәтижесі

№	Сұрақ	Толық келісемін	Келісемін	Бейтарап	Келіспеймін	Мүлдем келіспеймін
1	Электронды стендтерді пайдалану робототехника пәнін оқу процесін жеңілдетті	45	22	2	0	0
2	Электронды стендтер маған робототехникаға қатысты жобаларымды оңтайлы жүзеге асыруға мүмкіндік берді	48	21	1	0	0
3	Робототехника пәнін оқытуда электронды стендтерді пайдалануды тұрақты түрде қолданғанын қалаймын	35	32	3	0	0
4	Электронды стендтерді қолдану жаңа тақырыптарды өз бетінше меңгеруге мүмкіндік береді	40	23	7	0	0
5	Электронды стендтерді қолдану оқу үдерісін интерактивті әрі қызықты етеді	51	19	0	0	0
Орташа пайыздық көрсеткіш		62,57	33,42	3,71428571	0	0

3-кестеде сауалнама қорытындысы ашып көрсетілген. Әр сұрақ бойынша студенттердің жауап санын көруге болады. Кестенің соңында жауаптар бойынша орташа пайыздық көрсеткіші келтірілген. 5-суретте осы пайыздық көрсеткіштер диаграмма күйінде келтірілген.



Сурет 5. Студенттердің пікірін байқау мақсатында өткізілген сауалнама нәтижесі

### Дискуссия

Сауалнама нәтижесіне сүйенетін болсақ, сауалнамаға қатысушылардың 63%-ы толық келісемін, 33%-ы келісемін және 4% ғана студенттер бейтарап деген жауапты таңдаған. Қалған



келіспеймін және мүлдем келіспеймін деген жауаптарды ешкім таңдамаған. Демек, эксперимент нәтижесінде студенттерге робототехника пәнін электронды стендтерді қолдана отырып оқыту қызықты екендігін және оқу сапасына оң әсер еткендігін көрсетті. Экспериментке қатысқан студенттер алдағы уақытта өз шынайы жобаларын жүзеге асыруда электронды стендтерді қолданатындығын жеткізді.

### Қорытынды

Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университетінде және Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінде жүргізілген эксперименттік жұмыстар барысында робототехниканы оқытуда электрондық стендтерді қолдану оқу процесінің сапасына айтарлықтай оң әсерін тигізетіні анықталды. Осы технологияны қолдана отырып оқытылған эксперименттік топ бақылау тобымен салыстырғанда білім деңгейінің айтарлықтай өскенін көрсетті, бұл статистикалық маңызды (р)-мәнімен (0,0101) расталады. Экспериментке қатысушылардың сауалнамасы көрсеткендей, оқушылардың басым бөлігі (63%) электронды стендтерді пайдалануға толық қанағаттанған, ал 33% оқытудың осы әдісімен келіскен. Студенттердің тек 4%-ы ғана бейтарап болып қалды, ал теріс бағалар тіркелмеді. Бұл студенттер арасында инновациялық тәсілді қабылдаудың жоғары дәрежесін көрсетеді.

Осылайша, эксперимент нәтижелері электрондық стендтердің оқу процесіне енгізілуі тек оқу үлгерімінің артуына ғана емес, сонымен қатар студенттердің оқу материалын қабылдауын жақсартуға да ықпал ететінін айқын көрсетеді. Тәжірибеге қатысқан студенттер келешекте өз жобаларын іске асыру үшін электронды стендтерді пайдалануға ниет білдірді, бұл технологияны білім беру саласында қолданудың практикалық маңыздылығы мен өзектілігіне баса назар аударады.

### Пайдаланылған дереккөздер тізімі

- [1] Chen Y., Sun Y., Liu Z. (2020) A research on the teaching of robot education based on interactive electronic whiteboard. *Journal of Physics: Conference Series*, №1645(1), 012022. <https://www.researchgate.net/publication/313449587>
- [2] Benitti F., Scaradozzi D., Ghedini F. (2018) Blended learning with interactive displays: A case study in a robotics course. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, №13(6), 117-132.
- [3] Mok O., Xiao Z., Yang M. (2017) An interactive mobile learning application for basic robotics education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, №10(2), 142-153.
- [4] Nourbakhsh I., Sycara K., Wright M. (2013) *Introduction to robotics*. MIT press.
- [5] Chen Y., Li X., Zhao Y., Liu Z. (2020) VR robot programming education system based on electronic stand. *IEEE Xplore*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10111156>
- [6] Каратаев, Н., Ибашова, А. и Мошқалов, А. 2023. Педагогические аспекты обучения робототехники в условиях smart-образования учащихся начальных классов. // *ҚазҰПУ хабаршысы, «Физика және математика» сериясы* 82, 2 (июн. 2023), 237–245. DOI:<https://doi.org/10.51889/2959-5894.2023.82.2.026>.
- [7] Williams D. D., Seo K., Kim Y. M. (2017) A web-based robot arm simulator for education and research. *MDPI Education*. <https://www.mdpi.com/2227-7102/11/1/11>
- [8] Gupta A., Prakash G., Kumar M. (2022) Development of a low-cost 3D printed robotic arm for enhancing STEM education in middle schools. *Uconn Library*. [https://digitalcommons.lib.uconn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2558&context=gs\\_theses](https://digitalcommons.lib.uconn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2558&context=gs_theses)
- [9] Бегимбетова, Г., Шекербекова, Ш. и Оспанкулов, Е. 2022. Интегрированное использование цифровых и clil технологии при обучении будущих учителей. // *ҚазҰПУ хабаршысы, «Физика және математика» сериясы* 80, 4 (дек. 2022), 210–218. DOI:<https://doi.org/10.51889/6993.2022.66.48.024>.
- [10] Шындалиев, Н. и Шынтай, Г. 2020. Актуальность совершенствования методов обучения по образовательным программам через виртуальные технологии. // *ҚазҰПУ хабаршысы, «Физика және математика» сериясы*. 72, 4 (дек. 2020), 294–299. DOI:<https://doi.org/10.51889/2020-4.1728-7901.46>.
- [11] Ахметова, О., Исаев, С. и Кауырғалиева, А. 2020. Формирование коммуникативных умений у будущих учителей информатики при изучении интернет вещей (IoT). // *ҚазҰПУ хабаршысы, «Физика және математика» сериясы*. 72, 4 (дек. 2020), 188–195. DOI:<https://doi.org/10.51889/2020-4.1728-7901.29>.

References

- [1]Chen Y., Sun Y., Liu Z. (2020) A research on the teaching of robot education based on interactive electronic whiteboard. *Journal of Physics: Conference Series*, №1645(1), 012022. <https://www.researchgate.net/publication/313449587>
- [2]Benitti F., Scaradozzi D., Ghedini F. (2018) Blended learning with interactive displays: A case study in a robotics course. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, №13(6), 117-132.
- [3]Mok O., Xiao Z., Yang M. (2017) An interactive mobile learning application for basic robotics education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, №10(2), 142-153.
- [4]Nourbakhsh I., Sycara K., Wright M. (2013) *Introduction to robotics*. MIT press.
- [5]Chen Y., Li X., Zhao Y., Liu Z. (2020) VR robot programming education system based on electronic stand. *IEEE Xplore*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10111156>
- [6]Karataev N.S., Ibashova A.B., Moshkalov A.K. (2023) Pedagogicheskie aspekty obucheniya robototekhnike v usloviyakh smart-obrazovaniya uchashchikhsya nachalnykh klassov [Pedagogical aspects of teaching robotics in the context of smart education for primary school students]. *Vestnik KazNPU im. Abaya, Seriya «Fiziko-matematicheskie nauki»*, №82(2), 113-118. <https://doi.org/10.51889/2959-5894.2023.82.2.026> (In Kazakh)
- [7]Williams D. D., Seo K., Kim Y. M. (2017) A web-based robot arm simulator for education and research. *MDPI Education*. <https://www.mdpi.com/2227-7102/11/1/11>
- [8]Gupta A., Prakash G., Kumar M. (2022) Development of a low-cost 3D printed robotic arm for enhancing STEM education in middle schools. *Uconn Library*. [https://digitalcommons.lib.uconn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2558&context=gs\\_theses](https://digitalcommons.lib.uconn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2558&context=gs_theses)
- [9]Begimbetova G., Shekerbekova Sh., Ospankulov E. (2022) integririvannoe ispol'zovanie cifrovyyh i clil tehnologii pri obuchenii budushchih uchitelej [Integrated use of digital and CLIL technologies in the training of future teachers]. *Vestnik KazNPU imeni Abaya, Seriya «Fiziko-matematicheskie nauki»*, №80(4), 210-218. <https://doi.org/10.51889/6993.2022.66.48.024> (In Kazakh)
- [10]Shyndaliev N., Shynataj G. (2020) aktual'nost' sovershenstvovaniya metodov obucheniya po obrazovatel'nym programmam cherez virtual'nye tehnologii [The relevance of improving teaching methods in educational programs through virtual technologies]. *Vestnik KazNPU imeni Abaya, Seriya «Fiziko-matematicheskie nauki»*, №72(4), 294-299. <https://doi.org/10.51889/2020-4.1728-7901.46> (In Kazakh).
- [11]Ahmetova O., Isaev S., Kajyrgaliev A. (2020) Formirovanie kommunikativnyh umenij u budushchih uchitelej informatiki pri izuchenii internet veshej (IOT) [Formation of communicative skills in future informatics teachers during the study of the Internet of Things (IoT)]. *Vestnik KazNPU imeni Abaya, Seriya «Fiziko-matematicheskie nauki»*, №72(4), 188-195. <https://doi.org/10.51889/2020-4.1728-7901.29> (In Kazakh)