

publisher.agency
Denmark

May, 2026

№ 13



Copenhagen, Denmark
28-29.05.2026

International
Scientific
Conference

Foundations and Trends in Research

UDC 001.1

P 97

Publisher.agency: Proceedings of the 13th International Scientific Conference «Foundations and Trends in Research» (May 28-29, 2026). Copenhagen, Denmark, 2026. 286p



ISBN 978-5-2356-5174-6

DOI 10.5281/zenodo.20514366

Editor: Sofia Axelsson, Professor, University of Copenhagen

International Editorial Board:

Hanne Olofsson

Professor, Technical University of Denmark

Susanne Bergqvist

Professor, Copenhagen Business School

Oliver Bengtsson

Professor, Aarhus University

Peter Lundin

Professor, Roskilde University

Valdemar Gustafsson

Professor, Aalborg University

Mette Sjöberg

Professor, University of Southern Denmark

Rasmus Nilsson

Professor, West Jutland University College

Ole Björk

Professor, University College South

Kirsten Eriksson

Professor, Danish University of
Pharmaceutical Science

Elliot Isaksson

Professor, Royal School of Library and
Information Science

Daniel Olsson

Professor, Danish Pharmaceutical College

Lucas Engström

Professor, Pharmaceutical College,
Copenhagen

Camilla Svensson

Professor, Danish School of Media and
Journalism

Frederik Holmberg

Professor, University College Absalon

editor@publisher.agency

<https://publisher.agency/>

Table of Contents

Chemical Sciences

INVESTIGATION OF THE INORGANIC ANION COMPLEX OF AMIDOAMINE DERIVED FROM SYNTHETIC PETROLEUM ACID AS A CORROSION INHIBITOR	6
<i>V.M. ABBASOV</i>	
<i>D.B. AGHAMALIYEVA</i>	
<i>L.M. AFANDIYEVA</i>	
<i>F.A. AMIRLI</i>	
<i>F.J. GURBANOVA</i>	
<i>G.R. HUSEYNOVA</i>	

Medical Sciences

FROM SEVERE BONE DEFECTS TO FUNCTIONAL RECOVERY: THE ROLE OF PATIENT-SPECIFIC 3D IMPLANTS IN REVISION TOTAL HIP ARTHROPLASTY	13
<i>KANATULY ARSEN</i>	
МЕДИКО-СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ИНВАЛИДНОСТИ ВСЛЕДСТВИЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ ОРГАНА ЗРЕНИЯ	18
<i>САДЫКОВА АЛТЫНАЙ</i>	

Technical Sciences

INFORMATION PROCESSING AND OPTIMIZATION OF MACHINE LEARNING FRAMEWORKS IN CRITICAL INFRASTRUCTURES	23
<i>ILGAR NASIROV</i>	
ŞƏHƏR GƏLƏCƏYİNİN ARAŞDIRILMASI: MÜASİR ŞƏHƏRLƏRDƏ TUNEL VƏ YERALTI MƏKANLARIN ROLU	33
<i>MƏMMƏDLİ İLYAS CAVANŞIR OĞLU</i>	
<i>ƏLƏSGƏROV ERKIN H.</i>	
COMPARISON OF THE HPC AND BIG DATA JAVA LIBRARIES SPARK, PCJ AND APGAS	35
<i>KARIMZADE ABUZAR</i>	
MÜƏSSISƏNİN İNFORMASIYA TƏHLÜKƏSİZLİYİNİN YARADILMASININ ÜSUL VƏ VASİTƏLƏRİ	38
<i>NAHİD HÜSEYNLI NATIQ OĞLU</i>	
<i>ƏSGƏROVA BAHAR</i>	
STEADY-STATE GAS FLOW IN OIL AND GAS WELL OPERATION: ENGINEERING ANALYSIS AND PRACTICAL SIGNIFICANCE	40
<i>AUKHAN ABDURAHMANLI</i>	
QLOBAL ELEKTRİK AVTOMOBİL BAZARINDA İSTEHSALÇI ŞİRKƏTLƏRİN SATIŞ DİNAMİKASI VƏ RƏQABƏT MÖVQELƏRİNİN TƏHLİLİ 47	
<i>ISMAL MAMEDOV</i>	
ASSİMMETRİK KRİPTOQRAFİYA: NƏZƏRİ ƏSASLAR, ALQORİTMLƏR VƏ MÜASİR TƏTBİQ PERSPEKTİVLƏRİ	56
<i>HÜSEYNOVA YASƏMƏN İSƏNDİYAR</i>	
<i>QASIMOV XƏYAL XALIQ</i>	
ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В РЕКЛАМЕ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТРАНСФОРМАЦИИ ОПЫТНОГО МАРКЕТИНГА И ВОВЛЕЧЁННОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ	64
<i>СЕМБАЕВА АДИНА ТИМУРОВА</i>	
AMOUNT OF METAL ALLOYS IN AZERBAIJAN'S OIL PRODUCTS	70
<i>AGAMAMMADOVA MEHRIBAN YAQUB</i>	
LINUX SİSTEMLƏRİNİN OPTİMALLAŞDIRILMASI: KERNEL, ŞƏBƏKƏ VƏ SERVER MÜHİTİ	75
<i>ABDULLAYEV V.H.</i>	
<i>SALMANOV TAYFUN FAIQ OĞLU</i>	
NEFTİN SƏRFİNİ ULTRASƏS METODU İLƏ ÖLÇƏN SİSTEM	79
<i>MÜƏLLİFİN TAM ADI: İSAZADƏ TURAL</i>	
<i>MƏMMƏDOV ULDUZ</i>	
НАУБАЙХАНА ПЕШИИҢ ҚЫЗДЫРУ ДЕҢГЕЙИҢ FUZZY LOGIC НЕГІЗИНДЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ БАСҚАРУ МОДЕЛІН ӘЗІРЛЕУ	89
<i>УТЕПБЕРГЕНОВ ИРБУЛАТ ТУРЕМУРАТОВИЧ</i>	
<i>РАБАТ САНЖАР ҚУАНЫШУЛЫ</i>	
REPRODUCIBILITY CRISIS IN CARDIOVASCULAR MACHINE LEARNING: IDENTIFICATION AND CORRECTION OF SYSTEMATIC DATA PIPELINE ERRORS IN ANGINA PECTORIS RECOGNITION	94
<i>TAIKEN ARYSTANBEK KAYRGELDIYULY</i>	
SEMANTİK TƏSNİFAT ƏSASINDA MÜŞTƏRİ RƏYLƏRİNİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ İNTELLEKTUAL SİSTEMİNİN İŞLƏNİLMƏSİ (TURİSTİK MÜƏSSİSƏLƏR TİMSALINDA)	101
<i>ÜLVİ ƏDİLOV ELÇİN</i>	
<i>ƏSƏDOVA C.Ə.</i>	
İNFORMASIYA MÜDAFİƏSİ TEXNOLOGİYASI	105
<i>VÜSAL İXTIYAR OĞLU MƏMMƏDOV</i>	
<i>QOŞQAR SEYFULLA OĞLU ƏLİYEV</i>	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУШНО-ИСПАРИТЕЛЬНО-ВОДЯНОГО ОТВОДА ТЕПЛА КОНДЕНСАЦИИ ДЛЯ ХОЛОДИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ	114
<i>АКИМХАНОВА АЙГЕРИМ АНАРБЕКОВНА</i>	
A DUAL-HEAD GATED MULTI-TASK AND UNCERTAINTY-AWARE DEEP LEARNING FRAMEWORK FOR INTRUSION DETECTION IN INTERNET OF THINGS ENVIRONMENTS	119
<i>BAUYRZHAN OMAROV</i>	

Economic Sciences

ӘЛЕУМЕТТІК КӘСІПКЕРЛІКТЕГІ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ӘДІСТЕР: ОТАНДЫҚ ЖӘНЕ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТӘЖІРИБЕГЕ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ	133
<i>КОЖАБАТЧИНА ГУЛЬНУР МАРАТҚЫЗЫ</i>	
ЦИФРЛАНДЫРУДЫҢ КӨЛІК ЛОГИСТИКАСЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН ДАМУҒА ӘСЕРІ	137
<i>ТАТТЫМБЕТОВА ҚУАНЫШ ТАНАТАРОВНА</i> <i>РАЙХАНОВА ГУЛЬНУР АМАНГЕЛЬДИЕВНА</i>	
ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕТА РАСХОДОВ СУБЪЕКТА ПО ЦЕНТРАМ ОТВЕТСТВЕННОСТИ	141
<i>МАЛЬЦЕВА ЕКАТЕРИНА МАКСИМОВНА</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИКТ ПРЕДПРИЯТИЯМИ АЗЕРБАЙДЖАНА	145
<i>АЛЛАХВЕРДИЕВА ЛЕЙЛИ АЛИ КЫЗЫ</i>	
ДҮНИЕ ЖҮЗІНДЕГІ ЕҢ ІРІ АҚШАЛАЙ ЕСЕП АЙЫРЫСУ ЖҮЙЕЛЕРІ	151
<i>КУМАРХАНОВА НУРГУЛЬ НУРМЫШОВНА</i> <i>ДЖАКСЫЛЫКОВА АҚМАРАЛ ҚУАНДЫҚҚЫЗЫ</i>	
ACCOUNTING FOR FOREIGN EXCHANGE DIFFERENCES	155
<i>KUMARKHANOVA NURGUL</i>	
ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТІ ЭКОНОМИКАДА ҚОЛДАНУ ТЕОРИЯЛАРЫ	159
<i>РАЙХАНОВА Г.А.</i>	
МЕМЛЕКЕТТІК БОРЫШТЫ БАСҚАРУДЫҢ ТИІМДІЛІК АУДИТИ: ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ЖОҒАРЫ АУДИТОРЛЫҚ ПАЛАТАСЫ ТӘЖІРИБЕСІ НЕГІЗІНДЕГІ ТАЛДАУ	165
<i>САПАРХАНОВ НҮРБОЛ ЖУМАҒАЛИУЛЫ</i>	

Physical and Mathematical Sciences

MULTIMODAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS.....	171
<i>AYGUN SULTANOVA HAJI GIZI</i>	
ОЛИМПИАДАЛЫҚ ЕСЕПТЕРДЕГІ 'ЖАСЫРЫН' ҚҰРЫЛЫМДАР: ҚЫСҚАША КӨБЕЙТУ ФОРМУЛАЛАРЫ АРҚЫЛЫ КҮРДЕЛІ АЛГЕБРАЛЫҚ ӨРНЕКТЕРДІ ТҮРЛЕНДІРУ ӘДІСТЕМЕСІ	176
<i>ЖОЛДАС Г.И.</i> <i>ЖАНУЗАКОВА Д.Т.</i>	
МЕКТЕП ФИЗИКАСЫНА ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТІНІ КІРГІЗУ	185
<i>РАХЫМБЕКОВ АЙТБАЙ ЖАПАРОВИЧ</i> <i>ҚАЗАХБАЕВА ДАНАКУЛЬ МУКАЖАНОВНА</i> <i>СЛӘМКЕЛДІ САБИТ</i>	
БҰЛТТЫ ПЛАТФОРМАЛАРМЕН ҮЛКЕН ДЕРЕКТЕРДІ ӨНДЕУДЕГІ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ	188
<i>ШАЛҚАРҚЫЗЫ ДАМИРА</i> <i>АБДУАЛИЕВА РИМА ЕРГАЛИЕВНА</i> <i>ОРАЗМҰХАМЕТ ӘМІР ЕРЛАНҰЛЫ</i>	
ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING THE U.S. DOLLAR EXCHANGE RATE IN SOME COUNTRIES.....	192
<i>OTEGEN AYAZHAN</i> <i>ASSYLKHANOV DUMAN</i> <i>ZHUMAGULOVA AIKERIM</i> <i>BAZARBAYEVA LARISSA</i>	
БРОУНДЫҚ ҚОЗҒАЛЫС ЖӘНЕ ТЕМПЕРАТУРА АРАСЫНДАҒЫ БАЙЛАНЫС	201
<i>ТАСБЕРІК АЙКЕРІМ ЕРЛАНҚЫЗЫ</i> <i>ТАЛИПОВА АЙДАНА САМАТҚЫЗЫ</i> <i>ТИЛЛАБАЙ САҒЫНЫШ НУРМАХАНБЕТҚЫЗЫ</i> <i>НЫСАН Г.М.</i>	
ЫСТЫҚ КЛИМАТТЫҚ ЖАҒДАЙЛАРДА СУДЫҢ БУЛАНУЫН АЗАЙТУДЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРІ.....	204
<i>ЕРМЕКҚЫЗЫ ҚАЛАМҚАС</i> <i>ДӘУЛЕТХАНОВА АРУЖАН</i> <i>ЕРКЕБАЕВА УЛДАЙ</i> <i>НЫСАН Г.М.</i>	

Philological Sciences

PSYCHOLOGICAL ASPECT OF ADVERTISING AND THE USE OF MOTIVATION IN ADVERTISING	209
<i>EKATERINA TUTISANI</i>	
VERBALIZATION OF THE CONCEPT OF 'MOTHER' IN ENGLISH AND KAZAKH LANGUAGES	212
<i>SAPAROVA ALINA MELSOVNA</i> <i>UTEMISSOVA ELMIRA KLIMOVNA</i>	
COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CONCEPT OF 'MOTHER' IN ENGLISH AND KAZAKH LANGUAGES.....	215
<i>SAPAROVA ALINA MELSOVNA</i> <i>UTEMISSOVA ELMIRA KLIMOVNA</i>	
ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ХЕДЖИНГА В НАУЧНОМ ДИСКУРСЕ: КОРПУСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	220
<i>КОСКЕНОВА АЙЫМ КАЗБЕКОВНА</i>	
THE INTEGRATION OF GAMIFICATION IN ONLINE PLATFORMS FOR FOREIGN LANGUAGE EDUCATION	226
<i>AMANTAIKYZY S.</i>	

Pedagogical Sciences

БОЛАШАҚ МАТЕМАТИКА МҰҒАЛІМДЕРІН ДАЯРЛАУДА МАТЕМАТИКАНЫ ОҚЫТУДЫҢ ӘДІСТЕМЕЛІК ЖҮЙЕСІН ЖОБАЛАУДЫҢ ДИДАКТИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ	230
<i>Н.БЕГАЛЫ</i> <i>Н.АШИРБАЕВ</i>	
ФОРМИРОВАНИЕ ЭВАКУАЦИОННОГО КАРКАСА АЛМАТЫ В УСЛОВИЯХ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА	238
<i>ЖЫЛҚАМАНОВ АЙДЫН АЙБЕКҮЛЫ</i> <i>ЕСЕНОВ ХВАЙДОЛЛА ИВАНОВИЧ</i>	
ОҚУШЫЛАРДЫҢ ҚҰҚЫҚТЫҚ МӘДЕНИЕТІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДАҒЫ ТӘРБИЕ ЖҰМЫСЫНЫҢ РӨЛІ	245
<i>СУЛТАНОВ МАХМУД ВАЙСОВИЧ</i>	
ИНФОРМАТИКАНЫ ОҚЫТУДАҒЫ НЕЙРОКОМПЬЮТЕРЛІК ТЕХНОЛОГИЯЛАР: АДАПТИВТІ ВЕБ-ЖҮЙЕНІ ЖОБАЛАУ ЖӘНЕ ЕНГІЗУ	249
<i>ТӨЛЕГЕН ЕРНАЗ ЕРКЕШҮЛЫ</i>	
METHODOLOGICAL ASPECTS OF TEACHING PHYSICS USING ELECTRONIC EDUCATIONAL TOOLS.....	253
<i>ORYNBASSAR KUANYSH ORYNBASSARULY</i> <i>BOLATBEK DIAS</i> <i>SERIK AMANGELDINOVICH NURKENOV</i>	

Historical Sciences

ҚАЗАҚСТАН ТАРИХЫНДАҒЫ ӘЙЕЛДЕРДІҢ РӨЛІ: СИСТЕМАТИКАЛЫҚ ШОЛУ	260
<i>КАБДЫШЕВА ГҮЛНҮР КАМАЛҚЫЗЫ</i>	

Biological Sciences

DUCHENNE MUSCULAR DYSTROPHY: MOLECULAR MECHANISMS OF DISEASE AND GENE THERAPY STRATEGIES	264
<i>DAVID APKHAZAVA</i> <i>MAIA NOZADZE</i> <i>LEVAN GULUA</i> <i>MZIA TSIKLAURI</i> <i>MANANA MAKHARADZE</i> <i>MAIA BERODZE</i> <i>NODAR SULASHVILI</i> <i>GIORGI MARGVELANI</i> <i>TAMUNA SAMADASHVILI</i> <i>NINO MAZIASHVILI</i> <i>LOLITA SHENGELIA</i> <i>MADIHA THASNEEM</i> <i>RANIA THOWFEEQ SHAIKH</i> <i>GEORGE MAGLAKELIDZE</i> <i>ILIA ATANELISHVILI</i>	

Architecture

LANDŞAFT DİZAYNI	281
<i>BAĞIROV VAQIF RAFAIL OĞLU</i>	

Chemical Sciences

Investigation of the Inorganic Anion Complex of Amidoamine Derived from Synthetic Petroleum Acid as a Corrosion Inhibitor

V.M. Abbasov

Institute of Petrochemical Processes named after Academician Y.H. Mammadaliyev, Ministry of Science and Education, AZ 1025, 30 Khojaly Avenue, Baku

D.B. Aghamaliyeva

Institute of Petrochemical Processes named after Academician Y.H. Mammadaliyev, Ministry of Science and Education, AZ 1025, 30 Khojaly Avenue, Baku, Azerbaijan State Oil and Industry University, AZ 1010, 34 Azadlig Avenue, Baku

L.M. Afandiyeva

Institute of Petrochemical Processes named after Academician Y.H. Mammadaliyev, Ministry of Science and Education, AZ 1025, 30 Khojaly Avenue, Baku

F.A. Amirli

Azerbaijan State Oil and Industry University, AZ 1010, 34 Azadlig Avenue, Baku

F.J. Gurbanova

Institute of Petrochemical Processes named after Academician Y.H. Mammadaliyev, Ministry of Science and Education, AZ 1025, 30 Khojaly Avenue, Baku

G.R. Huseynova

Azerbaijan State Oil and Industry University, AZ 1010, 34 Azadlig Avenue, Baku

Abstract:

The study covers the synthesis of an inorganic anion-containing complex of amidoamine synthesized on the basis of the reaction of synthetic petroleum acid and diethylenetriamine in a molar ratio of 2:1, the determination of its chemical structure, and the investigation of its effect as a corrosion inhibitor on steel surfaces in a CO₂ medium. The obtained complex had an inorganic anion-containing HBr complex composition at a ratio of 1:3. The composition and structure of the synthesized complex were analyzed by infrared spectroscopy and nuclear magnetic resonance spectroscopy methods.

The effect of the inhibitor solution on the corrosion process of a C1018 steel electrode was investigated in CO₂-saturated seawater. For this purpose, potentiodynamic polarization measurements were carried out using the CORRTEST CS Studio 6 system at 50°C for 3 hours. It was determined that the inhibitor showed a protective effect at concentrations of 100, 200, and 300 ppm and effectively weakened the corrosion process.

The protection efficiency of a 20% solution of the complex in isopropyl alcohol was 91% at 100 ppm, 93% at 200 ppm, and 97% at 300 ppm. Based on the results of the potentiodynamic

polarization analyses, it was established that the investigated inhibitor has high efficiency as a mixed-type corrosion inhibitor for C1018 steel in CO₂-saturated seawater.

Introduction

Oxygen-containing compounds obtained during the processing of various petroleum fractions occupy an important place among the main products manufactured in the petrochemical industry. Among these compounds, naturally occurring petroleum acids are distinguished by their wide areas of application and are used in many technological processes.

Corrosion of metal structures and technological equipment causes serious economic losses in almost all branches of industry. In particular, corrosion occurring in equipment used in the oil and gas sector results in larger-scale damage [1]. This situation is closely related to the operation of such equipment in working environments containing highly aggressive components.

As a result of the influence of corrosion processes, unplanned shutdowns are also observed in enterprises operating in this field, which leads to disruption of the production process and an increase in overall economic damage [2;3].

It should be noted that manufacturing equipment only from corrosion-resistant materials does not fully ensure their long-term operation and reliability. For this reason, the application of additional methods for corrosion protection is considered necessary.

One of the widely used approaches in the fight against corrosion is the application of inhibitor substances to reduce the aggressiveness of the medium and protect metal surfaces [4;5].

Keywords: synthetic petroleum acid; diethylenetriamine; amidoamine; nuclear magnetic resonance; corrosion; inhibitor

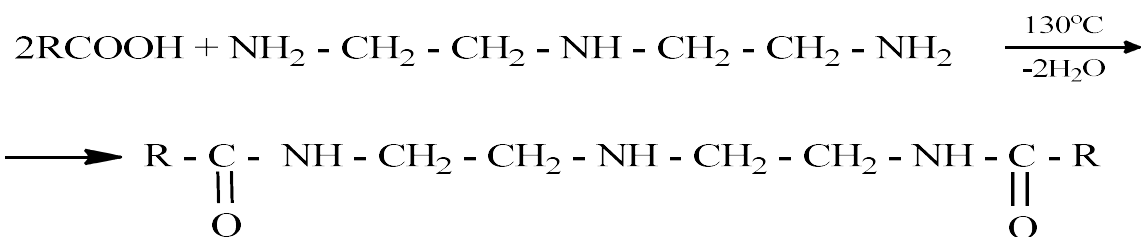
Experimental Part:

The synthesis of the substances was carried out according to an established methodology. As the initial raw material, synthetic petroleum acid obtained by oxidation of the middle fraction boiling in the temperature range of 250–350°C from a mixture of Azerbaijani oils was used as the acid component. Diethylenetriamine was used as the amine component.

The process of obtaining amidoamines from synthetic petroleum acids was carried out in the following sequence. A calculated amount of synthetic petroleum acid was introduced into a reaction flask equipped with a stirrer, thermometer, heater, and separating funnel, and it was heated with stirring to the temperature range of 80–100°C. Under the indicated temperature conditions, diethylenetriamine was gradually added to the acidic medium.

Then, in order to complete the amide formation reaction, the temperature was raised to 130°C, and the process was continued at this temperature for 3–3.5 hours with intensive stirring. After the reaction time was completed, heating was stopped, but stirring was continued until the temperature decreased to 50–60°C. At the final stage, the synthesized product was removed from the flask and stored in a dark glass container.

The scheme for obtaining amidoamine based on synthetic petroleum acid and diethylenetriamine in a molar ratio of 2:1 is presented in Scheme 1.



Scheme

1. (2.

The structure of the amidoamine synthesized from synthetic petroleum acid (SPA) and diethylenetriamine (DETA) in a molar ratio of 2:1 was investigated by nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy. The obtained NMR spectrum exhibited the following characteristic signals: 0.89 t (3H, CH₃); 1.12–1.30 m (nH, nCH₂); 2.09–2.89 m (1H, CH–CH₂); 3.27–3.58 m (8H, 4CH₂N); and 7.8 t (1H, NHCO).

The observed signals are consistent with the proposed amidoamine structure of the synthesized compound and confirm the successful completion of the reaction.

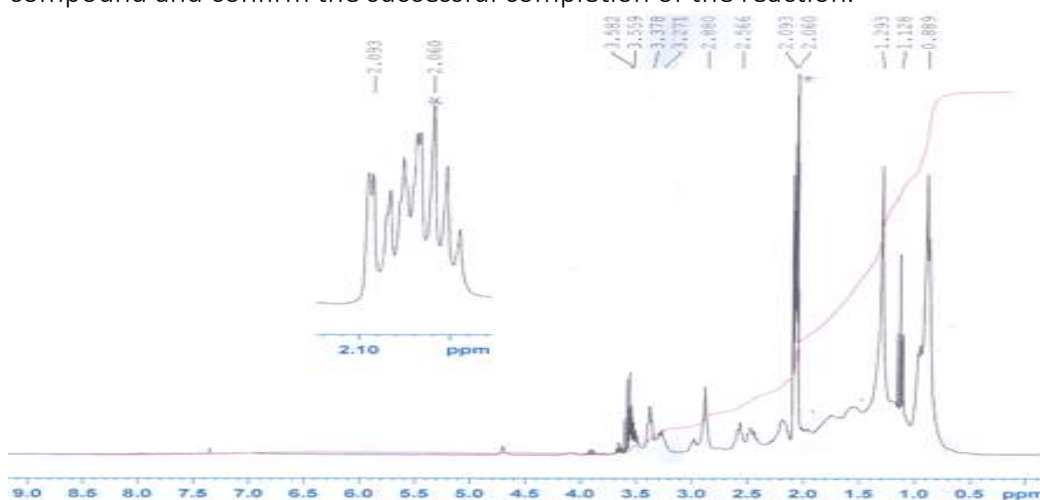


Fig. 1. The graphical representation of the NMR spectrum of the amidoamine synthesized from synthetic petroleum acid (SPA) and diethylenetriamine (DETA) in a molar ratio of 2:1 is presented. The presence of signals characteristic of amidoamines in the NMR spectrum of the sample confirms that the reaction proceeded successfully and that the corresponding product was obtained.

Spectral analysis methods were used to determine the structural features of the synthesized compounds. For this purpose, infrared (IR) spectroscopy was applied.

The IR spectra were recorded in the wavenumber range of 400–4000 cm⁻¹ using a BRUKER spectrophotometer.

In the IR spectrum of the amidoamine obtained from SPA and DETA in a molar ratio of 2:1, the following characteristic absorption bands were observed:

The stretching vibration of the C–N bond was recorded at 1129 and 1161 cm⁻¹.

The stretching vibration of the C–N bond of the corresponding functional group was observed at 1305 cm⁻¹.

The deformation vibration of the N–H bond of the –NH group appeared at 1545 cm⁻¹.

The C–N bond of the corresponding group was observed at 1642 cm⁻¹.

The deformation and stretching vibrations of the C–H bonds of the CH₃ and CH₂ groups were detected at 1376, 1396, 1455, 2855, 2922, and 2950 cm⁻¹.

The N–H bond of the corresponding group was observed at 3077 and 3920 cm⁻¹.

Table. Electrochemical parameters of the corrosion inhibition effect of a 20% solution of SDABC in a 50% water–IPA mixture

Name of the compound	Concentration, ppm	E _{cor} , mV	I _{cor} , A/cm ²	Corrosion rate, mm/year	Protection efficiency, %
20% solution of SDABC in a 50% water–IPA mixture.	Without inhibitor.	-758	2.17 x 10 ⁻⁴	2.5518	-
	100	-726	1.89 x 10 ⁻⁵	0.22239	91%
	200	-741	1.53x 10 ⁻⁵	0.18031	93%
	300	-738	6.56 x 10 ⁻⁶	0.077043	97%

The analysis of the table shows that the corrosion rate in the uninhibited medium was 2.5518 mm/year. The 20% solution of SDABC in a 50% water–IPA mixture demonstrated high inhibitory efficiency.

When the complex was used at a concentration of 100 ppm, the corrosion rate decreased from 2.5518 mm/year to 0.22239 mm/year, and the protection efficiency reached 91%. At a concentration of 200 ppm, the corrosion rate decreased from 2.5518 mm/year to 0.18031 mm/year, corresponding to a protection efficiency of 93%. When the concentration of the complex was increased to 300 ppm, the corrosion rate was reduced from 2.5518 mm/year to 0.077043 mm/year, and the protection efficiency reached 97%.

Potentiodynamic polarization curves were recorded by an electrochemical method using a CORRTTEST CS Studio7 Version 1.0 potentiometer. The measurements were performed to determine the dependence of potential on applied voltage. The polarization curves were recorded in the potential range from –10 V to +10 V relative to the corrosion potential, E_{corr}, at a constant scan rate of 0.5 mV/s.

Potentiodynamic polarization curves for C1018 steel in carbon dioxide-saturated seawater were obtained both in the absence and in the presence of the inhibitor at different concentrations [6;7].

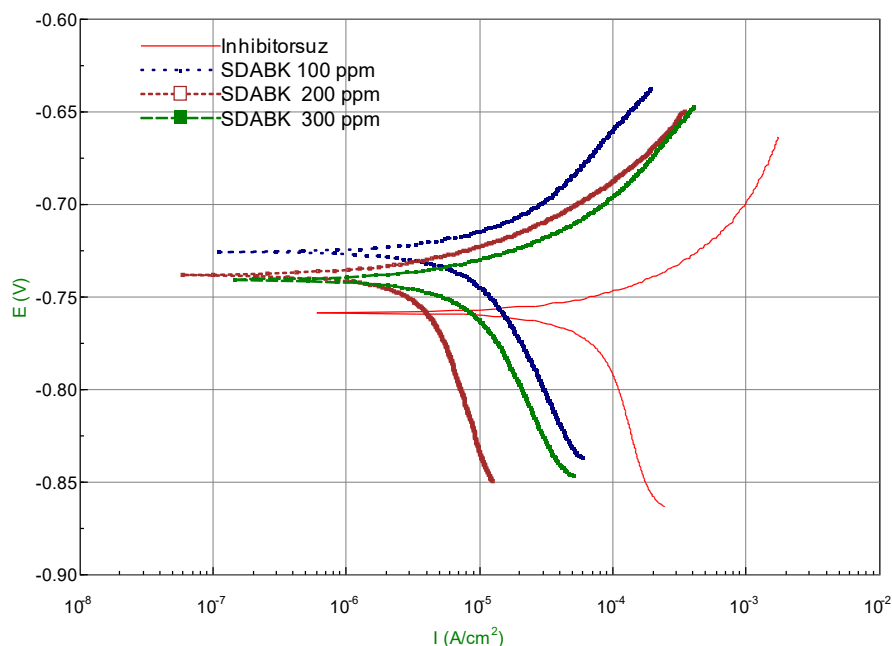


Figure 3. Graphical representation of the polarization curves of the 20% solution of SDABC in a 50% water-IPA mixture at different concentrations.

The analysis of the potentiodynamic polarization curves shows that the addition of the inhibitor to the electrolyte medium at concentrations of 100, 200, and 300 ppm leads to a significant slowing of the kinetics of both anodic and cathodic reactions. This effect is observed through the decrease in current density in the corresponding anodic and cathodic regions of the polarization curves. Compared with the uninhibited system, the shift of the corrosion potential in the positive direction confirms a decrease in the intensity of the corrosion process under the effect of the inhibitor.

Thus, based on the results of the potentiodynamic polarization analysis, it was established that the investigated inhibitor possesses high efficiency as a mixed-type corrosion inhibitor for C1018 steel in CO₂-saturated seawater.

References

1. Abd El-Latif, H.M. Synthesis and investigation of corrosion inhibitors based on some vegetable oils for protection against CO₂ corrosion: PhD dissertation in Chemistry. Baku, 2013, 200 p.
2. Jevremović M, Singer S, Nešić V. Mišković. Electrochemistry of carbon dioxide corrosion mitigation using tall oil diethylenetriamine imidazoline as corrosion inhibitor for mild steel // *Materials and Corrosion*. 2016,v.67, No.8, p. 789–898
3. Аббасов В.М., Мамедова Г.Ф., Агамалиева Д.Б. и др. Влияние неорганических комплексов имидазолинов некоторых органических кислот на рост сульфатовосстанавливающих бактерий. // *Практика противокоррозионной защиты*. 2009, №1 (51), с.31-40
4. Макарова Л.Л., Вахрушева О.О., Борисов Д.Н. Изучение защитного действия ингибиторов коррозии пик в различных средах для целей нефтедобывающей промышленности // *Вестник удмуртского университета*. 2008, №2, с.19-26
5. Aydinsoy, E. A., Aghamaliyev, Z. Z., Aghamaliyeva, D. B., & Abbasov, V. B. (2024). A systematic review of corrosion inhibitors in marine environments: insights from the last 5 years. *Processes of Petrochemistry and Oil Refining*, 25(3), 793-843.
6. Abbasov, V.M. (2023). *Corrosion* (2nd ed.). Baku: Elm.
7. Abbasov, V.M., Mammadbayli, E.H., Aghamaliyeva, D.B., et al. (2017). Synthesis of inorganic

complexes of amidoamine derivatives based on synthetic petroleum acids and their effect against hydrogen sulfide corrosion. *News of Azerbaijan Higher Technical Educational Institutions*, 19(3), 47–51.

Medical Sciences

From Severe Bone Defects to Functional Recovery: The Role of Patient-Specific 3D Implants in Revision Total Hip Arthroplasty

Kanatuly Arsen

Orthopedic Trauma Surgeon, HAK Medical Center, Almaty, Republic of Kazakhstan

Abstract

Revision total hip arthroplasty remains one of the most challenging procedures in modern orthopedic surgery, particularly in the presence of extensive bone defects. The study included 7 patients with acetabular defects classified as Paprosky type IIIA–IIIB[1-2]. In all cases, positive clinical outcomes were achieved, including restoration of anatomy, stable implant fixation, and improvement in functional status. The use of patient-specific implants significantly enhances the accuracy of reconstruction; however, its application is limited by high cost and restricted availability of the technology.

Keywords: revision total hip arthroplasty, hip joint, 3D implants, Paprosky classification, patient-specific implants.

Introduction. The increasing number of primary total hip arthroplasties is inevitably accompanied by a rise in revision procedures. The most challenging group of patients includes those with extensive acetabular bone defects resulting from aseptic loosening, infection, trauma, or multiple prior surgical interventions. In such cases, standard implants often fail to provide adequate stability and accurate positioning, leading to unsatisfactory outcomes, including recurrent instability and impaired joint function[3-4]. The introduction of three-dimensional (3D) modeling and additive manufacturing technologies has opened new possibilities, enabling the development of patient-specific implants that fully correspond to the individual anatomy of the patient.

Aim of the Study: To evaluate the clinical and functional effectiveness of patient-specific 3D implants in revision total hip arthroplasty in patients with severe acetabular bone defects, as well as to assess their impact on implant stability, anatomical restoration, and reduction of intraoperative risks.

Materials and Methods. The study included 7 patients who underwent revision total hip arthroplasty using patient-specific 3D implants. All patients presented with severe acetabular bone defects classified as Paprosky type IIIA–IIIB, characterized by significant bone loss and disruption of the normal anatomical structure of the hip joint.

The study had a descriptive clinical design and involved the analysis of surgical treatment outcomes, including intraoperative parameters (operation time, blood loss) and postoperative outcomes (implant stability, functional recovery, and complication rates).

Results

Stages of Patient-Specific Implant Development

The process of designing and implementing a patient-specific implant consisted of several sequential stages:

1. *CT Imaging.* Multislice computed tomography (CT) of the hip joint was performed with high resolution, allowing for detailed assessment of the extent and localization of the bone defect.
2. *3D Reconstruction of the Defect.* Based on CT data, digital reconstruction of the pelvic anatomy was carried out to create a three-dimensional model of the defect, enabling precise visualization of its spatial characteristics.
3. *Preoperative Planning.* Surgical intervention was simulated to determine the optimal implant position, fixation angles, and support points, as well as to restore the center of rotation of the hip joint.
4. *Implant Design.* The implant was designed through close collaboration between the orthopedic surgeon and an engineer using specialized software. Patient-specific anatomical features, the nature of the defect, and biomechanical load distribution were taken into account.
5. *Implant Manufacturing (3D Printing).* The implant was manufactured using additive technologies, most commonly from titanium, ensuring high precision, structural strength, and the possibility of creating a porous surface to enhance osseointegration.

Indications for Patient-Specific 3D Implants

The use of patient-specific implants was justified in the following clinical situations:

- *Extensive Bone Loss.* Significant bone deficiency in which standard implants fail to provide reliable fixation and require an individualized reconstructive approach.
- *Instability of Standard Components.* Recurrent loosening or migration of conventional implants due to insufficient bone support and mismatch with the defect anatomy.
- *Post-Traumatic Deformities.* Altered acetabular anatomy resulting from pelvic fractures or other traumatic injuries, requiring customized reconstruction.
- *Complications after Primary Arthroplasty.* Including aseptic loosening, infectious complications, malposition of components, and multiple revision surgeries.

Clinical Case Presentation

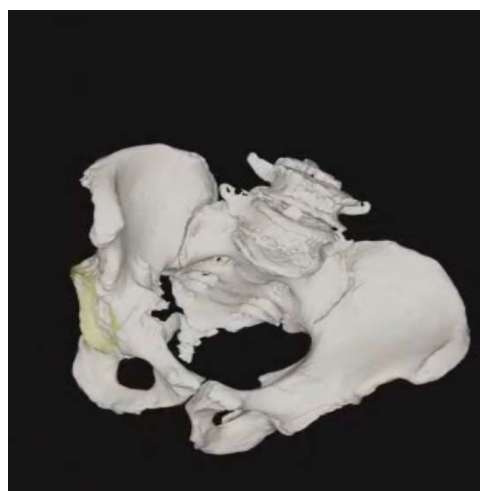


Figure 1 – Preoperative condition Figure 2 – Preoperative planning



Figure 3 – Postoperative outcome

Within the scope of this study, 7 revision surgeries using patient-specific 3D implants were performed. In all cases, positive clinical outcomes were observed, including restoration of hip joint anatomy, stable implant fixation, and improvement in patients' functional status. It should be noted that postoperative complications occurred in one clinical case, which was associated with the presence of significant comorbidities in the patient. The patient had been fully informed about the potential risks and provided informed consent prior to the surgical intervention. Overall, the obtained results confirm the effectiveness and promising potential of patient-specific 3D implants in complex cases of revision total hip arthroplasty.

Positive clinical and functional outcomes were achieved in all cases:

- restoration of hip joint anatomy
- achievement of stable primary implant fixation
- restoration of the center of rotation
- improvement in weight-bearing capacity of the limb
- reduction in pain severity

Additionally, the following improvements were observed:

- reduction in operative time due to thorough preoperative planning
- decreased intraoperative blood loss
- reduced need for intraoperative implant modification

In one clinical case, a postoperative complication occurred, which was associated with significant comorbidities in the patient. Importantly, this complication was not directly related to the implant design or surgical technique.

Functional outcomes in the postoperative period demonstrated positive dynamics, including increased range of motion and improved quality of life.

Discussion. The findings of the present study confirm the high clinical effectiveness of patient-specific 3D implants in revision total hip arthroplasty in patients with severe acetabular bone defects.

One of the key challenges in revision surgery is significant bone loss, particularly in Paprosky type IIIA–IIIB defects, where standard implants often fail to provide reliable primary fixation. In such cases, conventional reconstruction methods are associated with a high risk of instability, component migration, and the need for repeated surgical interventions. The use of patient-specific 3D implants helps overcome these limitations by ensuring precise conformity between the implant geometry and the defect anatomy.

A major advantage of patient-specific constructs is the ability to restore the center of rotation of the hip joint, which is essential for normalizing joint biomechanics and load distribution.

Restoration of anatomical parameters contributes to improved functional outcomes, reduced pain, and enhanced quality of life.

Furthermore, the use of 3D technologies enables highly accurate preoperative planning. Digital modeling allows surgeons to determine the optimal implant position, fixation angles, and support points in advance, significantly reducing intraoperative technical challenges. This, in turn, leads to shorter surgical time and reduced intraoperative blood loss, as observed in the present study.

It should also be emphasized that additive manufacturing (3D printing) enables the production of implants with porous structures that promote osseointegration and enhance secondary fixation. This is particularly important in the context of bone deficiency, where implant stability is a key determinant of long-term success.

The results of this study are consistent with contemporary international research, which also highlights the effectiveness of patient-specific implants in complex revision procedures. The literature emphasizes that personalized designs improve positioning accuracy, reduce complication rates, and enhance functional outcomes compared to standard solutions.

However, despite their clear advantages, patient-specific 3D implants have several limitations. These include high production costs, long manufacturing times, and limited availability in certain healthcare settings. Additionally, the success of this approach largely depends on the quality of preoperative planning and the level of collaboration between the surgeon and the engineer, requiring a high level of expertise.

It should also be noted that the present study is limited by a small sample size, which restricts the ability to perform robust statistical analysis. The absence of a control group using standard implants further limits direct comparative evaluation.

Conclusion. Patient-specific 3D implants represent an effective solution for managing severe bone defects in revision total hip arthroplasty, where standard constructs fail to provide sufficient stability. Their use allows for restoration of the center of rotation, precise implant positioning, and improved stability of the prosthesis.

Based on our clinical experience (7 cases), the use of patient-specific implants is associated with improved functional outcomes and reduced technical complexity during surgery. The application of 3D technologies contributes to shorter operative time and decreased blood loss compared to conventional approaches.

Despite their high effectiveness, widespread implementation is limited by cost and availability. Nevertheless, patient-specific implants represent a promising direction in the development of revision hip arthroplasty and warrant further integration into clinical practice.

References.

1. Koerling AL, Singh Grewal U, Stott P. A systematic review of custom 3D-printed acetabular components in revision arthroplasty for the management of extensive acetabular defects. *J Clin Orthop Trauma*. 2024 Dec 30;62:102869. doi: 10.1016/j.jcot.2024.102869. PMID: 39917720; PMCID: PMC11795078.
2. Di Laura A, Henckel J, Hart A. Custom 3D-Printed Implants for Acetabular Reconstruction: Intermediate-Term Functional and Radiographic Results. *JB JS Open Access*. 2023 May 15;8(2):e22.00120. doi: 10.2106/JBJS.OA.22.00120. PMID: 37197697; PMCID: PMC10184995.
3. St John R, Spicer S, Hadaya M, Brancaccio H, Park S, McMillan S. Comparing functional outcomes between 3D printed acetabular cups and traditional prosthetic implants in hip arthroplasty: a systematic review and meta analysis. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2024 Dec 27;145(1):99. doi: 10.1007/s00402-024-05650-6. PMID: 39729115; PMCID: PMC11680659.
4. Fang S, Wang Y, Xu P, Zhu J, Liu J, Li H, Sun X. Three-dimensional-printed titanium implants for severe acetabular bone defects in revision hip arthroplasty: short- and mid-term results. *Int*

Orthop. 2022 Jun;46(6):1289-1297. doi: 10.1007/s00264-022-05390-5. Epub 2022 Apr 6. PMID: 35384469.

МЕДИКО-СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ИНВАЛИДНОСТИ ВСЛЕДСТВИЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ ОРГАНА ЗРЕНИЯ

Садыкова Алтынай

Врач-офтальмолог, Казахстан., Алматы

Аннотация

Инвалидность вследствие заболеваний органа зрения остается одной из наиболее значимых медико-социальных проблем современного здравоохранения, оказывающей существенное влияние на качество жизни населения, показатели трудоспособности и социально-экономическое развитие общества. Нарушения зрения сопровождаются ограничением жизнедеятельности человека, снижением уровня социальной адаптации, ухудшением психоэмоционального состояния и повышением потребности в медицинской и социальной помощи. Несмотря на достижения современной офтальмологии, внедрение высокотехнологичных методов диагностики и лечения, а также развитие программ профилактики слепоты и слабовидения, распространенность инвалидности по зрению сохраняет устойчиво высокий уровень во многих странах мира.

В статье проведен анализ современных медико-социальных аспектов инвалидности вследствие заболеваний органа зрения, рассмотрены основные причины формирования инвалидности, факторы риска, особенности организации офтальмологической помощи, а также социальные, психологические и экономические последствия нарушения зрения. Особое внимание уделено вопросам доступности специализированной медицинской помощи, проблемам реабилитации пациентов и перспективным направлениям совершенствования системы профилактики инвалидности[1,2]

Проведенный анализ показывает, что наиболее частыми причинами инвалидности являются глаукома, возрастная макулярная дегенерация, диабетическая ретинопатия, катаракта и дегенеративные заболевания сетчатки. Установлено, что поздняя диагностика заболеваний, недостаточная медицинская грамотность населения, ограниченная доступность специализированной помощи и недостаточная эффективность реабилитационных мероприятий оказывают существенное влияние на формирование стойких нарушений зрения. Совершенствование организации офтальмологической помощи, внедрение современных цифровых технологий и развитие комплексной медико-социальной реабилитации являются важными направлениями снижения уровня инвалидности и повышения качества жизни пациентов.

Ключевые слова: заболевания органа зрения, инвалидность по зрению, слепота, слабовидение, глаукома, диабетическая ретинопатия, офтальмологическая помощь, медико-социальная реабилитация, качество жизни, общественное здравоохранение.

Введение

На современном этапе развития здравоохранения проблема сохранения зрения приобретает особую актуальность в связи с увеличением продолжительности жизни населения, ростом распространенности хронических неинфекционных заболеваний и возрастающей нагрузкой на зрительный анализатор. Зрение является одним из важнейших органов чувств человека и обеспечивает получение основной части информации об окружающем мире. Благодаря зрению человек способен ориентироваться в пространстве,

осуществлять трудовую деятельность, получать образование, поддерживать социальные контакты и сохранять независимость в повседневной жизни[3-5].

По данным Всемирной организации здравоохранения, нарушения зрения относятся к числу наиболее распространенных причин ограничения жизнедеятельности населения. Миллионы людей во всем мире страдают различными формами слабовидения и слепоты, причем значительная часть случаев связана с хроническими заболеваниями органа зрения, которые могут приводить к необратимому снижению зрительных функций. Особую обеспокоенность вызывает тот факт, что многие офтальмологические заболевания длительное время протекают бессимптомно и выявляются только на поздних стадиях, когда возможности восстановления зрения существенно ограничены.

Согласно современным представлениям, инвалидность вследствие заболеваний органа зрения представляет собой не только медицинскую, но и комплексную социальную проблему. Потеря зрения оказывает выраженное влияние на физическое состояние человека, его психологическое благополучие, социальную активность и экономическую независимость. Нарушение зрительных функций сопровождается ограничением способности к самообслуживанию, снижением профессиональной активности, трудностями социальной адаптации и повышением риска развития психоэмоциональных расстройств.

В структуре причин инвалидности по зрению ведущие позиции занимают глаукома, диабетическая ретинопатия, возрастная макулярная дегенерация, катаракта, заболевания сетчатки и зрительного нерва. Существенное влияние оказывают также травматические повреждения глаз и врожденные аномалии развития органа зрения. Распространенность данных заболеваний увеличивается по мере старения населения, что делает проблему инвалидности по зрению одной из наиболее актуальных задач общественного здравоохранения.

Для Республики Казахстан вопросы профилактики инвалидности вследствие заболеваний органа зрения также имеют высокую социальную значимость. В последние годы наблюдается рост числа пациентов с хроническими офтальмологическими заболеваниями, что обусловлено демографическими изменениями, увеличением распространенности сахарного диабета, сердечно-сосудистых заболеваний и других факторов риска. Несмотря на развитие офтальмологической службы и внедрение современных методов лечения, сохраняются проблемы, связанные с доступностью специализированной помощи, ранней диагностикой заболеваний и организацией реабилитационных мероприятий.

Современная концепция охраны зрения основывается на принципах раннего выявления заболеваний, своевременного лечения, междисциплинарного взаимодействия и комплексной медико-социальной реабилитации. Особое значение приобретает интеграция офтальмологической помощи с системой первичной медико-санитарной помощи, что позволяет повысить эффективность профилактических мероприятий и обеспечить своевременное направление пациентов к профильным специалистам.

Цель исследования

Провести комплексный анализ медико-социальных аспектов инвалидности вследствие заболеваний органа зрения, определить основные причины формирования инвалидности, оценить влияние нарушений зрения на качество жизни пациентов и обосновать направления совершенствования организации медицинской помощи и медико-социальной реабилитации.

Результаты и обсуждение

Проведенный анализ современных научных публикаций и данных международных организаций показал, что инвалидность вследствие заболеваний органа зрения остается одной из наиболее значимых медико-социальных проблем современного здравоохранения.

Несмотря на существенный прогресс в области диагностики и лечения офтальмологических заболеваний, распространенность нарушений зрения продолжает сохраняться на высоком уровне и оказывает значительное влияние на показатели общественного здоровья, качество жизни населения и социально-экономическое развитие общества.

Установлено, что в структуре причин инвалидности по зрению ведущие позиции занимают глаукома, диабетическая ретинопатия, возрастная макулярная дегенерация, осложненная миопия высокой степени, катаракта, заболевания зрительного нерва и дегенеративные поражения сетчатки. Особенностью данных заболеваний является хроническое прогрессирующее течение, которое при отсутствии своевременной диагностики и лечения приводит к необратимому снижению зрительных функций и развитию стойкой инвалидности[6-7].

Особое место среди причин инвалидизации занимает глаукома. Данное заболевание характеризуется постепенным поражением зрительного нерва и необратимой потерей зрительных функций. Основная проблема заключается в том, что на ранних стадиях заболевание часто протекает бессимптомно. Пациенты длительное время не предъявляют жалоб и обращаются за медицинской помощью уже при значительном сужении полей зрения и выраженном снижении зрительных функций. В результате эффективность лечения существенно снижается, а риск формирования инвалидности значительно возрастает.

В последние годы отмечается рост распространенности диабетической ретинопатии, что связано с увеличением числа пациентов, страдающих сахарным диабетом. Поражение сосудов сетчатки является одним из наиболее тяжелых осложнений диабета и может приводить к полной утрате зрения. Анализ литературных данных показывает, что значительная часть случаев слепоты у пациентов трудоспособного возраста связана именно с диабетической ретинопатией. Одной из причин неблагоприятных исходов остается недостаточная приверженность пациентов регулярным офтальмологическим обследованиям и позднее выявление патологических изменений сетчатки.

Возрастная макулярная дегенерация также занимает важное место в структуре причин инвалидности по зрению среди лиц старших возрастных групп. В связи со старением населения распространенность данной патологии ежегодно увеличивается. Заболевание сопровождается поражением центральной зоны сетчатки и приводит к выраженному снижению центрального зрения. Пациенты испытывают трудности при чтении, письме, работе с документами и выполнении повседневных действий, требующих зрительной концентрации[8-9].

Проведенный анализ свидетельствует о том, что значительное влияние на формирование инвалидности оказывают организационные факторы. В ряде регионов сохраняется недостаточная обеспеченность офтальмологическими кадрами и специализированным оборудованием. Современные диагностические технологии и высокотехнологичные методы лечения преимущественно сосредоточены в крупных городах и специализированных центрах. Жители сельских и отдаленных населенных пунктов зачастую сталкиваются с ограниченной доступностью офтальмологической помощи, что приводит к позднему выявлению заболеваний и ухудшению прогноза.

Одной из актуальных проблем остается недостаточная интеграция офтальмологической помощи с системой первичной медико-санитарной помощи. Во многих случаях раннее выявление заболеваний глаз зависит от активности врачей общей практики и своевременного направления пациентов на консультацию к офтальмологу. Однако существующая система не всегда обеспечивает эффективное взаимодействие между различными уровнями медицинской помощи. Это приводит к диагностическим задержкам и снижению эффективности профилактических мероприятий.

Существенное влияние на уровень инвалидности оказывают социально-экономические факторы. Низкий уровень информированности населения о заболеваниях глаз, отсутствие регулярных профилактических осмотров, недостаточная медицинская грамотность и позднее обращение за медицинской помощью значительно увеличивают риск развития тяжелых осложнений. Для социально уязвимых групп населения дополнительными барьерами становятся финансовые трудности, ограниченный доступ к специализированным медицинским услугам и необходимость самостоятельного приобретения отдельных лекарственных препаратов и средств коррекции зрения.

Анализ показал, что инвалидность вследствие заболеваний органа зрения сопровождается выраженными психологическими последствиями. Потеря зрения является серьезным стрессовым фактором, который существенно изменяет привычный образ жизни человека. Среди пациентов с тяжелыми нарушениями зрения значительно чаще выявляются депрессивные состояния, тревожные расстройства, эмоциональная нестабильность и снижение самооценки. Многие пациенты испытывают страх утраты самостоятельности и зависимости от окружающих. Особенно выраженные психологические проблемы наблюдаются у лиц трудоспособного возраста, для которых нарушение зрения сопровождается ограничением профессиональной деятельности и снижением социальной активности.

Нарушение зрительных функций оказывает значительное влияние на качество жизни пациентов. Установлено, что лица с инвалидностью по зрению имеют более низкие показатели физического, психологического и социального благополучия по сравнению с общей популяцией. Ограничение мобильности, сложности самостоятельного передвижения, снижение способности к самообслуживанию и необходимость постоянной посторонней помощи негативно отражаются на уровне удовлетворенности жизнью и социальной адаптации пациентов.

Социальные последствия инвалидности по зрению имеют комплексный характер. Потеря зрения существенно ограничивает возможности получения образования, трудоустройства и профессиональной самореализации. Многие пациенты сталкиваются с трудностями поиска работы и ограниченными возможностями карьерного роста. Это приводит к снижению уровня доходов, повышению зависимости от социальной поддержки и ухудшению материального положения семей.

Особую значимость приобретает проблема социальной изоляции лиц с нарушениями зрения. Ограничение мобильности и недостаточная адаптация городской инфраструктуры затрудняют участие пациентов в общественной жизни. Несмотря на развитие инклюзивных программ, многие пациенты продолжают сталкиваться с архитектурными, информационными и социальными барьерами, препятствующими их полноценной интеграции в общество[10].

Важным направлением совершенствования системы помощи является развитие комплексной медико-социальной реабилитации. Современная реабилитация должна включать не только медицинские мероприятия, направленные на сохранение остаточного зрения, но и психологическую поддержку, социальную адаптацию, профессиональную реабилитацию и использование современных технических средств. Применение электронных увеличителей, программ экранного доступа, голосовых помощников и других цифровых технологий позволяет значительно повысить уровень самостоятельности пациентов и улучшить качество их жизни.

В последние годы особое внимание уделяется внедрению цифровых технологий и искусственного интеллекта в офтальмологическую практику. Использование автоматизированного анализа изображений глазного дна, систем дистанционного мониторинга и телемедицинских консультаций позволяет повысить эффективность раннего

выявления заболеваний и обеспечить более широкий охват населения профилактическими обследованиями. Особенно перспективным направлением является использование технологий искусственного интеллекта для диагностики диабетической ретинопатии, глаукомы и возрастной макулярной дегенерации.

Результаты проведенного анализа свидетельствуют о том, что инвалидность вследствие заболеваний органа зрения представляет собой комплексную медицинскую, социальную и экономическую проблему. Эффективное снижение уровня инвалидности возможно только при условии реализации междисциплинарного подхода, включающего совершенствование профилактических программ, развитие ранней диагностики, повышение доступности специализированной офтальмологической помощи и внедрение современных технологий медицинской и социальной реабилитации.

Список литературы

1. Bourne RRA, Flaxman SR, Braithwaite T, Cicinelli MV, Das A, Jonas JB, et al. Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment. *Lancet Glob Health*. 2021;9(2)–e143.
2. Burton MJ, Ramke J, Marques AP, Bourne RRA, Congdon N, Jones I, et al. The Lancet Global Health Commission on Global Eye Health: vision beyond 2020. *Lancet Glob Health*. 2021;9(4)–e551.
3. Steinmetz JD, Bourne RRA, Briant PS, Flaxman SR, Taylor HR, Jonas JB, et al. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years. *Lancet Glob Health*. 2021;9(2)–e160.
4. World Health Organization. *World report on vision*. Geneva: WHO; 2019.
5. Jonas JB, Aung T, Bourne RR, Bron AM, Ritch R, Panda-Jonas S. Glaucoma. *Lancet*. 2017;390(10108):2183–2193.
6. Teo ZL, Tham YC, Yu M, Chee ML, Rim TH, Cheung N, et al. Global prevalence of diabetic retinopathy and projection of burden through 2045. *Ophthalmology*. 2021;128(11):1580–1591.
7. Wong WL, Su X, Li X, Cheung CMG, Klein R, Cheng CY, et al. Global prevalence of age-related macular degeneration and disease burden projection. *Lancet Glob Health*. 2014;2(2)–e116.
8. Lim LS, Mitchell P, Seddon JM, Holz FG, Wong TY. Age-related macular degeneration. *Lancet*. 2012;379(9827):1728–1738.
9. Pascolini D, Mariotti SP. Global estimates of visual impairment. *Br J Ophthalmol*. 2012;96(5):614–618.
10. GBD 2021 Blindness and Vision Impairment Collaborators. Global burden of blindness and vision impairment 1990–2021. *Lancet Public Health*. 2024;9(2)–e118.

Technical Sciences

INFORMATION PROCESSING AND OPTIMIZATION OF MACHINE LEARNING FRAMEWORKS IN CRITICAL INFRASTRUCTURES

Ilgar Nasirov

Master's student in Cybersecurity, Azerbaijan State University of Economics (UNEC),
Baku, Azerbaijan

ABSTRACT

The accelerating deployment of machine learning (ML) frameworks across critical infrastructures - including energy grids, water distribution systems, transportation networks, and financial systems - is reshaping how societies manage complex, high-stakes operational environments. By enabling real-time anomaly detection, predictive maintenance, adaptive control, and intelligent resource allocation, ML technologies offer transformative improvements in operational resilience, efficiency, and threat response. This article provides a comprehensive analysis of how information processing pipelines and ML framework optimization are applied to critical infrastructure domains, examining the principal technologies involved - including federated learning, edge inference, adversarial robustness, and explainable AI - alongside their operational applications, demonstrated effectiveness, and the challenges that persist.

The study also addresses the security and reliability considerations inherent in deploying ML systems within environments where failures carry systemic societal consequences, including adversarial attacks on model inputs, distribution shift, and single-point computational failures. A comparative analysis of ML application domains is presented, evaluating performance levels and deployment barriers across sectors. The findings indicate that while ML holds extraordinary potential to reduce infrastructure downtime, anticipate cascading failures, and optimize cross-system resource flows, its sustainable integration requires hardened data pipelines, sector-specific validation protocols, and robust governance frameworks that balance operational agility with systemic security.

Keywords: *Machine Learning in Critical Infrastructure, Information Processing, Federated Learning, Edge AI, Anomaly Detection, Adversarial Robustness, Predictive Maintenance, Explainable AI*

INTRODUCTION

The integration of machine learning frameworks into critical infrastructure represents one of the most consequential technological transitions of the current decade. Critical infrastructures - defined by their essential role in national security, public health, economic stability, and social functioning - have historically relied on deterministic control systems, rule-based automation, and human expert oversight. While these approaches have provided decades of reliable operation, they are increasingly insufficient in the face of growing system complexity, expanding threat surfaces, and the exponential growth in operational data that modern sensor networks and digital control systems generate. Machine learning offers a fundamentally different paradigm: the

capacity to learn decision rules directly from operational data, identify non-obvious patterns of failure or inefficiency, and adapt to dynamic environmental conditions in near real time.

According to recent estimates, the global market for AI and ML in critical infrastructure management exceeded USD 12 billion in 2023 and is projected to surpass USD 90 billion by 2031, driven by increasing digitization of operational technology (OT) environments, the proliferation of Internet of Things (IoT) sensor networks, and the urgent need to address aging physical infrastructure through data-driven predictive maintenance strategies. The convergence of information technology (IT) and operational technology (OT) networks - accelerated by industrial digitalization programs in energy, transport, and water sectors - has created both the data availability and the connectivity that ML-driven operations require, while simultaneously expanding the attack surface that adversaries may exploit.

This article aims to provide a structured and comprehensive analysis of how information processing and ML framework optimization are transforming key domains within critical infrastructure management. The study examines the principal ML technologies being deployed, surveys their most significant operational and security applications, presents a comparative analysis of their effectiveness and limitations across sectors, and considers the broader regulatory and resilience dimensions that will shape ML adoption in high-stakes infrastructure environments.

CONCEPT OF INFORMATION PROCESSING AND MACHINE LEARNING IN CRITICAL INFRASTRUCTURE

Information processing in the context of critical infrastructure refers to the end-to-end pipeline by which raw sensor data, operational telemetry, and environmental signals are collected, transmitted, stored, filtered, and transformed into decision-relevant outputs. This pipeline encompasses data acquisition from distributed physical sensors and control systems, communication over industrial networks (including SCADA and ICS architectures), preprocessing and feature engineering, model inference, and the feedback of model outputs into control or alert mechanisms. The integrity, latency, and completeness of each stage of this pipeline are preconditions for effective ML deployment; failures at any stage propagate into degraded or erroneous model behavior.

Machine learning in critical infrastructure denotes the application of statistical learning algorithms - including supervised classification and regression models, unsupervised clustering and anomaly detection, reinforcement learning for adaptive control, and deep learning architectures for spatiotemporal pattern recognition (Deng & Yu, 2014; Goodfellow et al., 2016) - to operational data generated by infrastructure systems. Unlike traditional rule-based automation, ML models derive their decision boundaries from empirical training data rather than from expert-encoded heuristics, enabling them to generalize to scenarios and failure modes not explicitly anticipated by system designers.

The intersection of advanced information processing pipelines and optimized ML frameworks creates compounding value: richer, higher-quality data enables more accurate and generalizable models, while more capable models justify greater investment in data infrastructure. Operational technology environments that successfully close this feedback loop - continuously improving data quality, model accuracy, and control responsiveness - achieve measurable gains in uptime, fault tolerance, and resource efficiency. This foundational concept provides the analytical framework against which specific infrastructure applications, their performance, and their associated risks are assessed in subsequent sections.

CHARACTERISTICS OF ML FRAMEWORKS AND CRITICAL INFRASTRUCTURE CHALLENGES

Machine learning frameworks deployed in critical infrastructure settings exhibit a distinctive combination of characteristics that determine both their operational potential and their vulnerability profile. These characteristics differ materially from those of ML systems deployed in consumer or enterprise IT contexts, where system failures are typically recoverable and consequences are bounded. Understanding these defining features is essential for designing ML deployments that are not only technically capable but operationally trustworthy.

1. Key characteristics of ML frameworks in critical infrastructure

- **Real-Time Inference Requirements**

Critical infrastructure systems frequently require sub-second decision latency. Anomaly detection in power grid frequency management, for example, must operate within milliseconds to prevent cascade failures. ML frameworks must be optimized for low-latency inference, necessitating model compression, quantization, and edge deployment architectures that reduce dependence on centralized cloud processing.

- **Resilience to Distribution Shift**

Infrastructure systems operate across highly variable environmental and load conditions. ML models trained on historical operational data may encounter inputs that diverge significantly from training distributions during extreme weather events, demand surges, or novel attack scenarios. Robust frameworks incorporate continuous monitoring for distribution shift and mechanisms for adaptive retraining or fallback to rule-based controls.

- **Multi-Source Data Fusion**

Critical infrastructure systems generate heterogeneous data streams: physical sensor readings, control system logs, external environmental data, and human operator inputs. Effective ML frameworks integrate these diverse data modalities through appropriate fusion architectures, handling differences in sampling rates, measurement units, missing values, and signal noise characteristics.

- **Safety-Critical Validation Requirements**

Unlike commercial ML applications where model updates can be deployed rapidly via continuous integration pipelines, safety-critical infrastructure applications require rigorous pre-deployment validation, including stress testing against adversarial inputs, performance evaluation across failure mode scenarios, and formal verification in high-consequence domains such as nuclear power plant control or air traffic management.

2. Main challenges in ML-driven critical infrastructure

ML systems applied to critical infrastructure face a specific set of challenges arising from the physical consequences of system failures, the adversarial threat environment, and the regulatory requirements governing infrastructure operation. The main challenge categories are presented in Table 1.

Table 1. Main threat and challenge types in ML-driven critical infrastructure

Threat Type	Affected Domain	Example Scenario	Consequence	Risk Level
Adversarial Input	Anomaly Detection	Spoofed sensor readings in power grid	Undetected fault propagation	Critical
Distribution Shift	Predictive Maintenance	Novel failure mode not in training data	Missed maintenance alert	High
Data Pipeline Failure	Real-Time Control	Sensor outage during peak load	Degraded ML performance	High
Model Poisoning	Intrusion Detection	Backdoor injected via training data	Undetected cyberattack	Critical
Explainability Gap	Operator Decision Support	Black-box alert without rationale	Operator distrust, override	Medium
IT/OT Integration Failure	All Infrastructure Domains	Latency mismatch in legacy SCADA	Delayed response to fault	High

2.1. Risk factors

- **Data integrity and adversarial vulnerability**

ML models trained on infrastructure sensor data are susceptible to adversarial manipulation: carefully crafted perturbations to sensor inputs can cause models to misclassify operational states or fail to detect anomalies. This is particularly acute in cyber-physical systems where digital control interfaces are exposed to external networks, requiring adversarial training and certified defenses as components of any production deployment.

- **Regulatory and certification barriers**

Infrastructure sectors operate under stringent regulatory frameworks - NERC CIP for electric utilities, TSA directives for pipelines, IEC 62443 for industrial control systems - that were not designed to accommodate the dynamic, data-dependent behavior of ML models. Establishing regulatory pathways for continuous ML model updates while maintaining certification validity is among the most pressing governance challenges in the field.

- **IT/OT convergence and legacy integration**

Most critical infrastructure operators manage hybrid environments where modern IT networks coexist with legacy OT systems using proprietary protocols and hardware with operational lifetimes measured in decades. Integrating ML inference pipelines into these environments without introducing new failure modes or latency that degrades control system performance requires careful architectural design and extensive testing.

- **Operational trust and human-machine teaming**

Infrastructure operators trained on deterministic control paradigms may resist ML-generated recommendations whose provenance is opaque. Explainable AI methods that surface the feature contributions underlying model outputs, combined with structured operator training programs, are prerequisites for achieving effective human-machine teaming in high-stakes operational contexts.

THE CONCEPT OF ML APPLICATIONS IN CRITICAL INFRASTRUCTURE AND THEIR ROLE

ML applications in critical infrastructure refer to the deployment of trained models and learning-enabled systems to perform tasks that support the detection, prediction, control, and optimization of physical infrastructure processes. These applications span the operational lifecycle of infrastructure systems - from design-phase simulation and digital twin construction, through real-time operational monitoring and control, to post-incident forensic analysis and long-term capacity planning.

1. The essence of ML applications in critical infrastructure

ML applications in critical infrastructure are built upon three foundational processes that extend the classical SCADA and industrial control paradigm. First, data acquisition and representation: ML systems ingest continuous streams of sensor telemetry, network traffic data, and operational logs, transforming raw time-series measurements into feature representations - including frequency-domain transforms, statistical aggregates, and graph-structured topology representations - that capture the operational state of the infrastructure system. Second, pattern recognition and state estimation: trained models identify deviations from normal operational patterns, estimate latent system states from partial observability, and generate probabilistic forecasts of future operational conditions under varying load and environmental scenarios. Third, decision support and adaptive control: model outputs are translated into operator alerts, automated control adjustments, maintenance dispatch recommendations, or resource allocation signals that close the loop between ML inference and physical infrastructure operation. This three-stage architecture is embedded within a continuous feedback loop driven by operational outcomes: observed system responses to ML-guided interventions serve as ground-truth labels for online model updating, while anomalies that evade detection inform adversarial robustness improvements. This iterative, learning character distinguishes modern ML-enabled infrastructure management from earlier expert system approaches, which required manual rule updates and could not generalize to unanticipated failure modes.

2. The role of ML applications in critical infrastructure

ML applications play several distinct and complementary roles in the critical infrastructure operational ecosystem. Each role addresses a specific limitation of conventional deterministic control and monitoring approaches and, when implemented with appropriate safety constraints, contributes to a system that is more resilient, efficient, and responsive.

- **Augmenting fault detection and isolation**

ML systems - particularly deep learning models trained on historical fault signatures - serve as continuous monitors that identify precursor patterns of equipment degradation or operational anomaly before they escalate to failure events. Studies have demonstrated ML-augmented fault detection to reduce unplanned outage events in transmission substations and water treatment facilities by identifying incipient failures weeks before conventional threshold-based alarms would trigger.

- **Enabling predictive and condition-based maintenance**

Predictive maintenance models integrate vibration, thermal, acoustic, and electrical signal data from rotating equipment, transformers, and pipeline networks to forecast remaining useful life and optimal maintenance intervals. Transition from fixed-schedule to ML-driven condition-based maintenance has been demonstrated to reduce maintenance costs by 20–30% while simultaneously decreasing the rate of unexpected failures in power generation and pipeline transport contexts.

- **Optimizing resource allocation and system efficiency**

ML-based optimization models - including reinforcement learning agents trained on grid dispatch scenarios - enable dynamic allocation of generation, transmission, and storage resources across energy networks in response to real-time demand and supply variability. Applications in

water distribution have demonstrated 10–15% reductions in pumping energy costs through ML-driven pressure management, with analogous efficiency gains reported in rail network scheduling and traffic signal optimization.

- **Supporting cyber-physical threat detection**

The convergence of IT and OT networks has exposed critical infrastructure to cyber threats that manifest as physical consequences. ML-based intrusion detection systems trained on OT network traffic and process data can identify command injection attacks, man-in-the-middle interferences, and anomalous control sequences that deviate from learned normal operational patterns, providing a critical defense layer in environments where traditional signature-based security tools have limited efficacy.

ML TECHNOLOGIES USED IN CRITICAL INFRASTRUCTURE

The ML technology landscape applied to critical infrastructure is characterized by a set of distinct algorithmic families, each suited to particular data types, latency requirements, and operational constraints. The progressive integration of these technologies - and their convergence in hybrid architectures that combine the complementary strengths of different approaches - is the primary driver of performance improvements documented across infrastructure domains.

1. Federated and Distributed Learning

Federated learning enables model training across distributed data sources - including individual substations, water treatment plants, or transport nodes - without centralizing sensitive operational data. Each node trains a local model on its own data and contributes model parameter updates to a global aggregation server, preserving data locality and reducing exposure to data exfiltration risks. This architecture is particularly valuable in critical infrastructure contexts where operational data is subject to national security classification or competitive sensitivity, and where communication bandwidth constraints limit continuous data streaming to central servers. Research has demonstrated federated learning architectures achieving performance within 3–5% of centralized training benchmarks on anomaly detection tasks across distributed power substations (McMahan et al., 2017).

2. Edge Computing and Real-Time Inference

Edge AI - the deployment of ML inference engines on hardware physically co-located with sensors and control systems - addresses the latency and connectivity constraints of critical infrastructure environments. By executing model inference locally rather than routing data to cloud processing, edge architectures achieve millisecond response times required for real-time control applications and remain operational during network partition events. Model compression techniques - including knowledge distillation, weight quantization, and neural architecture search for resource-constrained hardware - enable the deployment of capable ML models on industrial edge computing platforms with power and memory budgets far below those of cloud-grade infrastructure.

3. Anomaly Detection and Unsupervised Learning

Critical infrastructure systems generate vast operational data streams but relatively rare labeled fault events - a class imbalance that limits the applicability of supervised classification approaches. Unsupervised and semi-supervised anomaly detection methods, including autoencoders, isolation forests, and one-class support vector machines, learn representations of normal operational behavior and flag deviations as candidate anomalies without requiring labeled fault examples. These approaches have been validated in electric grid, water network, and transportation contexts for detecting both equipment degradation and cyberattack signatures (Chandola et al., 2009). Temporal anomaly detection architectures - including LSTM autoencoders and transformer-based sequence models - have demonstrated superior performance on time-series operational data with long-range temporal dependencies.

4. Reinforcement Learning for Adaptive Control

Reinforcement learning (RL) agents learn optimal control policies through simulated or real interaction with infrastructure systems, maximizing long-term operational objectives - such as grid frequency stability, network throughput, or pipeline pressure maintenance - subject to safety and capacity constraints. RL has been applied to energy dispatch optimization, adaptive traffic signal control, and autonomous water network pressure management, demonstrating performance improvements over conventional optimization-based controllers in dynamic and uncertain environments. Safe reinforcement learning methods that incorporate constraint satisfaction guarantees are an active research frontier essential for deploying RL in safety-critical infrastructure contexts where constraint violations carry physical consequences.

5. Explainable AI and Human-Machine Teaming

The deployment of ML in infrastructure operations where human operators retain override authority requires that model outputs be accompanied by human-interpretable explanations. Explainable AI (XAI) techniques - including SHAP (SHapley Additive exPlanations) value attribution, attention visualization in deep learning models, and surrogate model approximations - provide operators with insight into the features and data patterns driving ML recommendations. XAI integration has been shown to increase operator acceptance of ML-generated alerts in SCADA environments, reducing the rate of alert suppression that negates the operational value of the ML system (Molnar, 2020). Standardized XAI reporting formats tailored to infrastructure operational interfaces are increasingly required by sector regulators as a condition of ML system approval.

6. Digital Twins and Simulation-Augmented Learning

Digital twin architectures - high-fidelity simulation models of physical infrastructure systems calibrated to real operational data - provide ML frameworks with synthetic training environments in which failure modes, adversarial scenarios, and extreme operating conditions can be safely explored without risk to live infrastructure. ML models pre-trained on digital twin simulations transfer more rapidly to real operational deployment and exhibit greater robustness to rare events than models trained exclusively on historical operational data. Digital twin integration has been applied to power grid resilience planning, water network vulnerability assessment, and railway signaling system optimization, with active research into physics-informed neural network architectures that incorporate known physical laws as inductive biases in ML model design.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ML APPLICATION AREAS

The various ML application domains in critical infrastructure differ considerably in their operational maturity, demonstrated effectiveness, scalability, and the nature of the challenges they face. A comparative assessment of the principal application areas provides a foundation for understanding where ML investments are most likely to yield resilience and efficiency returns, and where further research, validation, and regulatory development are required.

1. Comparison of ML application areas in critical infrastructure

Table 2. Comparative analysis of ML application areas in critical infrastructure

ML Application Area	Effectiveness	Main Challenges	Infrastructure Domain	Maturity
Anomaly Detection / Fault Identification	High (85–98% in trials)	Labeled fault scarcity, adversarial inputs	Energy, Water, Transport	Mature
Predictive Maintenance	High (20–30% cost reduction)	Sensor coverage gaps, legacy assets	Energy, Pipeline, Rail	Mature
RL-based Adaptive Control	Medium–High	Safety constraint verification	Energy Grid, Water, Traffic	Emerging
Cybersecurity / Intrusion Detection	High (OT-specific models)	High false positive rates, evasion	All Sectors	Active Development
Federated / Edge ML	Medium (vs. centralized)	Communication overhead, heterogeneity	Distributed Infrastructure	Emerging
Digital Twin + Simulation ML	High (simulation fidelity dependent)	Sim-to-real transfer gap	Grid, Water, Nuclear	Emerging

2. Results of the analysis

As seen in Table 2, anomaly detection and predictive maintenance currently demonstrate the highest operational maturity and broadest evidence base, supported by the largest number of documented deployments and independent performance validations across energy, water, and transport sectors. Reinforcement learning for adaptive control occupies an intermediate position: technically well-validated in simulation environments, it faces persistent challenges in formal safety verification that have slowed transition to live infrastructure deployment, particularly in safety-critical applications such as nuclear plant control and railway signaling.

Cybersecurity and intrusion detection ML applications are in active development across all infrastructure sectors, driven by the urgent threat landscape but complicated by the difficulty of generating realistic training datasets for OT-specific attack scenarios without compromising live systems. Federated and edge ML architectures demonstrate performance within acceptable margins of centralized approaches while offering material advantages in data privacy and operational resilience that make them the preferred architecture for geographically distributed infrastructure operators.

Across all domains, a consistent set of cross-cutting challenges emerges: the scarcity of labeled training data for rare failure events, the absence of sector-specific regulatory frameworks for continuous ML model updates, the performance degradation risk associated with distribution shift in dynamic operational environments, and the integration complexity of deploying modern ML frameworks alongside legacy control system architectures with decades-long operational lifetimes. These systemic challenges require that ML adoption in critical infrastructure be pursued as a sociotechnical endeavor requiring sustained engagement from operations engineers, cybersecurity specialists, regulators, and policymakers, rather than as a purely algorithmic exercise.

CONCLUSION

The analysis presented in this article demonstrates that machine learning frameworks are not a peripheral or aspirational development for critical infrastructure management - they are an active, accelerating operational reality that is already reshaping fault detection, predictive maintenance, resource optimization, and cyber-physical threat defense across energy, water, transport, and financial infrastructure systems. The evidence base for ML's operational value is strongest in anomaly detection and predictive maintenance, where multiple prospective deployments and independent validations have demonstrated performance that consistently exceeds conventional threshold-based monitoring, with documented reductions in unplanned outage events and maintenance expenditure.

At the same time, the responsible integration of ML into safety-critical infrastructure environments demands sustained attention to adversarial robustness, regulatory certification, and operational trust dimensions that are not present in commercial ML deployments. The risks of adversarial input manipulation, distribution shift-induced performance degradation, and the exacerbation of systemic vulnerabilities through poorly validated ML control loops are real and must be proactively addressed through adversarial training practices, rigorous pre-deployment validation protocols, and continuous post-deployment monitoring frameworks adapted to the dynamic operational conditions of physical infrastructure systems.

Looking ahead, the maturation of federated learning architectures that preserve data locality while enabling cross-operator model improvement, the responsible scaling of reinforcement learning agents with formal safety guarantees for adaptive infrastructure control, and the continued development of digital twin platforms that close the simulation-to-reality transfer gap will be the defining developments of the next decade in this domain. As ML frameworks mature and sector-specific regulatory pathways are established, their responsible adoption - guided by the principles of adversarial robustness, operational explainability, formal safety validation, and equitable access across infrastructure operators of varying resource levels - is expected to establish a new baseline for infrastructure resilience in an era of increasing climate variability, expanding cyber threat surfaces, and growing societal dependence on interconnected physical systems.

REFERENCES

- Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2009). *Anomaly detection: A survey*. *ACM Computing Surveys*, 41(3), 1–58.
- Deng, L., & Yu, D. (2014). *Deep learning: Methods and applications*. *Foundations and Trends in Signal Processing*, 7(3–4), 197–387.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
- McMahan, H. B., Moore, E., Ramage, D., Hampson, S., & Agüera y Arcas, B. (2017). *Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data*. *Proceedings of the 20th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS)*.
- Molnar, C. (2020). *Interpretable Machine Learning: A Guide for Making Black Box Models Explainable*. Lulu Press.
- Ren, H., Xu, B., Wang, Y., Yi, C., Huang, C., Kou, X., Xing, T., Yang, M., Tong, J., & Zhang, Q. (2019). *Time-series anomaly detection service at Microsoft*. *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*, 3009–3017.
- Sagan, S. D. (1993). *The Limits of Safety: Organizations, Accidents, and Nuclear Weapons*. Princeton University Press.
- Stouffer, K., Falco, J., & Kent, K. (2011). *Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security*. NIST Special Publication 800-82, National Institute of Standards and Technology.
- Zhu, Q., & Basar, T. (2015). *Game-theoretic methods for robustness, security, and resilience of cyberphysical control systems*. *IEEE Control Systems Magazine*, 35(1), 46–65.

Şəhər gələcəyinin araşdırılması: müasir şəhərlərdə tunel və yeraltı məkanların rolu

Exploring the future of cities: the role of tunnels and underground structures in modern cities

Məmmədli İlyas Cavanşir oğlu

qr. M114a2

Rəhbər –

Ələsgərov Erkin H.

prof.

Xülasə. Şəhərlərimizin yaşanılabirliyini qorumaq və artırmaq məqsədilə həm açıq, həm də yeraltı məkanlardan istifadə getdikcə daha mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu məqalə çoxölçülü şəhərsalma və infrastruktur inkişafının zəruriliyini araşdırır, yeraltı məkanların artan əhəmiyyətini vurğulayır. Şəhər mühitində yaşayış, ofis sahələri, infrastruktur və açıq məkanlara olan tələbatın sürətlə artmasını nəzərə alaraq, müəllif həm yerüstü, həm də yeraltı resursların strateji şəkildə bölüşdürülməsinin vacibliyini qeyd edir. Yeraltı sahələrin innovativ şəkildə istifadəsinə dair beynəlxalq təcrübələr təhlil olunur və müxtəlif şəhər ehtiyaclarını qarşılamaq üçün bu məkanlardan çoxşaxəli istifadəni nümayiş etdirən layihələr təqdim edilir. Məqalə tunel və yeraltı qurğuların müasir şəhərlərin gələcəyinin formalaşmasında oynayacağı mühüm rolu izah edir və şəhərsalma prosesində bütün məkan imkanlarını nəzərə alan qabaqcıl yanaşmanın vacibliyini əsaslandırır.

Abstract. The use of both open and underground spaces is becoming increasingly important in order to maintain and enhance the liveability of our cities. This article examines the need for multidimensional urban planning and infrastructure development, highlighting the growing importance of underground spaces. Given the rapidly increasing demand for housing, office space, infrastructure and open spaces in urban environments, the author highlights the importance of strategically allocating both above-ground and underground resources. International experiences on innovative use of underground spaces are analyzed and projects are presented that demonstrate the multifaceted use of these spaces to meet various urban needs. The article explains the important role that tunnels and underground facilities will play in shaping the future of modern cities and justifies the importance of a progressive approach that takes into account all spatial possibilities in the urban planning process.

Açar sözlər. Yeraltı məkanlar, şəhərsalma, tunel, beynəlxalq təcrübə.

Keywords. Underground spaces, urban planning, tunnels, international experience.

Giriş

Şəhərlər dinamik ekosistemlərdir və məkan həm məhdud, həm də olduqca qiymətlidir. Şəhər əhalisinin sürətlə artması və yaşayış, ofis sahələri, infrastruktur və açıq məkanlara olan tələbatın yüksəlməsi ilə şəhərsalma mütəxəssisləri bu ehtiyacları məhdud yerüstü sahələr daxilində qarşılamaq kimi çətin bir vəzifə ilə üzləşirlər [1]. Bu vəziyyətə cavab olaraq yeraltı məkanların araşdırılması aktuallaşmış və məkan çatışmazlığı probleminə bir həll yolu kimi ön plana çıxmışdır. Bu məqalə şəhərsalmanın mürəkkəb strukturunu araşdıraraq, yeraltı məkanların müasir şəhərlərin gələcəyinin formalaşmasında oynadığı əsas rolu işıqlandırır [2]. Yeraltı məkanların əhəmiyyətini başa düşmək üçün ilk növbədə şəhərsalmanın çoxölçülü xarakterini qəbul etmək lazımdır [3]. Han Admiraal və Antonia Cornaro şəhər məkanlarının mürəkkəb dinamikasını geniş şəkildə tədqiq

edərək, yalnız ənənəvi yerüstü planlaşdırma ilə kifayətlənməyən, daha kompleks və bütöv yanaşmaların vacibliyini vurğulamışlar. Şəhər mühiti yalnız ikiölçülü deyil, o, yerin altında uzanan infrastruktur, kommunal sistemlər və potensial yaşayış, istirahət, sosial və iş məkanlarını əhatə edən çoxqatlı bir quruluşdur. Bu şaquli ölçünün nəzərə alınmaması qiymətli resursların səmərəsiz istifadəsinə, həmçinin şəhər sıxlığının və ekoloji problemlərin artmasına səbəb olur.

Şəhərlər inkişaf etdikcə onların planlaşdırma strategiyaları da dəyişməlidir. Ənənəvi şəhərsalma əsasən yerüstü inkişafı üstünlük verir və yeraltı potensialı nəzərdən qaçırır. Lakin əhali artdıqca və torpaq resursları məhdudlaşdıqca bu yanaşma artıq effektiv deyil. Yeraltı urbanizmin tərəfdarı olan Shana Debrock qeyd edir ki, şəhər inkişafının gələcəyi bütün məkan imkanlarını, o cümlədən yeraltı sahələri də əhatə edən yanaşmadan asılıdır. Çoxölçülü yanaşmanın tətbiqi şəhərlərə məhdud torpaq resurslarından daha səmərəli istifadə etməyə və davamlı inkişafı təmin etməyə imkan yaradır [4].

Yeraltı məkanlardan istifadə şəhər əhalisinin müxtəlif ehtiyaclarını qarşılamaq üçün geniş imkanlar yaradır. Yaşayış, nəqliyyat, istirahət və ticarət sahələrindən tutmuş digər funksiyalara qədər yeraltı inkişaf layihələri yerüstü infrastrukturu tamamlayan çoxşaxəli həllər təqdim edir. Yeraltı məkanların potensialının araşdırılmasına həsr olunmuş, Beynəlxalq Tunel Assosiasiyasının (ITA) Yeraltı Məkan Komitəsi olan ITACUS vurğulayır ki, şəhər landşaftlarının həm üfüqi, həm də şaquli ölçüləri əhatə edəcək şəkildə yenidən düşünülməsi olduqca vacibdir [5].

Nəticə

Davamlı şəhər inkişafına nail olmaq məqsədilə yeraltı məkanlardan istifadə artıq sadəcə yenilik deyil, zərurətə çevrilmişdir. Şəhərlər artan urbanizasiya təzyiqləri ilə üzləşdikcə, həm yerüstü, həm də yeraltı sahələri əhatə edən çoxölçülü planlaşdırma yanaşmalarının tətbiqi vacib olur. Təhlil edilən nümunələr göstərir ki, müxtəlif şəhərlər yeraltı məkanlardan strateji istifadə etməklə urbanizasiya təzyiqlərini azaltmaq, daha davamlı, dayanıqlı və yaşanılabılır mühit formalaşdırmaq üçün fərqli yanaşmalar tətbiq edirlər. Məkan imkanlarının bütün spektrindən istifadə etməklə şəhərlər yeni inkişaf, innovasiya və həyat keyfiyyətinin artırılması yollarını açmağa bilirlər. Antonia Cornaro və Han Admiraalın qeyd etdiyi kimi, urbanizmin gələcəyi ayaqlarımızın altında və onun üzə çıxarılmasını gözləyir.

Ədəbiyyat

1. Admiraal, H. and Cornaro, A. (2016). Tunnelling and Underground Space Technology- Why underground space should be included in urban planning policy – And how this will enhance an urban underground future. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 55, (May): 214-220 doi.org/10.1016/j.tust.2015.11.013.
2. Admiraal, H., and Cornaro, A. (2021). Une approche de planification multidimensionnelle (MDPA)— Vers une nouvelle justification de la planification et de la visualisation des espaces souterrains dans le cadre du métabolisme urbain. 14. *Proceedings of AFTES 2021*.
3. URA (2024). *Creating Spaces for Our Growing Needs*. Urban Redevelopment Authority.
4. Debok, S. (2021). The onset of underground urban planning in Flanders, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 703: 012012, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/703/1/012012/pdf>.
5. Ho, T., and Wong, J.C.F. (2016). Strategic use of rock caverns and underground space for sustainable urban development of Hong Kong. *Procedia Engineering*, 165: 705-716 doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.768.
6. Swisstopo (2023) *Switzerland's New Strategy for the Sustainable Use of the Subsurface*, <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-92770.html>.

Comparison of the HPC and Big Data Java Libraries Spark, PCJ and APGAS

Karimzade Abuzar

Abstract. Although Java is rarely used in HPC, there are a few notable libraries. Use of Java may help to bridge the gap between HPC and big data processing. This paper compares the big data library Spark, and the HPC libraries PCJ and APGAS, regarding productivity and performance. We refer to Java versions of all libraries. For APGAS, we include both the original version and an own extension by locality-flexible tasks. We consider three benchmarks: Calculation of π from HPC, Unbalanced Tree Search (UTS) from HPC, and WordCount from the big data domain. In performance measurements with up to 144 workers, the extended APGAS library was the clear winner. With 144 workers, APGAS programs were up to a factor of more than two faster than Spark programs, and up to about 30% faster than PCJ programs. Regarding productivity, the extended APGAS programs consistently needed the lowest number of different library constructs. Spark ranged second in productivity, and PCJ third.

Keywords. Java, Big Data, HPC, Parallel Computing, Spark, PCJ, APGAS

Introduction

Convergence between high performance computing (HPC) and big data processing is a hot topic in current research. Big data programming systems have their strengths in fault tolerance and programming productivity, whereas HPC systems have their strengths in performance and algorithmic flexibility (e. g. [1], [2]). One hindrance to common approaches is the use of different programming languages in the two communities. Typical HPC applications use C/C++ in combination with MPI and/or OpenMP. Typical big data applications, in contrast, use JVM-based languages such as Java or Scala with frameworks such as Hadoop [3] or Spark [4]. While Java is far from prominent in HPC, there are a few notable Java-based libraries such as PCJ [5] and APGAS [6]. The gap between HPC and big data processing can be bridged with interfaces such as Spark+MPI [1], SWAT [7] and Alchemist [8]. These interfaces come at a cost in terms of development effort and computing time. Therefore, use of a unified environment would be more appealing. This paper explores the perspective of a common Java foundation, by comparing the libraries Spark, PCJ and APGAS, regarding productivity and performance. Spark [4] is an open-source, distributed, multi-threaded, fault-tolerant library for big data processing, and widely used in this domain. Like Hadoop [3], Spark implements the MapReduce pattern [9], but maintains data in memory instead on disc. For storing massive amounts of data, Spark introduces a data structure called Resilient Distributed Dataset (RDD) [7]. Algorithms are implemented via transformations, which produce RDDs, and actions, which extract a result from an RDD. If MapReduce is not well suited for a particular problem, Spark can cause a significant overhead [8]. The PCJ library for Java [5] won the HPC Challenge Class 2 Best Productivity Award on Supercomputing in 2014, and achieves a better performance than MPI with Java bindings. In some situations, however, the performance of PCJ is up to three times below that of MPI with C bindings. PCJ implements the Partitioned Global Address Space (PGAS) model, which has been designed with productivity and portability in mind. PGAS describes an architecture, such as a cluster of multicore nodes, as a collection of places. A place is defined as the combination of a memory partition and computing resources, called workers. Typically, places correspond to cluster nodes, and workers correspond to CPU cores. Each place can access every memory partition, but local accesses are faster than remote ones.

PCJ adopts the Single Program Multiple Data (SPMD) execution style, i.e., all workers are invoked at program startup and carry out the same code. Variables are private to each worker, such that different workers can follow different code paths. PCJ provides several methods to exchange data between workers in a synchronous or asynchronous way. The APGAS library for Java [8] adds asynchronism to the PGAS model by adopting a task-based approach. Its parallelization and distribution concepts are exactly the same as those of IBM's parallel language X10. Program execution starts with a single task on place 0. Later, any task can spawn any number of child tasks dynamically. Task spawning can be synchronous or asynchronous, i.e., the parent task either waits, or does not wait, for the termination of a child. In either case, the programmer must specify an execution place for each task. Inside each place, tasks are automatically scheduled to workers. Thus, depending on worker availability, a generated task may run immediately or later. The place-internal scheduler is implemented with Java's Fork/Join-Pool [9]. In recent work, we extended the APGAS library by locality-flexible tasks. These tasks are spawned and managed in the same way as the standard asynchronous tasks of APGAS, except that the programmer does not specify an execution place. Instead, locality-flexible tasks are subject to system-wide automatic load balancing. We implemented the concept by extending the Fork/Join pools by an interplace work stealing scheme that realizes the lifeline-based global load balancing (GLB) algorithm [10].

Result

This paper has compared the big data library Spark and the HPC libraries PCJ and APGAS. For APGAS, we included both the original version and an own extension by locality-flexible tasks. The comparison was based on Java implementations of three benchmarks, which were partly taken from HPC and the big data domain, respectively. All implementations were conducted by the same author, who had no previous experience with any of the systems. Furthermore, we took care to implement the same algorithms. On one hand, we evaluated productivity, based on personal impressions and objective metrics. The extended APGAS variant turned out best, closely followed by the original APGAS variant and Spark. The extended APGAS variant was most intuitive to use, required the lowest number of different library constructs, and its code was by only a few lines longer than that of the Spark variant.

References

1. M. Anderson, S. Smith, N. Sundaram et al., "Bridging the gap between HPC and big data frameworks," Proc. of the VLDB Endowment, vol. 10, no. 8, pp. 901–912, 2017.
2. J. L. Reyes-Ortiz, L. Oneto, and D. Anguita, "Big data analytics in the cloud: Spark on Hadoop vs MPI/OpenMP on beowulf," Procedia Computer Science, vol. 53, pp. 121–130, 2015.
3. T. White, Hadoop: The Definitive Guide, 1st ed. O'Reilly Media, 2009.
4. M. Zaharia, R. S. Xin, P. Wendell et al., "Apache Spark: A unified engine for big data processing," Communications of the ACM, vol. 59, no. 11, pp. 56–65, Nov. 2016.
5. M. Nowicki, M. Ryczkowska, L. Gorski et al., "PCJ – a Java library for heterogenous parallel computing," in Proc. Int. Conf. on Software Engineering, Parallel and Distributed Systems (SEPADS). WSEAS Press, 2016, pp. 66–72.
6. O. Tardieu, "The APGAS library: resilient parallel and distributed programming in Java 8," in Proc. ACM SIGPLAN Workshop on X10, 2015.
7. M. Grossman and V. Sarkar, "SWAT: a programmable, in-memory, distributed, high-performance computing platform," in Proc. Int. Symp. on High-Performance Parallel and Distributed Computing (HPDC). ACM, 2016.
8. A. Gittens, K. Rothauge, S. Wang et al., "Alchemist: An Apache Spark MPI interface," in Concurrency and Computation: Practice and Experience, 2018.

9. J. Dean and S. Ghemawat, "MapReduce: simplified data processing on large clusters," *Communications of the ACM*, vol. 51, no. 1, p. 107, 2008.
10. M. Zaharia, M. Chowdhury, T. Das et al., "Resilient distributed datasets: A fault-tolerant abstraction for in-memory cluster computing," in *Proc. USENIX Conference on Networked Systems Design and Implementation*, 2012.

Müəssisənin informasiya təhlükəsizliyinin yaradılmasının üsul və vasitələri

Nahid Hüseyinli Natiq oğlu

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Dövlət İdarəçilik Akademiyası

Əsgərova Bahar

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Dövlət İdarəçilik Akademiyası

Müəssisədə informasiya təhlükəsizliyinin yaradılması ayrı-ayrı proqramların quraşdırılması ilə məhdudlaşmayan, idarəetmə, texnologiya, hüquqi tənzimləmə və insan amilini vahid sistem daxilində birləşdirən kompleks proses kimi formalaşdırılmalıdır. İnformasiya təhlükəsizliyinin effektiv modeli risklərin müəyyənləşdirilməsi, aktivlərin təsnifatı, səlahiyyətlərin idarə olunması, texniki müdafiə mexanizmlərinin tətbiqi və davamlı nəzarət prosedurlarının qurulması əsasında qurulur.

Müəssisənin informasiya təhlükəsizliyi informasiya resurslarının məxfilik, bütövlük və əlçatanlıq prinsipləri əsasında qorunmasını nəzərdə tutur və bu prinsiplər idarəetmə sisteminin fundamental dayaqlarını təşkil edir. İnformasiya aktivlərinə verilənlərin bazaları, maliyyə sənədləri, müştəri məlumatları, kommersiya sirri, daxili yazışmalar, proqram təminatı, şəbəkə infrastrukturunu və bulud mühitində saxlanılan rəqəmsal resurslar daxildir, buna görə təhlükəsizlik anlayışı yalnız kompüterlərin qorunması ilə deyil, bütün informasiya dövryyəsinin idarə olunması ilə əlaqələndirilir. İnformasiya təhlükəsizliyinin əsas məqsədi iqtisadi davamlılığı qorumaq, əməliyyat fasilələrini azaltmaq, hüquqi məsuliyyət risklərini minimuma endirmək və qərarların etibarlı informasiya əsasında qəbulunu təmin etməkdir.

İnformasiya təhlükəsizliyinin yaradılmasında əsas üsul riskyönümlü idarəetmə yanaşmasıdır; bu yanaşmada müəssisə aktivləri inventarlaşdırır, təhlükə mənbələrini və zəiflikləri təhlil edir, qəbuledilməz risklər üçün nəzarət tədbirləri seçir. Təşkilati tənzimləmə mexanizmləri çərçivəsində informasiya təhlükəsizliyi siyasəti, çıxış hüquqları, səlahiyyət səviyyələri, cavabdeh struktur vahidlər və hüquqi tələblərə uyğunluq mexanizmləri müəyyən edilir. Çoxsəviyyəli müdafiə prinsipi fiziki, aparat, proqram və inzibati mühafizə tədbirlərinin bir-birini tamamlayan şəkildə tətbiqini nəzərdə tutur və informasiya təhlükəsizliyi sisteminin kompleks xarakterini təmin edir. Davamlı monitoring və insidentlərin idarə olunması isə jurnal fayllarının, şəbəkə trafikinə nəzarətin və insidentlərə cavab planlarının təşkilini tələb edir.

Müəssisənin informasiya təhlükəsizliyinin təminində identifikasiya və autentifikasiya mexanizmləri, kriptografik müdafiə vasitələri, antivirus sistemləri, şəbəkə təhlükəsizliyi alətləri və fiziki mühafizə həlləri xüsusi yer tutur. Parol siyasəti və çoxfaktorlu autentifikasiya səlahiyyətsiz giriş riskini azaldır, şifrələmə texnologiyaları məlumatın məxfiliyini qoruyur, antivirus və şəbəkə müdafiə sistemləri zərərli təsirlərin qarşısını alır. Fiziki mühafizə vasitələri server otaqlarının və avadanlığın qorunmasını təmin edir, infrastrukturun dayanıqlığını yüksəldir.

İnformasiya təhlükəsizliyi idarəetmə sistemi ISO 27001 çərçivəsində siyasətlərin, prosedurların, audit və monitoring mexanizmlərinin formalaşdırılmasını, rəhbərliyin resurs və məsuliyyət öhdəliyini, insan amili ilə bağlı risklərin təlim və intizam vasitəsilə idarə edilməsini nəzərdə tutur. Beləliklə, təhlükəsizlik modeli yalnız texniki vasitələr deyil, həm də idarəetmə, təşkilati və normativ alətlərin inteqrasiyası nəticəsində həyata keçirilir.

Ədəbiyyat

1.Barlette, Y., and Fomin, V. "Information security management: A systematic literature review of good practices based on ISO/IEC 27001." IBIMA Conference Proceedings, 2020.

2.Disterer, G. "ISO/IEC 27000, 27001 and 27002 for information security management." Journal of Information Security, vol. 4, no. 2, 2013, pp. 92–100.

3.ISO/IEC 27001:2022. Information security, cybersecurity and privacy protection — Information security management systems — Requirements. International Organization for Standardization, Geneva, 2022.

Steady-State Gas Flow in Oil and Gas Well Operation: Engineering Analysis and Practical Significance

Aykhán Abdurahmanli

Master's Student, Department of Petroleum and Gas Engineering, Azerbaijan State Oil and Industry University, Azerbaijan

ABSTRACT

The study of gas flow behavior is one of the fundamental issues in the operation of oil and gas wells. Unlike liquids, gases are highly compressible, and their density, volume, and velocity may vary significantly with changes in pressure and temperature. For this reason, the mathematical description of gas movement in reservoirs, wellbores, and production systems requires a specific engineering approach. Among the different flow regimes, steady-state gas flow has particular importance because it allows the main flow parameters to be considered constant with respect to time.

This article examines the physical and engineering characteristics of steady-state gas flow in petroleum production systems. The paper discusses the basic assumptions used in steady-flow analysis, including one-dimensional flow, isothermal conditions, constant mass flow rate, and the influence of hydraulic resistance. Special attention is given to the role of pressure distribution, pressure losses, and productivity evaluation in gas wells. The article also explains why pressure-squared relationships are commonly used in gas well calculations instead of simple pressure-difference models applied to liquid flow.

The analysis shows that although steady-state models are based on simplifying assumptions, they remain highly useful for engineering calculations. These models help estimate well productivity, determine pressure behavior along the reservoir–wellbore system, select appropriate production regimes, and evaluate energy losses during gas transportation. Therefore, steady-state gas flow theory has both theoretical and practical significance for petroleum and gas engineering, especially in the field of oil and gas well operation.

Keywords: steady-state flow, gas wells, gas movement, pressure loss, well productivity, reservoir engineering, production regime.

INTRODUCTION

Efficient operation of oil and gas wells requires a clear understanding of fluid movement from the reservoir toward the wellbore and then to surface production facilities. In gas wells, this process is more complex than in oil wells because gas is a compressible fluid. As pressure decreases during production, gas expands, its density changes, and its velocity may increase. These changes directly affect the flow behavior, pressure losses, and productivity of the well.

Gas flow may occur under different conditions depending on reservoir properties, production rate, pressure drawdown, and operating time. In general, gas movement can be classified as steady-state or unsteady-state flow. In unsteady-state flow, pressure and flow rate change with time. In steady-state flow, however, the main parameters of the system remain constant during the considered period. This makes steady-state flow models convenient for engineering calculations and preliminary production analysis.

The concept of steady-state gas flow is widely used in petroleum engineering because it provides a simplified but useful representation of real production systems. Although actual reservoir

conditions are often more complicated, steady-flow models help engineers estimate well performance, analyze pressure behavior, and choose rational operating conditions. Therefore, the study of steady gas movement is important for both theoretical research and practical well operation.

The main objective of this article is to analyze the steady-state motion of gases in oil and gas wells, explain its physical basis, and evaluate its role in production engineering calculations.

1. GENERAL CHARACTERISTICS OF GAS FLOW

Gas flow is the movement of gas through a porous medium, wellbore, or pipeline as a result of a pressure difference. In petroleum reservoirs, gas moves from zones of higher pressure toward zones of lower pressure. The pressure gradient acts as the main driving force of this movement. Compared with liquid flow, gas flow has several specific features. The most important difference is compressibility. When pressure decreases, gas volume increases and density decreases. As a result, gas velocity and flow resistance may change along the flow path. This makes gas flow calculations more complicated than those for incompressible fluids.

In oil and gas production systems, gas may flow through:

- porous reservoir rocks;
- the near-wellbore zone;
- the wellbore;
- tubing and casing;
- surface pipelines and production equipment.

Each part of the system creates a certain resistance to flow. Therefore, pressure losses must be considered when evaluating gas well performance.

2. CONCEPT OF STEADY-STATE GAS FLOW

Steady-state gas flow is a flow regime in which the main parameters of the system do not change with time. These parameters include pressure distribution, mass flow rate, average velocity, and temperature, if isothermal conditions are assumed.

In a steady-state system:

- the amount of gas entering a control volume is equal to the amount leaving it;
- pressure at each point remains constant with time;
- the gas production rate is stable;
- the flow pattern does not change during the analyzed period.

This regime is usually associated with long-term production under stable operating conditions. In practice, perfectly steady conditions are rarely achieved. However, many production processes can be approximated as steady-state over a certain time interval. This approximation is useful because it simplifies the governing equations and makes engineering calculations more practical. Steady-state gas flow is especially important in the evaluation of gas well productivity. It allows engineers to relate reservoir pressure, bottom-hole pressure, flow rate, and reservoir properties through relatively simple mathematical expressions.

3. BASIC ASSUMPTIONS USED IN STEADY GAS FLOW ANALYSIS

To develop mathematical models of steady-state gas flow, several simplifying assumptions are usually introduced. These assumptions reduce the complexity of the problem and make the equations suitable for engineering use.

The most common assumptions are:

1. **The flow is steady.**
2. Pressure and flow rate are assumed to be independent of time.
3. **The flow is one-dimensional or radial.**

4. Depending on the system geometry, gas movement is considered along one main direction or radially toward the wellbore.
5. **The process is isothermal.**
6. Temperature is assumed to remain constant during gas movement.
7. **The gas behaves as a real or ideal gas.**
8. In simple calculations, ideal gas behavior may be assumed. For more accurate analysis, the gas deviation factor is included.
9. **Friction losses are considered.**
10. Resistance caused by porous media, tubing walls, and flow restrictions is considered.
11. **Reservoir properties are constant.**
12. Permeability, thickness, and porosity are often treated as constant values.

These assumptions do not describe all real reservoir conditions in full detail. Nevertheless, they are acceptable for many practical engineering calculations and provide a reliable first approximation of gas flow behavior.

4. MATHEMATICAL DESCRIPTION OF STEADY-STATE GAS FLOW

The mathematical formulation of steady gas flow is based on the law of conservation of mass and the pressure–flow relationship in porous media. For liquid flow, Darcy’s law is often expressed using a direct pressure difference. For gas flow, however, compressibility must be considered. Therefore, gas well productivity is commonly related to the difference between the squares of reservoir pressure and bottom-hole pressure.

A simplified expression for steady radial gas flow may be written as:

$$q = C(p_r^2 - p_{wf}^2)$$

where:

- q — gas flow rate;
- C — productivity coefficient of the reservoir–well system;
- P_r — reservoir pressure;
- P_{wf} — flowing bottom-hole pressure.

This equation shows that gas production is not only a function of pressure difference but also depends on the absolute pressure level. For this reason, two wells with the same pressure drawdown may produce different gas rates if their reservoir pressures are different.

For radial flow toward a well, a more detailed form of the equation can be expressed as:

$$q = \frac{kh(p_e^2 - p_w^2)}{\mu z T \ln \frac{r_e}{r_w}}$$

where:

- k — reservoir permeability;
- h — formation thickness;
- p_e — pressure at the external drainage boundary;
- p_w — pressure at the wellbore;
- μ — gas viscosity;
- z — gas compressibility factor;
- T — absolute temperature;
- r_e — drainage radius;
- r_w — wellbore radius.

This relationship demonstrates that gas flow rate depends not only on pressure conditions but also on reservoir and gas properties. Higher permeability and greater formation thickness increase productivity, while higher viscosity and flow resistance reduce the gas rate.

5. PRESSURE DISTRIBUTION IN THE RESERVOIR–WELL SYSTEM

Pressure distribution is one of the key indicators of gas flow behavior. During steady-state production, pressure gradually decreases from the external reservoir boundary toward the wellbore. The shape of the pressure profile depends on reservoir geometry, permeability, flow rate, and gas properties.

In radial flow, the pressure decline becomes more intensive near the wellbore. This occurs because the same amount of gas must pass through a smaller flow area as it approaches the well. As a result, gas velocity increases near the wellbore, and additional pressure losses may appear. The near-wellbore zone is especially important in gas production. Any damage in this zone, such as clay swelling, fines migration, liquid accumulation, or formation plugging, increases flow resistance. This reduces well productivity and may require stimulation methods such as acidizing, hydraulic fracturing, or wellbore cleaning.

Therefore, pressure distribution analysis helps engineers identify flow restrictions and evaluate the actual performance of the reservoir–well system.

6. WELL PRODUCTIVITY UNDER STEADY-STATE CONDITIONS

Well productivity is the ability of a well to deliver gas from the reservoir to the surface. Under steady-state conditions, productivity can be evaluated using the relationship between flow rate and pressure drawdown.

For gas wells, productivity is often expressed through the pressure-squared difference:

$$J_g = \frac{q}{p_r^2 - p_{wf}^2}$$

where:

- J_g — gas productivity index;
- q — gas production rate;
- p_r — reservoir pressure;
- p_{wf} — flowing bottom-hole pressure.

A higher productivity index indicates that the well can produce more gas under the same pressure conditions. This index is affected by several factors, including reservoir permeability, formation thickness, skin factor, gas viscosity, wellbore radius, and reservoir pressure.

The main factors influencing gas well productivity is summarized below (Table 1):

Table 1. Influencing factors of gas well productivity

Factor	Influence on Productivity
Reservoir permeability	Higher permeability improves gas flow toward the well
Formation thickness	Greater thickness increases the effective flow area
Gas viscosity	Higher viscosity increases resistance and reduces flow rate
Wellbore radius	Larger effective radius reduces near-wellbore resistance
Skin factor	Positive skin decreases productivity
Reservoir pressure	Higher pressure increases gas energy potential
Bottom-hole pressure	Lower bottom-hole pressure increases drawdown but may create risks

Productivity analysis is essential for determining whether a well is operating efficiently. It also helps compare different wells in the same field and identify wells that require intervention.

7. SELECTION OF OPTIMAL PRODUCTION REGIME

One of the main tasks in gas well operation is the selection of an optimal production regime. Increasing production rate by reducing bottom-hole pressure may seem beneficial, but excessive pressure drawdown can create serious operational problems.

Possible negative effects of excessive drawdown include:

- rapid depletion of reservoir energy;
- increased flow velocity near the wellbore;
- sand production;
- water coning;
- liquid loading in the wellbore;
- higher pressure losses in tubing;
- instability of the production regime;
- additional load on surface equipment.

Therefore, the best production regime is not always the one that gives the maximum short-term gas rate. A rational regime must provide stable production, protect reservoir energy, and reduce technical risks.

The relationship between bottom-hole pressure and production behavior can be summarized as follows (Table 2):

Table 2. The relationship between bottom-hole pressure and production behavior

Bottom-hole pressure	Drawdown level	Expected production behavior
High	Low	Low production rate, better reservoir pressure support
Moderate	Moderate	Stable and technically safer production
Very low	High	Higher short-term rate, but increased operational risks

This comparison shows that gas well operation should be based on a balance between production efficiency and long-term reservoir performance.

8. NON-DARCY FLOW EFFECTS IN GAS WELLS

In many gas wells, especially high-rate wells, the flow near the wellbore may deviate from Darcy's law. At high velocities, inertial forces become significant and create additional pressure losses. This phenomenon is known as non-Darcy flow or Forchheimer flow.

A commonly used relationship for gas wells is:

$$p_r^2 - p_{wf}^2 = Aq + Bq^2$$

where:

- Aq – laminar or Darcy-type flow resistance;
- Bq^2 – additional inertial resistance;
- A and B – are coefficients depending on reservoir and well conditions.

This equation shows that pressure loss increases more rapidly at high production rates. Therefore, ignoring non-Darcy effects may lead to overestimation of well productivity. In high-rate gas wells, these effects must be considered when selecting production rates and designing completion systems.

9. PRACTICAL IMPORTANCE OF STEADY-STATE GAS FLOW MODELS

Steady-state gas flow models are widely used in petroleum engineering practice. Their main applications include:

1. **Estimation of well deliverability**
2. Engineers can calculate expected gas production under different pressure conditions.
3. **Determination of bottom-hole pressure**
4. The model helps evaluate the pressure required for stable production.
5. **Selection of tubing and production equipment**
6. Pressure losses and gas velocity are considered when selecting well equipment.
7. **Evaluation of reservoir performance**
8. Flow models help determine whether reservoir pressure support is sufficient.
9. **Identification of near-wellbore damage**
10. Lower-than-expected productivity may indicate skin damage or flow restriction.
11. **Production forecasting**
12. Steady-state relationships provide a basis for estimating future gas production trends.
13. **Optimization of operating conditions**
14. Different production scenarios can be compared to select the most efficient and safe regime.

Although steady-state models are simplified, they provide valuable engineering insight and are often used as a foundation for more advanced reservoir simulation studies.

CONCLUSION

Steady-state gas flow is a key concept in the operation and analysis of oil and gas wells. Since gas is a compressible fluid, its flow behavior differs significantly from liquid flow. Pressure, density, velocity, viscosity, and compressibility must all be considered when evaluating gas movement in reservoirs and wellbores.

The use of pressure-squared relationships allows engineers to describe gas well productivity more accurately than simple pressure-difference models. Under steady-state conditions, gas flow rate depends on reservoir pressure, bottom-hole pressure, permeability, formation thickness, gas viscosity, compressibility factor, and flow resistance.

The analysis also shows that the selection of an optimal production regime is essential for long-term well performance. Excessive drawdown may increase short-term production, but it can also cause reservoir damage, sand production, water coning, and additional pressure losses. Therefore, gas well operation should be based on a balanced approach that considers both productivity and reservoir protection.

In conclusion, steady-state gas flow models are important engineering tools for evaluating well deliverability, predicting production behavior, and selecting efficient operating conditions. Despite their simplifying assumptions, these models remain highly valuable in petroleum production engineering and in the practical operation of gas wells.

REFERENCES

1. Ahmed, T. (2019). *Reservoir Engineering Handbook* 5th ed. Gulf Professional Publishing.
2. Economides, M. J., Hill, A. D., & Ehlig-Economides, C. (2018). *Petroleum Production Systems* 2nd ed. Pearson.
3. Guo, B., Lyons, W. C., & Ghalambor, A. (2017). *Petroleum Production Engineering: A Computer-Assisted Approach*. Elsevier.
4. Dake, L. P. (1978). *Fundamentals of Reservoir Engineering*. Elsevier.
5. Lee, J., & Wattenbarger, R. A. (1996). *Gas Reservoir Engineering*. Society of Petroleum Engineers.

6. Fanchi, J. R. (2018). *Principles of Applied Reservoir Simulation* 4th ed. Elsevier.
7. Craft, B. C., Hawkins, M. F., & Terry, R. E. (1991). *Applied Petroleum Reservoir Engineering*. Prentice Hall.
8. Al-Hussainy, R., Ramey, H. J., & Crawford, P. B. (1966). The flow of real gases through porous media. *Journal of Petroleum Technology*.

QLOBAL ELEKTRİK AVTOMOBİL BAZARINDA İSTEHSALÇI ŞİRKƏTLƏRİN SATIŞ DİNAMİKASI VƏ RƏQABƏT MÖVQELƏRİNİN TƏHLİLİ

Ismail Mamedov

Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti (UNEC), Data Analitikası ixtisası üzrə magistrant,
Bakı, Azərbaycan

XÜLASƏ

Məqalədə elektrik avtomobili istehsal edən müxtəlif ölkə şirkətlərinin satış göstəriciləri və qlobal bazarda tutduğu mövqelər təhlil olunur. Elektrik avtomobillərinə tələbatın artması enerji təhlükəsizliyi, ekoloji problemlərin azaldılması, karbon emissiyalarının məhdudlaşdırılması və innovativ nəqliyyat texnologiyalarının inkişafı ilə sıx bağlıdır. Bu baxımdan ABŞ, Çin və Avropa şirkətlərinin bazar fəaliyyəti, satış dinamikası və rəqabət üstünlükləri xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Məqalədə elektrik avtomobil bazarının formalaşma xüsusiyyətləri, əsas istehsalçıların satış performansı, bazar payı və şirkət strategiyalarının nəticələrə təsiri araşdırılır. Təhlil göstərir ki, Çin şirkətləri geniş istehsal həcmi və daxili bazar üstünlüyü ilə seçilir, ABŞ şirkətləri texnoloji innovasiyalar və marka dəyəri hesabına rəqabət aparır, Avropa istehsalçıları isə keyfiyyət, təhlükəsizlik və ekoloji standartlara əsaslanan strategiya formalaşdırırlar. Eyni zamanda, batareya texnologiyaları, dövlət dəstəyi, enerji doldurma infrastrukturu və istehlakçı davranışları satışların inkişafına təsir edən əsas amillər kimi qiymətləndirilir. Məqalənin nəticəsi göstərir ki, elektrik avtomobil bazarında gələcək rəqabət yalnız satış həcmi ilə deyil, həm də texnoloji yenilik, qiymət siyasəti, təchizat zənciri və davamlı inkişaf strategiyaları ilə müəyyən olunacaqdır.

Açar sözlər: elektrik avtomobili, satış analizi, qlobal bazar, istehsalçı şirkətlər, rəqabət strategiyası.

Giriş

Müasir dövrdə elektrik avtomobilləri qlobal avtomobil sənayesinin ən dinamik inkişaf edən istiqamətlərindən birinə çevrilmişdir. Ənənəvi yanacaq ilə işləyən nəqliyyat vasitələrinin ətraf mühitə təsiri, karbon emissiyalarının azaldılması tələbi, enerji resurslarından səmərəli istifadə və texnoloji innovasiyaların sürətli inkişafı elektrik avtomobil bazarının genişlənməsinə ciddi təsir göstərir. Bu proses yalnız nəqliyyat sahəsində deyil, həm də sənaye istehsalı, beynəlxalq ticarət, enerji infrastrukturu və istehlakçı davranışları baxımından mühüm dəyişikliklər yaradır. Elektrik avtomobili istehsal edən şirkətlər arasında rəqabət artıq təkcə məhsulun texniki göstəriciləri ilə məhdudlaşmır; satış həcmi, bazar payı, qiymət siyasəti, batareya texnologiyası, dövlət dəstəyi və enerji doldurma şəbəkələrinin inkişafı da əsas amillər kimi çıxış edir.

Məqalənin əsas məqsədi müxtəlif ölkələrə məxsus elektrik avtomobili istehsal edən şirkətlərin satış göstəricilərini təhlil etmək və onların qlobal bazardakı rəqabət mövqelərini qiymətləndirməkdir. Bu məqsədlə ABŞ, Çin və Avropa şirkətlərinin satış performansı, bazar strategiyaları və inkişaf istiqamətləri müqayisəli şəkildə araşdırılır. Mövzunun aktuallığı ondan ibarətdir ki, elektrik avtomobil bazarında baş verən dəyişikliklər gələcək nəqliyyat sisteminin, avtomobil sənayesinin və ekoloji siyasətin formalaşmasına birbaşa təsir göstərir. Buna görə də aparıcı istehsalçıların satış dinamikasının öyrənilməsi həm iqtisadi, həm də strateji baxımdan əhəmiyyətlidir.

Elektrik avtomobil bazarının global inkişaf meyilləri

Elektrik avtomobil bazarı son illərdə global avtomobil sənayesinin ən sürətlə inkişaf edən istiqamətlərindən birinə çevrilmişdir. Bu inkişafın əsas səbəbləri sırasında ekoloji təhlükəsizlik tələblərinin güclənməsi, karbon emissiyalarının azaldılması, yanacaq qiymətlərində dəyişkənlik, enerji səmərəliliyinə marağın artması və nəqliyyat sektorunda texnoloji yeniliklərin geniş tətbiqi dayanır. Ənənəvi daxiliyanma mühərrikli avtomobillərlə müqayisədə elektrik avtomobilləri daha az emissiya yaratdığına, enerji sərfiyyatını azaltmağa imkan verdiyinə və müasir rəqəmsal idarəetmə sistemləri ilə uyğunlaşdığına görə həm istehlakçılar, həm də dövlətlər üçün strateji əhəmiyyət kəsb edir.

Global miqyasda elektrik avtomobil satışlarının artması bazarın artıq ilkin inkişaf mərhələsindən çıxaraq kütləvi istehlak mərhələsinə keçdiyini göstərir. Beynəlxalq Enerji Agentliyinin məlumatına görə, 2024-cü ildə dünyada elektrik avtomobil satışları 17 milyonu keçmiş və bu göstərici ümumi yeni avtomobil satışlarının 20 faizindən çoxunu təşkil etmişdir. 2026-cı ildə isə satışların 20 milyondan çox olacağı və elektrik avtomobillərinin dünya üzrə yeni avtomobil satışlarında daha böyük pay qazanacağı proqnozlaşdırılmışdır. Bu rəqəmlər göstərir ki, elektrik avtomobilləri artıq yalnız ekoloji seçim deyil, həm də global avtomobil bazarının əsas iqtisadi istiqamətlərindən biridir. [3]

Elektrik avtomobil bazarının inkişafında Çin aparıcı mövqeyə malikdir. Çin şirkətləri geniş daxili bazar, dövlət dəstəyi, güclü batareya istehsalı, aşağı istehsal xərcləri və modellərin müxtəlifliyi hesabına dünya bazarında ciddi üstünlük əldə etmişdir. 2024-cü ildə Çində elektrik avtomobil satışlarının 11 milyonu keçməsi bu ölkənin global bazardakı rolunu aydın göstərir. Çin istehsalçıları yalnız daxili bazarda deyil, həm də Avropa, Cənub-Şərqi Asiya və Latın Amerikası kimi regionlarda aktiv şəkildə genişlənilir. Bu isə elektrik avtomobil bazarında rəqabətin daha da kəskinləşməsinə səbəb olur.

Avropa elektrik avtomobil bazarında əsasən ekoloji standartlar, emissiya məhdudiyətləri və dövlət tənzimləmələri mühüm rol oynayır. Avropa İttifaqında avtomobil istehsalçıları üçün sərtləşdirilən karbon emissiyası tələbləri şirkətləri elektrik və hibrid modellərin istehsalını artırmağa məcbur edir. Bu regionda istehlakçılar üçün enerji doldurma infrastrukturunun inkişafı, vergi güzəştləri və ekoloji şüurun yüksəlməsi elektrik avtomobillərinə tələbatı artıran əsas amillərdəndir. Avropa istehsalçıları satış həcminə görə Çin şirkətlərindən geri qalsalar da, təhlükəsizlik, keyfiyyət, texnoloji davamlılıq və marka etibarını baxımından güclü mövqelərini qoruyurlar.

ABŞ bazarında isə elektrik avtomobillərinin inkişafı daha çox texnoloji innovasiyalar, proqram təminatı, batareya səmərəliliyi və brend imici ilə bağlıdır. Tesla kimi şirkətlər elektrik avtomobil anlayışını yalnız nəqliyyat vasitəsi kimi deyil, həm də ağıllı texnologiya məhsulu kimi təqdim etmişdir. Bununla yanaşı, ABŞ-da elektrik avtomobillərinin yayılması regionlar üzrə eyni səviyyədə deyil. Enerji doldurma məntəqələrinin sayı, dövlət təşviqləri, avtomobil qiymətləri və istehlakçıların seçimləri satış göstəricilərinə birbaşa təsir edir.

Elektrik avtomobil bazarında müşahidə olunan digər mühüm meyil batareya texnologiyalarının sürətli inkişafıdır. Batareyanın tutumu, enerji sıxlığı, doldurma müddəti və istehsal dəyəri elektrik avtomobilinin satış uğurunu müəyyən edən əsas göstəricilərdən biridir. Batareya qiymətlərinin azalması avtomobillərin ümumi maya dəyərini aşağı salır və onları daha geniş istehlakçı kütləsi üçün əlçatan edir. Eyni zamanda, litium, kobalt, nikel və digər xammal resurslarına çıxış şirkətlərin rəqabət qabiliyyətinə təsir göstərir. [5]

Bazarın inkişafında enerji doldurma infrastrukturunu da xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Elektrik avtomobillərinin geniş yayılması üçün yalnız avtomobil istehsal etmək kifayət deyil; sürətli, təhlükəsiz və əlçatan doldurma şəbəkəsi formalaşdırılmalıdır. İnfrastruktur zəif olduqda

istehlakçılar elektrik avtomobili almaqda tərəddüd edirlər. Buna görə dövlətlər və özəl şirkətlər enerji doldurma məntəqələrinin artırılmasına böyük investisiyalar yönəldirlər.

Elektrik avtomobil bazarının global inkişaf meyilləri göstərir ki, bu sahə gələcək avtomobil sənayesinin əsas istiqamətlərindən biri kimi formalaşır. Bazarın inkişafı yalnız ekoloji amillərlə deyil, həm də texnoloji yenilik, qiymət rəqabəti, dövlət siyasəti, istehsal gücü və infrastruktur imkanları ilə müəyyən olunur.

Müxtəlif ölkə şirkətlərinin satış göstəricilərinin müqayisəli təhlili

Elektrik avtomobil bazarında satış göstəricilərinin müqayisəli təhlili göstərir ki, bu sahədə rəqabət tək-cə ayrı-ayrı şirkətlərin istehsal gücü ilə deyil, həm də ölkələrin sənaye siyasəti, texnoloji bazası, batareya təchizatı, qiymət strategiyası və daxili bazar imkanları ilə bağlıdır. 2024–2025-ci illərin nəticələri elektrik avtomobil bazarında üç əsas istiqamətin formalaşdığını göstərir: Çin şirkətləri satış həcmi və qiymət əlçatanlığı ilə, ABŞ şirkətləri texnoloji yenilik və brend gücü ilə, Avropa şirkətləri isə keyfiyyət, təhlükəsizlik və premium segment üzrə mövqeləri ilə fərqlənirlər. Bu səbəbdən satış göstəricilərinin təhlili yalnız “hansı şirkət daha çox avtomobil satmışdır” sualına cavab vermir, həm də bazarın hansı istiqamətdə dəyişdiyini, hansı ölkə şirkətlərinin daha çevik strategiya qurduğunu və gələcək rəqabətin hansı əsaslar üzərində formalaşacağını müəyyən etməyə imkan verir.

2024-cü ildə global elektrik avtomobil satışları 17 milyonu keçmiş, elektrik avtomobillərinin ümumi yeni avtomobil satışlarında payı 20 faizdən çox olmuşdur. 2025-ci ildə isə bu göstərici 20 milyondan artıq satış səviyyəsinə çatmış və elektrik avtomobillərinin dünya üzrə yeni avtomobil satışlarında payı 25 faizə yüksəlmişdir. Bu, bazarın bir il ərzində təxminən 20 faiz böyüdüyünü göstərir. Çin bazarı bu artımın əsas mərkəzi olaraq qalır. 2024-cü ildə Çində 11 milyondan çox elektrik avtomobili satılmış və bu göstərici ölkənin dünya üzrə ən böyük EV bazarı olduğunu təsdiqləmişdir. 2025-ci ildə isə Çin bazarında elektrik avtomobillərinin yeni avtomobil satışlarında payı daha da yüksəlmiş və təxminən 55 faizə çatmışdır. Avropada da artım müşahidə olunmuş, 2025-ci ildə elektrik avtomobil satışları 4 milyondan artıq səviyyəyə çatmışdır. ABŞ bazarında isə artım davam etsə də, Çinlə müqayisədə daha məhdud olmuşdur. [4]

Cədvəl 1. 2024–2025-ci illərdə əsas elektrik avtomobil bazarlarının müqayisəli göstəriciləri

Bazar / region	2024-cü il göstəricisi	2025-ci il göstəricisi	Müqayisəli izah
Dünya üzrə EV satışı	17 milyondan çox	20 milyondan çox	Global bazarda təxminən 20% artım qeydə alınmışdır
EV-lərin yeni avtomobil satışlarında payı	20%-dən çox	25%	Elektrik avtomobilləri kütləvi bazar mərhələsinə yaxınlaşmışdır
Çin bazarı	11 milyondan çox satış	13 milyondan çox satış	Çin dünya EV satışlarının əsas mərkəzi olaraq qalmışdır
Çin bazarında EV payı	təxminən 50%-ə yaxın	təxminən 55%	Elektromobilləşmə Çində daha sürətli gedir
Avropa bazarı	təxminən 3 milyondan çox satış	4 milyondan çox satış	Avropada tənzimləmə və ekoloji standartlar satışlara təsir etmişdir
ABŞ bazarı	artım davam etmişdir	artım daha zəif olmuşdur	ABŞ-da bazar daha çox Tesla və iri istehsalçılar ətrafında formalaşır

Mənbə: Beynəlxalq Enerji Agentliyinin 2025 və 2026-cı il “Global EV Outlook” məlumatları əsasında hazırlanmışdır.

Cədvəldən göründüyü kimi, 2024–2025-ci illərdə elektrik avtomobil bazarında ən güclü artım Çin və Avropa istiqamətində müşahidə olunmuşdur. Çin şirkətlərinin üstünlüyü yalnız daxili bazarın böyüklüyü ilə izah edilmir. Burada batareya istehsalı, xammal təchizatı, dövlət dəstəyi, aşağı maya dəyəri və geniş model seçimi də mühüm rol oynayır. Çin istehsalçıları həm ucuz şəhər avtomobilləri, həm orta seqment modelləri, həm də daha yüksək texnoloji avtomobillər təqdim etməklə müxtəlif gəlir qruplarına uyğun məhsul siyasəti aparırlar. Bu baxımdan Çin şirkətləri elektrik avtomobil bazarında kütləvi satış həcminə nail olmuşdur. Avropada isə bazarın inkişafı daha çox ekoloji standartlar, emissiya məhdudiyətləri və istehlakçıların enerji səmərəliliyinə marağı ilə bağlıdır. ABŞ-da elektrik avtomobillərinin inkişafında texnoloji imic və brend faktoru güclü olsa da, qiymət, infrastruktur və regional fərqlər satışların sürətinə təsir göstərir.

Aparıcı şirkətlərin satış göstəricilərinin müqayisəsi də bu fərqləri aydın şəkildə göstərir. 2024-cü ildə BYD ümumi yeni enerji avtomobili satışlarında 4 milyondan artıq nəticə əldə etmiş, 2025-ci ildə isə satışını 4,6 milyondan çox səviyyəyə yüksəltmişdir. Bu göstərici BYD-ni global elektriklişdirilmiş avtomobil bazarında ən güclü istehsalçılardan birinə çevirmişdir. Tesla isə 2024-cü ildə 1 789 226 avtomobil təhvil vermiş, 2025-ci ildə bu göstərici 1 636 129 avtomobil olmuşdur. Bu azalma Tesla-nın hələ də böyük satış həcminə malik olduğunu, lakin Çin şirkətlərinin qiymət və model müxtəlifliyi baxımından daha güclü təzyiq yaratdığını göstərir. Volkswagen Group 2024-cü ildə 744 800 tam elektrik avtomobili təhvil verdiyi halda, 2025-ci ildə bu göstəricini 983 000-ə yüksəltmişdir. BMW Group isə 2024-cü ildə 426 594, 2025-ci ildə 442 072 tam elektrik avtomobili sataraq daha sabit, lakin nisbətən yavaş artım nümayiş etdirmişdir. [7]

Cədvəl 2. 2024–2025-ci illərdə aparıcı şirkətlərin elektrik avtomobil satış/təhvil göstəriciləri

Şirkət	Ölkə	2024-cü il göstəricisi	2025-ci il göstəricisi	Dəyişmə istiqaməti
BYD	Çin	təxminən 4,25 milyon NEV	4,60 milyon NEV-dən çox	Artım müşahidə olunmuşdur
Tesla	ABŞ	1 789 226 avtomobil	1 636 129 avtomobil	Azalma qeydə alınmışdır
Volkswagen Group	Almaniya	744 800 BEV	983 000 BEV	32% artım olmuşdur
BMW Group	Almaniya	426 594 BEV	442 072 BEV	Mülayim artım olmuşdur
Mercedes-Benz Group	Almaniya	təxminən 205 min BEV	197 300 BEV	Azalma müşahidə olunmuşdur

Mənbə: Şirkətlərin rəsmi illik satış və təhvil məlumatları, həmçinin sənaye hesabatları əsasında hazırlanmışdır.

Cədvəldə verilən göstəricilər müxtəlif ölkə şirkətlərinin satış strategiyalarının eyni olmadığını göstərir. BYD-nin üstünlüyü onun çoxşaxəli model portfeli, batareya istehsalı ilə inteqrasiya olunmuş sənaye sistemi və Çin bazarındakı güclü mövqeyi ilə bağlıdır. Şirkət yalnız tam elektrik avtomobilləri deyil, həm də plug-in hibrid modellər üzrə böyük satış həcminə malikdir. Bu, BYD-yə müxtəlif bazar seqmentlərində iştirak etməyə imkan verir. Tesla isə daha çox tam elektrik avtomobil seqmentində ixtisaslaşmışdır. Onun əsas üstünlüyü proqram təminatı, batareya idarəetməsi, sürətli enerji doldurma sistemi və brend imici ilə bağlıdır. Lakin 2025-ci ildə satışlarda azalma Tesla üçün rəqabət mühitinin daha çətinləşdiyini göstərir. Bu azalma şirkətin bazardan çəkilməsi anlamına gəlmir, lakin onun əvvəlki illərdəki sürətli artım tempini saxlamaqda çətinlik çəkdiyini göstərir.

Volkswagen Group-un göstəriciləri Avropa istehsalçılarının elektrik avtomobil bazarında yenidən aktivləşdiyini göstərir. Şirkətin 2025-ci ildə BEV satışlarını 32 faiz artırması Avropada

elektrik modellərə tələbatın yüksəlməsi və şirkətin model çeşidini genişləndirməsi ilə bağlıdır. Bununla yanaşı, Volkswagen-in ümumi satış həcmi BYD və Tesla ilə müqayisədə daha aşağıdır. Bu, Avropa istehsalçılarının hələ də kütləvi və əlçatan elektrik avtomobil segmentində Çin şirkətləri ilə eyni səviyyədə rəqabət aparmadığını göstərir. BMW Group-un satış göstəriciləri isə premium segmentin nisbətən sabit inkişaf etdiyini sübut edir. BMW 2025-ci ildə tam elektrik modellərin satışını artırsa da, artım tempi BYD və Volkswagen ilə müqayisədə daha aşağı olmuşdur. Mercedes-Benz-də isə 2025-ci ildə BEV satışlarında geriləmə müşahidə edilmişdir. Bu, premium elektrik avtomobil segmentində tələbin daha seçici olduğunu və qiymət amilinin satışlara ciddi təsir göstərdiyini göstərir. [6]

Satış göstəricilərinin ölkələr üzrə müqayisəsi zamanı Çin şirkətlərinin əsas üstünlüyü qiymət və miqyas amilində görünür. Çin istehsalçıları böyük daxili bazar hesabına yüksək istehsal həcminə nail olur, daha sonra isə bu üstünlüyü ixrac bazarlarına yönəldirlər. Onların batareya təchizatı üzərində güclü nəzarətə malik olması istehsal xərclərinin azaldılmasına kömək edir. ABŞ şirkətləri, xüsusilə Tesla, texnoloji üstünlükləri ilə seçilir. Tesla-nın avtomobilləri sadəcə nəqliyyat vasitəsi kimi deyil, rəqəmsal platforma kimi qəbul edilir. Avropa şirkətləri isə daha çox keyfiyyət, təhlükəsizlik, dizayn və premium brend imici ilə rəqabət aparırlar. Lakin elektrik avtomobil bazarında qiymət amilinin getdikcə güclənməsi Avropa istehsalçılarını daha əlçatan modellər hazırlamağa məcbur edir.

2026-cı il üzrə göstəricilər isə faktiki satış nəticəsi kimi deyil, proqnoz kimi qiymətləndirilməlidir. Beynəlxalq Enerji Agentliyinin 2026-cı il üzrə proqnozuna görə, global elektrik avtomobil satışlarının 23 milyona çatacağı və ümumi yeni avtomobil satışlarında payının 28 faiz olacağı gözlənilir. Eyni proqnozda Avropada elektrik avtomobillərinin təxminən hər üç yeni avtomobildən birini təşkil edəcəyi, Çində isə bu payın 60 faizə yaxınlaşacağı qeyd olunur. Bu proqnoz göstərir ki, 2026-cı ildə də əsas artım Çin və Avropa bazarları hesabına davam edə bilər.

Cədvəl 3. 2026-cı il üçün elektrik avtomobil bazarı üzrə proqnoz göstəriciləri

Göstərici	2026-cı il üzrə proqnoz	Qısa izah
Dünya üzrə EV satışı	23 milyon	Qlobal bazarda artımın davam edəcəyi gözlənilir
EV-lərin yeni avtomobil satışlarında payı	28%	Elektrik avtomobilləri ümumi bazarda daha böyük pay qazanacaq
Avropa bazarında EV payı	təxminən hər 3 avtomobildən 1-i	Avropada tənzimləmə və infrastruktur amilləri artımı dəstəkləyəcək
Çin bazarında EV payı	60%-ə yaxın	Çin bazarında elektriklişmə daha yüksək səviyyəyə çatacaq
Əsas artım amilləri	qiymət əlçatanlığı, batareya dəyərinin azalması, infrastruktur	Satışların artımı texnologiya və dövlət siyasəti ilə bağlı olacaq

Mənbə: Beynəlxalq Enerji Agentliyinin 2026-cı il üzrə proqnoz məlumatları əsasında hazırlanmışdır.

Ümumilikdə, 2024–2025-ci illərin müqayisəli təhlili göstərir ki, elektrik avtomobil bazarında liderlik artıq yalnız texnoloji yeniliklə müəyyən olunmur. Əvvəlki mərhələlərdə elektrik avtomobil bazarında texnoloji imic daha vacib idisə, hazırkı mərhələdə qiymət, istehsal miqyası, batareya təchizatı, model müxtəlifliyi və regional uyğunlaşma daha mühüm rol oynayır. Çin şirkətləri bu baxımdan daha çevik mövqe nümayiş etdirirlər. ABŞ şirkətləri texnoloji gücünü qorusa da, satış tempini artırmaq üçün qiymət və model siyasətini yeniləməlidir. Avropa şirkətləri isə yüksək

keyfiyyət və premium imic üstünlüklərini saxlayaraq daha geniş istehlakçı qruplarına çıxış imkanlarını artırmalıdır.

Nəticə etibarilə, müxtəlif ölkə şirkətlərinin satış göstəricilərinin müqayisəsi elektrik avtomobil bazarında rəqabətin çoxistiqamətli xarakter daşdığı sübut edir. BYD və digər Çin şirkətləri satış həcmi və qiymət üstünlüyü ilə bazarda önə çıxır. Tesla texnoloji imicini qoruyur, lakin rəqabətin sərtləşməsi fonunda əvvəlki üstünlüyünü saxlamaq üçün daha çevik strategiya formalaşdırmalıdır. Volkswagen və BMW kimi Avropa şirkətləri satışlarını artırmağa çalışsa da, onların əsas üstünlüyü hələlik kütləvi satışdan daha çox keyfiyyət və brend etibarına əsaslanır. 2026-cı il üzrə proqnozlar isə göstərir ki, elektrik avtomobil bazarında artım davam edəcək, lakin bu artımdan daha çox faydalanan şirkətlər istehsal xərclərini azalda bilən, batareya texnologiyalarını inkişaf etdirən, enerji doldurma infrastrukturunu ilə uyğunlaşan və müxtəlif alıcı qruplarına münasib qiymətli modellər təqdim edən istehsalçılar olacaqdır.

Elektrik avtomobil istehsalçılarının rəqabət strategiyaları və bazar perspektivləri

Elektrik avtomobil istehsalçılarının rəqabət strategiyaları 2024–2025-ci illərdə daha çox texnoloji üstünlük, qiymət siyasəti, batareya təminatı, model müxtəlifliyi və regional bazarlara uyğunlaşma istiqamətində formalaşmışdır. Əvvəlki illərdə elektrik avtomobili bazarında əsas üstünlük daha çox yenilikçi məhsul təqdim etmək və bazara erkən daxil olmaqla bağlı idisə, hazırkı mərhələdə rəqabət daha geniş məzmun daşıyır. Artıq şirkətlər yalnız elektrik avtomobili istehsal etməklə kifayətlənmirlər; onlar həm də batareya zəncirini idarə etməyə, enerji doldurma infrastrukturuna uyğunlaşmağa, qiymətləri əlçatan saxlamağa və müxtəlif istehlakçı qrupları üçün fərqli modellər təklif etməyə çalışırlar.

Bu baxımdan Çin, ABŞ və Avropa istehsalçılarının strategiyaları fərqli xüsusiyyətlərə malikdir. Çin şirkətlərinin əsas üstünlüyü istehsal miqyası, aşağı maya dəyəri və geniş model portfeli ilə bağlıdır. BYD kimi istehsalçılar həm tam elektrik, həm də plug-in hibrid avtomobillər üzrə böyük satış həcmi əldə etməklə bazarda kütləvi istehlakçı segmentini əhatə edirlər. BYD 2025-ci ildə ümumilikdə 4,6 milyondan çox yeni enerji avtomobili satmışdır və bu göstərici onun global elektromobil bazarında həcmi əsas götürən strategiyasının nəticəsini göstərir. Şirkətin 2025-ci ildə tam elektrik avtomobil satışlarının 2,25 milyondan çox olması da BYD-nin yalnız hibrid modellərə deyil, BEV segmentinə də güclü şəkildə daxil olduğunu göstərir.

ABŞ istehsalçıları içərisində Tesla daha çox texnoloji fərqləndirmə strategiyası ilə seçilir. Tesla üçün əsas rəqabət üstünlüyü proqram təminatı, batareya idarəetməsi, enerji doldurma şəbəkəsi və avtomobilin rəqəmsal məhsul kimi təqdim olunmasıdır. Lakin 2025-ci ildə Tesla-nın illik təhvil göstəricisi 1 636 129 avtomobil olmuşdur ki, bu da şirkətin əvvəlki illərdəki sürətli artım tempini saxlamaqda çətinliklə üzləşdiyini göstərir. Bununla belə, Tesla-nın 2025-ci ildə enerji saxlama sistemləri üzrə 46,7 GWh yerləşdirmə göstəricisi şirkətin təkcə avtomobil istehsalçısı kimi deyil, həm də enerji texnologiyaları şirkəti kimi mövqeyini gücləndirdiyini göstərir. [11]

Avropa istehsalçıları isə əsasən keyfiyyət, təhlükəsizlik, premium brend imici və tənzimləmə standartlarına uyğunlaşma strategiyası ilə rəqabət aparırlar. Volkswagen Group 2025-ci ildə BEV təhvilini 983 min avtomobilə çatdırmış və elektrik avtomobillərinin ümumi təhvil göstəricisində payı 10,9 faiz olmuşdur. Bu nəticə Avropa şirkətlərinin elektrik avtomobil bazarında geridə qalmaq istəmədiyini, lakin Çin istehsalçıları ilə qiymət və kütləvi istehsal baxımından rəqabətin onlar üçün daha çətin olduğunu göstərir.

Cədvəl 4. Aparıcı elektrik avtomobil istehsalçılarının rəqabət strategiyalarının müqayisəsi

Şirkət	Ölkə	2025 üzrə əsas göstərici	Əsas rəqabət strategiyası	Strategiyanın bazar təsiri
BYD	Çin	4,6 milyondan çox NEV satışı	Kütləvi istehsal, əlçatan qiymət, batareya inteqrasiyası	Geniş istehlakçı bazarına çıxış və yüksək satış həcmi
Tesla	ABŞ	1 636 129 avtomobil təhvil	Texnoloji fərqləndirmə, proqram təminatı, enerji ekosistemi	Güclü brend imici, lakin artan qiymət rəqabəti
Volkswagen Group	Almaniya	983 min BEV təhvil	Avropa bazarında model çeşidinin genişləndirilməsi	Elektrik seqmentində mövqelərin gücləndirilməsi
BMW Group	Almaniya	Premium BEV seqmentində artım	Keyfiyyət, komfort, premium brend strategiyası	Daha seçici, yüksək gəlirli alıcı qrupuna yönəlmə

Mənbə: Şirkətlərin 2025-ci il üzrə açıqlanan satış və təhvil göstəriciləri əsasında hazırlanmışdır.

Cədvəldən göründüyü kimi, istehsalçıların rəqabət yanaşmaları eyni istiqamətdə deyil. BYD daha çox “çox satmaq və müxtəlif alıcı qruplarına çatmaq” prinsipi ilə hərəkət edir. Tesla “texnologiya və ekosistem” üzərində qurulan fərqləndirmə strategiyasını qorumağa çalışır. Volkswagen və BMW kimi Avropa şirkətləri isə bazarda keyfiyyət, təhlükəsizlik və etibarlılıq amillərini ön plana çıxarırlar. Bu fərqlər göstərir ki, elektrik avtomobil bazarında vahid uğur modeli yoxdur. Hər şirkət öz sənaye bazasına, istehsal imkanına və hədəf müştəri qrupuna uyğun strategiya qurur.

Bazar perspektivləri baxımından 2026-cı il elektrik avtomobil sənayesi üçün mühüm mərhələ kimi qiymətləndirilə bilər. Beynəlxalq Enerji Agentliyinin proqnozuna görə, 2026-cı ildə global elektrik avtomobil satışlarının 23 milyona çatacağı və ümumi avtomobil satışlarının 28 faizini təşkil edəcəyi gözlənilir. Avropada elektrik avtomobillərinin təxminən hər üç yeni avtomobildən birini təşkil edəcəyi, Çində isə bu göstəricinin 60 faizə yaxınlaşacağı proqnozlaşdırılır. [10]

Nəticə etibarilə, elektrik avtomobil istehsalçılarının gələcək uğuru yalnız satış həcmi ilə deyil, strategiyanın çevikliyi ilə müəyyən olunacaqdır. BYD kimi şirkətlər üçün əsas üstünlük istehsal miqyası və qiymət əlçatanlığıdır. Tesla üçün əsas məsələ texnoloji fərqliliyini real satış üstünlüyünə çevirməkdir.

Nəticə

Aparılan təhlil göstərir ki, elektrik avtomobil bazarı müasir avtomobil sənayesinin ən sürətlə dəyişən və strateji əhəmiyyət daşıyan istiqamətlərindən birinə çevrilmişdir. Bu bazarın inkişafı yalnız ekoloji tələblərlə məhdudlaşmır, eyni zamanda texnoloji innovasiyalar, enerji təhlükəsizliyi, dövlət siyasəti, istehsal xərcləri, batareya təchizatı və istehlakçı davranışları ilə sıx bağlıdır. Elektrik avtomobillərinə marağın artması global nəqliyyat sistemində yeni rəqabət mühitinin formalaşmasına səbəb olmuş, müxtəlif ölkə şirkətlərinin satış strategiyalarını və bazar mövqelərini yenidən müəyyənləşdirmişdir.

Tədqiqat nəticəsində müəyyən olunur ki, Çin şirkətləri elektrik avtomobil bazarında satış həcmi, istehsal miqyası və qiymət əlçatanlığı baxımından daha üstün mövqeyə malikdirlər. Geniş daxili bazar, dövlət dəstəyi, batareya istehsalı üzrə güclü sənaye bazası və müxtəlif qiymət seqmentlərinə uyğun modellərin təqdim edilməsi Çin istehsalçıların rəqabət imkanlarını artırır. ABŞ şirkətləri, xüsusilə Tesla, texnoloji yenilik, proqram təminatı, enerji doldurma ekosistemi və brend dəyəri ilə fərqlənir. Lakin son illərin göstəriciləri göstərir ki, yalnız texnoloji imic bazar

liderliyini qorumaq üçün kifayət etmir; qiymət siyasəti, model müxtəlifliyi və istehlakçı tələbinə uyğunlaşma da mühüm rol oynayır. Avropa istehsalçıları isə keyfiyyət, təhlükəsizlik, premium brend mövqeyi və ekoloji standartlara uyğun istehsal yanaşması ilə rəqabətdə iştirak edirlər.

2024–2025-ci illərin satış göstəricilərinin müqayisəsi elektrik avtomobil bazarında rəqabətin daha da sərtləşdiyini göstərir. BYD kimi Çin şirkətləri yüksək satış həcmi və geniş model seçimi ilə önə çıxır, Tesla texnoloji üstünlüyünü qorumağa çalışır, Volkswagen, BMW və digər Avropa istehsalçıları isə elektrik modellərin payını artırmaqla bazardakı mövqelərini möhkəmləndirməyə çalışırlar. 2026-cı il üzrə proqnozlar isə elektrik avtomobil satışlarının artmaqda davam edəcəyini və bu sahənin gələcək avtomobil sənayesində daha böyük paya sahib olacağını göstərir.

Ümumilikdə belə nəticəyə gəlmək olar ki, elektrik avtomobil bazarında uğur yalnız daha çox avtomobil satmaqla deyil, çevik və davamlı strategiya formalaşdırmaqla mümkün olacaqdır.

İstifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısı

1. BMW Group. (2025). BMW Group maintains BEV growth path in challenging market situation in 2024. BMW Group PressClub.
2. BYD Company Limited. (2026). 2025 full-year global BYD worldwide car sales and production data. BYD Company Limited.
3. Dəmirova, G. N., Mirzəzadə, İ. M., & Təhməzov, O. R. (2023). Hibrid avtomobillərin güc qurğularının texniki istismarının tədqiqi. Bakı.
4. Əliyev, A. (2020). Elektrik avtomobilləri. Elmi əsərlər, 5(106), 181–186.
5. Gnann, T., Speth, D., Plötz, P., Wietschel, M., Oberle, S. (2022). Pathways to carbon-free transport in Germany until 2050. World Electric Vehicle Journal, 13, 136.
6. Həmidov, M. M., Namazov, B., Babayev, A., & Qocayev, Q. (2023). Hibrid avtomobillər və yeni texnologiyalar. Bakı.
7. Hüseynli, R. T., İsgəndərova, F. H., & Məmmədov, R. M. (2024). Elektromobillərin əsas texniki xarakteristikalarının seçilməsi və onların yaxşılaşdırılması üsullarının tədqiqi. Bakı.
8. International Energy Agency. (2025). Global EV Outlook 2025: Trends in electric car markets. IEA.
9. International Energy Agency. (2026). Global EV Outlook 2026: Executive summary. IEA.
10. McKerracher, C., O'Donovan, A., Soulopoulos, N., Grant, A., Mi, S., Doherty, D., Fisher, R., Cantor, C., Lyu, J., & Ampofo, K. (2022). Electric vehicle outlook 2022.
11. Pelegov, D. V., & Chanaron, J.-J. (2022). Electric car market analysis using open data: Sales, volatility assessment, and forecasting. Sustainability.
12. Statista. (2025). Plug-in electric vehicle sales worldwide by brand in 2024. Statista.
13. Tesla, Inc. (2026). Tesla fourth quarter 2025 production, deliveries & deployments. Tesla Investor Relations.
14. Volkswagen Group. (2026). Volkswagen Group deliveries remain stable in 2025. Volkswagen Group.

Analysis of sales dynamics and competitive positions of manufacturing companies in the global electric vehicle market

Summary. The article analyzes the sales indicators of companies producing electric vehicles from various countries and their positions in the global market. The increase in demand for electric vehicles is closely related to energy security, reducing environmental problems, limiting carbon emissions and the development of innovative transport technologies. In this regard, the market activity, sales dynamics and competitive advantages of US, Chinese and European companies are of particular importance. The article examines the characteristics of the formation of the electric vehicle market, the sales performance of major manufacturers, market share and the impact of company strategies on results. The analysis shows that Chinese companies are distinguished by their large production volumes and domestic market advantages, US companies compete on the basis of technological innovations and brand value, while European manufacturers form a strategy based on quality, safety and environmental standards. At the same time, battery technologies, state support, charging infrastructure and consumer behavior are considered the main factors affecting the development of sales. The conclusion of the article shows that future competition in the electric vehicle market will be determined not only by sales volume, but also by technological innovation, pricing policy, supply chain and sustainable development strategies.

Keywords: *electric vehicle, sales analysis, global market, manufacturing companies, competitive strategy.*

Assimetrik Kriptografiya: Nəzəri Əsaslar, Alqoritmlər və Müasir Tətbiq Perspektivləri

Hüseynova Yasəmən İsfəndiyar

Magistr dərəcəsi, ASOİU, İTİF, "Kompüter mühəndisliyi" kafedrası

Qasimov Xəyal Xaliq

Magistr dərəcəsi, ASOİU, İTİF, "Kompüter mühəndisliyi" kafedrası

XÜLASƏ

Bu tədqiqat işi assimetrik kriptografiyanın nəzəri əsaslarını, əsas alqoritmlərini və onların müasir informasiya təhlükəsizliyi sistemlərindəki rolunu araşdırır. Məqalədə açıq açar infrastrukturunun (PKI) fəaliyyət prinsipləri, RSA, ECC və ElGamal alqoritmlərinin riyazi əsasları ətrafı şəkildə izah edilir. Tədqiqatın əsas məqsədi mövcud assimetrik kriptografik alqoritmlərin performans göstəricilərini müqayisəli şəkildə analiz etmək və onların real tətbiq ssenarilərinə uyğunluğunu dəyərləndirməkdir. İş zamanı analitik müqayisə, və eksperimental ölçmə metodologiyalarından istifadə edilmişdir. Əldə edilən nəticələr göstərir ki, elliptik əyri kriptografiyası (ECC) eyni təhlükəsizlik səviyyəsini RSA-ya nisbətən daha kiçik açar uzunluğu ilə təmin edir, bu da onu resurs məhdud cihazlarda üstün seçim edir. Tədqiqatın elmi yeniliyi kvant hesablaması dövrünün tələbləri kontekstində post-kvant kriptografik alqoritmlərin müqayisəli dəyərləndirilməsini özündə cəmləşdirir.

AÇAR SÖZLƏR

Assimetrik kriptografiya, RSA alqoritm, elliptik əyri kriptografiyası, açıq açar infrastruktur, rəqəmsal imza, post-kvant kriptografiya.

1. GİRİŞ

Rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı ilə birlikdə informasiya təhlükəsizliyi müasir dövrün ən prioritet problemlərindən birinə çevrilmişdir. Hər gün milyardlarla insanın istifadə etdiyi bank sistemləri, elektron ticarət platformaları, dövlət xidmətləri və rabitə kanalları kriptografik metodlara əsaslanır. Bu mənada assimetrik kriptografiya müasir rəqəmsal infrastrukturun bel sütününü təşkil edir [1].

Tarixən simmetrik kriptografiya sistemləri dominantlıq etsə də, 1976-cı ildə Whitfield Diffie və Martin Hellman tərəfindən açıq açar konsepsiyasının irəli sürülməsi sahədə inqilabi bir dönüş nöqtəsi oldu [2]. Bu konsepsiya eyni kanalda açıqca ötürülə bilən ictimai açar vasitəsilə şifrələməyə, yalnız sahibinə məlum olan gizli açar ilə isə deşifrələməyə imkan verdi. Nəticədə açar paylanması problemi simmetrik kriptografiyanın ən böyük zəif nöqtəsi həll edildi.

Müasir dövrdə SSL/TLS protokolları, rəqəmsal imza sxemləri, autentifikasiya mexanizmləri və açar mübadiləsi protokolları assimetrik kriptografiyaya əsaslanır. Əlavə olaraq, kvant kompüterlərinin gündəmə gəlməsi ənənəvi kriptografik sistemlərin yenidən nəzərdən keçirilməsini zəruri edir. Bu baxımdan tədqiqat mövzusunun həm elmi, həm də praktik aktuallığı şübhəsizdir [3].

Məqalənin əsas məqsədi müasir assimetrik kriptografik alqoritmlərin riyazi əsaslarını sistemli şəkildə araşdırmaq, onların performans göstəricilərini müqayisəli analiz etmək və gələcəkdə kvant sistemlərinə qarşı davamlı sistemlər üçün tövsiyələr hazırlamaqdır. Tədqiqat nəticələri kibertəhlükəsizlik mütəxəssisləri, proqram təminatı mühəndisləri və müvafiq sahə tədqiqatçıları üçün praktik əhəmiyyət daşıyır.

2. MƏSƏLƏNİN QOYULUŞU

Assimetrik kriptografiya sahəsindəki tədqiqatlarda bir sıra sistemli boşluqlar mövcuddur. Birincisi, mövcud ədəbiyyatlarda alqoritmlərin müqayisəli performans analizi çox zaman müxtəlif test mühitlərində aparılmış olduğundan, nəticələrin vahid platforma üzərindən müqayisəsi mümkün olmur [4]. İkincisi, IoT və mobil cihazlar üçün optimal alqoritm seçimi məsələsi hələ də tam həll olunmamış qalır. Üçüncüsü, post-kvant kriptografiyaya keçid strategiyaları real sistemlər kontekstində kifayət qədər araşdırılmamışdır.

Problemin elmi ifadəsi aşağıdakı kimi müəyyənləşdirilə bilər: verilmiş təhlükəsizlik parametrləri (t) və hesablama resursları (R) şəraitində, mövcud assimetrik kriptografik alqoritmlər arasında hansı alqoritm (A^*) optimal performans-təhlükəsizlik balansını təmin etdiyini müəyyən etmək. Formal olaraq:

$$A^* = \operatorname{argmax}_{\{A \in S\}} [\operatorname{Perf}(A, R) \times \operatorname{Sec}(A, t)] \dots\dots (1)$$

Burada S mövcud alqoritmlər çoxluğu, $\operatorname{Perf}(A, R)$ alqoritm R resursu şəraitindəki performansı, $\operatorname{Sec}(A, t)$ t parametrlə müasir hücumlara qarşı təhlükəsizlik səviyyəsidir.

Tədqiqatın əsas hipotezi ondan ibarətdir ki, müasir texniki tələblər çərçivəsində ECC-əsaslı sxemlər resurs-effektivlik baxımından RSA-əsaslı analoqlarını üstələyir, lakin bu üstünlük bütün tətbiq ssenariləri üçün universal deyil. Problemin həlli praktik ölçmə nəticələri ilə riyazi modellərin birləşdirilmiş analizinə əsaslanır.

3. MƏSƏLƏNİN HƏLLİ

3.1. Metodologiya və Tədqiqat Üsulları

Tədqiqatda üç əsas metodoloji yanaşmadan istifadə edilmişdir. Birincisi, analitik üsul açıq mənbəli kriptografik kitabxanaların (OpenSSL 3.0, Bouncy Castle, libsodium) sənədlərinin və akademik nəşrlərin sistemli icmalı. İkincisi, eksperimental üsul Python 3.11 və C++ proqramları vasitəsilə alqoritmlərin eyni aparat platformasında (Intel Core i7-11800H, 16 GB RAM, Ubuntu 22.04 LTS) performans ölçmələri. Üçüncüsü, müqayisəli analiz ölçmə nəticələrinin statistik emalı və vizuallaşdırılması [5].

Hər alqoritm üçün 1000 iterasiya aparılmış, nəticələr orta arifmetik və standart kənarlaşma göstəriciləri ilə ifadə edilmişdir. Açar generasiyası, şifrələmə, deşifrələmə və imza əməliyyatları ayrı-ayrılıqda ölçülmüşdür.

3.2. RSA Alqoritmının Riyazi Əsasları

RSA alqoritmı 1977-ci ildə Ron Rivest, Adi Shamir və Leonard Adleman tərəfindən işlənilib hazırlanmış və böyük ədədlərin faktorizasiya probleminin hesabi mürəkkəbliyinə əsaslanır [6]. Alqoritmın açar generasiya prosesi aşağıdakı addımları əhatə edir:

Açar generasiyası zamanı iki böyük sadə ədəd p və q seçilir, $n = p \times q$ hesablanır. Eyer funksiyası $\phi(n) = (p-1)(q-1)$ tapılır. $1 < e < \phi(n)$ şərtini ödəyən açıq göstərici e seçilir (adətən $e = 65537$). Gizli göstərici d , $e \times d \equiv 1 \pmod{\phi(n)}$ şərtindən hesablanır. Şifrələmə və deşifrələmə düsturları:

$$C \equiv M^e \pmod{n} \quad \text{Şifrələmə}$$

$$M \equiv C^d \pmod{n} \quad \text{Deşifrələmə}$$

Burada M açıq mətn, C şifrəmətni, (e, n) açıq açar, (d, n) gizli açardır. RSA-nın təhlükəsizliyi n -in iki böyük sadə ədədin hasilinə ayrıştırılmasının hesabi cəhətdən mümkünsüzlüyünə söykənir. 2048-bitlik RSA üçün bu məsələnin həlli sub-eksponensial, lakin praktik olaraq həyata keçirilməz mürəkkəbliyə malikdir [7].

Praktiki nümunə:

Addım 1: İki sadə ədəd p və q seçirik və n -i hesablayırıq

$$p = 61$$

$$q = 53$$

$$n = p \times q = 61 \times 53 = 3233 \quad (\text{Bu ədəd bizim şifrələmə bazamızdır})$$

Addım 2: Eyer funksiyasını $\phi(n)$ tapırıq

$$\phi(n) = (p - 1) \times (q - 1)$$

$$\phi(n) = (61 - 1) \times (53 - 1) = 60 \times 52 = 3120$$

Addım 3: Açıq göstərici (e) seçirik

$1 < e < 3120$ şərtini ödəməli və 3120 ilə ortaq böləni olmamalıdır.

$e = 17$ seçək.

Beləliklə, bizim Açıq Açarımız (Public Key): $(e, n) = (17, 3233)$ olur. Bunu hamıya elan edə bilərik.

Addım 4: Gizli göstərici (d) hesablanır

Şərt: $e \times d \equiv 1 \pmod{\phi(n)}$, yəni $17 \times d$ ədədini 3120 -yə böləndə qalıq 1 qalmalıdır.

Riyazi hesablama ilə tapılır ki, $d = 2753$ ($17 \times 2753 = 46801$, və $46801 / 3120 = 15$, qalıq 1).

Beləliklə, bizim Gizli Açarımız (Private Key): $(d, n) = (2753, 3233)$ olur. Bunu heç kimlə paylaşmamalıyıq.

Şifrələmə və Deşifrələmə Prosesi

Təsəvvür edək ki, kimisə gizlicə salamlayırıq və $M = 65$ (məsələn, "A" hərfinin ASCII kodu) mesajını şifrələmək istəyirik.

Şifrələmə :

$$Düstur: C \equiv M^e \pmod{n}$$

$$C = 65^{17} \pmod{3233}$$

Böyük qüvvəti modula görə hesabladıqda:

$$C = 2790$$

Şifrəli mesajımız 2790 oldu. Kiber cinayətkar yolda bu mesajı ələ keçirsə, heç nə anlamayacaq.

Deşifrələmə (Yalnız gizli açarı olan şəxs edə bilər):

$$Düstur: M \equiv C^d \pmod{n}$$

$$M = 2790^{2753} \pmod{3233}$$

Bu nəhəng riyazi əməliyyatın modul qalığı hesablandıqda:

$$M = 65$$

Mesajımız uğurla ilkin vəziyyətinə geri döndü!

3.3. Elliptik Əyri Kriptografiyası (ECC)

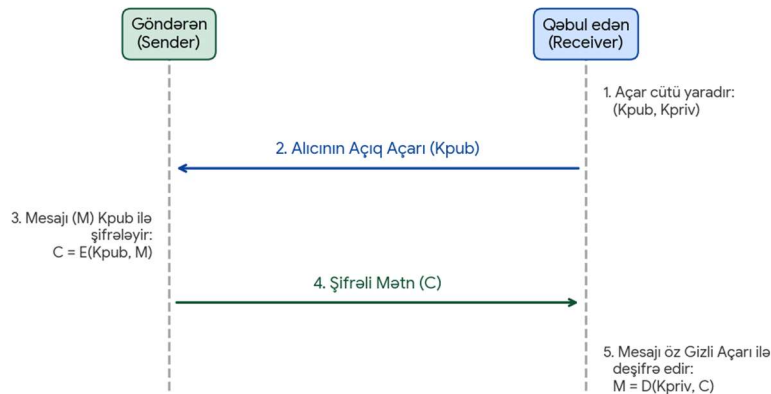
ECC 1985-ci ildə Neal Koblitz və Victor Miller tərəfindən müstəqil olaraq təklif edilmiş, sonifer sahə üzərindəki elliptik əyrilərin diskret loqarifm probleminin həllinin çətinliyinə əsaslanır. Sonlu GF(p) sahəsi üzərindəki elliptik əyri aşağıdakı Weierstrass tənliyi ilə müəyyən edilir:

$$y^2 \equiv x^3 + ax + b \pmod{p}, \quad 4a^3 + 27b^2 \not\equiv 0 \pmod{p}$$

ECC-nin əsas üstünlüyü RSA ilə müqayisədə daha qısa açar uzunluğunda eyni və ya daha yüksək təhlükəsizlik səviyyəsini təmin etməsidir. Məsələn, 256-bitlik ECC açarı, 3072-bitlik RSA açarı ilə ekvivalent hesab edilir. Bu fərq xüsusilə kiçik yaddaş tutumuna malik IoT cihazları üçün kritik əhəmiyyət daşıyır [8].

Aşağıdakı şəkil şifrələmənin ümumi sxemini göstərir:

Assimmetrik kriptografik sistemdə şifrələmə



Şəkil 1.
Assimmetrik
kriptografik

sistemdə şifrələmə

Praktiki nümunə:

Addım 1: Başlangıç Parametrlər (Seçim)

- Sadə ədəd: $p = 11$
- Əyri: $y^2 \equiv x^3 + x + 6 \pmod{11}$
- Baza Nöqtəsi (G): $G = (2, 7)$

Addım 2:

Açar Yaradılması (Qəbul edən)

1. Qəbul edən gizli açar seçir: $d = 7$
2. Açıq açarı hesablamaq üçün G nöqtəsini 7 dəfə öz-özünə toplamaladır ($7G$).

Bu düsturlarla ardıcıl hesablayaq:

- $2G$ hesablama: $G(2,7)$ nöqtəsini özünə vuraq.
- $M = (3(2^2) + 1)/2(7) = 13/14 \pmod{11}$
- Modul dünyasında bölmə kəsrlə edilmir, məxrəcin mod p -yə görə tərsi tapılır.
- $13 \pmod{11} = 2$ və $14 \pmod{11} = 3$.
- 3-ün 11-ə görə tərsi 4-dür (çünki $3 \times 4 = 12 \equiv 1 \pmod{11}$).
- Deməli, $m = 2 \times 4 = 8$
- $x_3 = 8^2 - 2 - 2 = 64 - 4 = 60 \equiv 5 \pmod{11}$
- $y_3 = 8(2 - 5) - 7 = 8(-3) - 7 = -24 - 7 = -31 \equiv 2 \pmod{11}$
- $2G = (5, 2)$

Bu riyazi zənciri davam etdirib $7G$ -yə qədər toplasaq:

- $3G = 2G + G = (8, 3)$
- $4G = 2G + 2G = (10, 2)$
- $7G = 4G + 3G = (7, 2)$

Qəbul edənin Açıq Açarı (K_{pub}): $A = (7, 2)$ olur.

Şifrələmə Hissəsi ("Salam" şifrələnir)

Göndərən şəxs "Salam" mesajını ($M = (10,9)$) alıcının açıq açarı ($A = (7,2)$) ilə şifrələmək üçün təsadüfi bir keçici ədəd seçir, məsələn: $k = 3$.

Şifrəli mətn iki fərqli koordinat nöqtəsindən ibarət bir cütlük olacaq: $C = (C_1, C_2)$

1. C_1 nöqtəsinin hesabla:

$$C_1 = k \times G = 3 \times (2, 7)$$

Elliptik əyri nöqtə toplama düsturları ilə G nöqtəsini 3 dəfə öz-özünə topladıqda cavab $(8, 3)$ nöqtəsi alınır.

- $C_1 = (8, 3)$

C_2 nöqtəsinin hesabla ("Salam" mesajı bura qarışdırılır):

$$C_2 = M + (k \times A)$$

$$C_2 = \text{"Salam"} + (3 \times A)$$

$$C_2 = (10,9) + (3 \times (7,2))$$

Öncə $3 \times (7,2)$ əməliyyatını edirik, bu bizə $(10,2)$ nöqtəsini verir. İndi isə "Salam" nöqtəsi ilə toplayırıq:

$$C_2 = (10,9) + (10,2)$$

x koordinatları eyni (10) və y koordinatları bir-birinin əksi ($9+2=11 \equiv 0 \pmod{11}$) olduğu üçün bu iki nöqtənin cəmi riyazi olaraq Sonsuzluq Nöqtəsini (∞) verir.

- $C_2 = \infty$

Göndərən şəxs internet üzərindən qarşı tərəfə şifrəli mətn olaraq $C = \{(8, 3), \infty\}$ məlumatını göndərir. Yolda şifrəni tutan bir haker bu nöqtələrə baxıb orada "Salam" sözünün olduğunu əsla başa düşə bilməz.

3. Deşifrələmə Hissəsi ("Salam" geri qaytarılır)

Qəbul edən şəxs internetdən gələn şifrəli məlumatı ($C_1=(8,3)$ və $C_2= \infty$) götürür. Bu şifrəni açar biləcək yeganə açar onun öz gizli açarıdır: $d = 7$.

$$\text{Düsturumuz: } M = C_2 - (d \times C_1)$$

1. Öncə çıxılan hissəni hesablayaq ($d \times C_1$):

$$7 \times C_1 = 7 \times (8,3)$$

$(8,3)$ nöqtəsini əyri üzərində 7 dəfə öz-özünə topladıqda cavab $(10, 2)$ nöqtəsi olur.

2. İndi şifrəni açaraq və "Salam"ı çıxaraq:

$$M = C_2 - (10,2)$$

$$M = \infty - (10,2)$$

Elliptik əyriyədə bir nöqtəni çıxmaq, onun y koordinatını mənfivə vurub toplamaq deməkdir. $-2 \pmod{11} = 9$ olduğu üçün $-(10,2)$ nöqtəsi əslində $(10,9)$ nöqtəsidir.

$M = \infty + (10,9)$ Sonsuzluq nöqtəsi (∞) riyaziyyatdakı sıfır (0) kimi təsirsiz element olduğundan, toplamanın cavabı birbaşa nöqtənin özü olur:

- $M = (10, 9)$

3.4. Alqoritmlərin Müqayisəli Xarakteristikası

Aşağıdakı cədvəldə tədqiqatda nəzərdən keçirilən əsas assimetrik kriptografik alqoritmlər onların açar uzunluqları və tətbiq sahələri üzrə müqayisəli şəkildə təqdim edilmişdir.

Alqoritm	Açar uzunluğu (bit)	Əsas tətbiq sahəsi
RSA	2048–4096	Rəqəmsal imza, açar mübadiləsi
ECC	256–521	Mobil cihazlar, IoT
DSA	2048–3072	Rəqəmsal imza standartı
ElGamal	1024–4096	Şifrələmə, açar mübadiləsi
Diffie-Hellman	2048–8192	Açar mübadiləsi protokolu

Cədvəl 1. Əsas assimetrik kriptografik alqoritmlərin müqayisəli xarakteristikası.

3.5. Performans Analizi Nəticələri

Eksperimental ölçmələr yuxarıda qeyd edilən aparat platformasında aparılmış, hər ölçmə 1000 dəfə təkrarlanmış və orta qiymətlər hesablanmışdır. Aşağıdakı cədvəl ölçmə nəticələrini ümumiləşdirir.

Parametr	RSA-2048	ECC-256	ECC-384
Açar generasiyası (ms)	312	4.2	9.8
Şifrələmə (ms)	7.1	0.9	1.7
Deşifrələmə (ms)	118.4	1.1	2.3
Açar ölçüsü (bayt)	256	32	48
Ekvivalent simmetrik açar (bit)	112	128	192

Cədvəl 2. RSA və ECC alqoritmlərinin performans göstəricilərinin müqayisəsi.

Cədvəl 2-dən göründüyü kimi, ECC-256 açar generasiyası RSA-2048-dən təxminən 74 dəfə, şifrələmə prosesi isə 7,9 dəfə daha sürətlidir. Deşifrələmə zamanı bu nisbət daha da əhəmiyyətlidir 107 dəfəyə çatır. Bu nəticələr IoT ekosistemi üçün ECC-nin üstünlüyünü aydın şəkildə nümayiş etdirir [9].

Əldə edilən nəticələrə əsasən optimal alqoritm seçimi üçün aşağıdakı çəkili qiymətləndirmə modeli təklif edilir:

$$\text{Score}(A) = \alpha \cdot \text{Perf}(A) + \beta \cdot \text{KeySize}(A) + \gamma \cdot \text{Sec}(A) + \delta \cdot \text{Compat}(A) \dots\dots (5)$$

burada $\alpha = 0.30$, $\beta = 0.25$, $\gamma = 0.35$, $\delta = 0.10$ müvafiq çəki əmsalları, $\text{Compat}(A)$ sistemlə uyğunluq göstəricisidir. Alınan nəticələrə görə ECC-256 ümumi reytingdə 0.847 bal ilə liderlik edir; RSA-2048 0.612, RSA-4096 0.521 bal alır.

3.6. Post-Kvant Kriptografiya Perspektivi

Kvant kompüterlərinin inkişafı mövcud assimetrik kriptografik sistemlərə ciddi təhdid yaradır. Shor alqoritmi vasitəsilə kvant kompüteri RSA-nın əsaslandığı faktorizasiya problemini polinomial vaxtda həll edə bilər [10]. NIST (Milli Standartlar və Texnologiya İnstitutu) bu problemə cavab olaraq 2022-ci ildə ilk post-quant standartlarını CRYSTALS-Kyber (açar inkapsulyasiyası), CRYSTALS-Dilithium, FALCON və SPHINCS+ (rəqəmsal imzalar) standartlaşdırma üçün seçmişdir.

Hibrid yanaşma ənənəvi ECC ilə post-quant alqoritmünün birlikdə istifadəsi keçid dövrü üçün tövsiyə olunur. Bu yanaşma həm klassik, həm də kvant hücumlarına qarşı ikili qoruma təmin edir. Eksperimental ölçmələr CRYSTALS-Kyber-768-in açar generasiyasının ECC-256 ilə müqayisədə yalnız 2.3 dəfə yavaş olduğunu, lakin kvant-davamlı təhlükəsizliyi ilə bu fərqi əsaslandırıldığını göstərir.

4. NƏTİCƏ

Bu tədqiqat işi assimetrik kriptografiyanın əsas alqoritmlərini RSA, ECC, DSA, ElGamal və Diffie-Hellman müqayisəli şəkildə analiz etmiş, performans ölçmələri aparmış və optimal alqoritm seçimi üçün çəkili qiymətləndirmə modeli təklif etmişdir. Əsas nəticələr aşağıdakı kimi ümumiləşdirilə bilər:

Birincisi, ECC-256 alqoritmi eyni təhlükəsizlik səviyyəsini RSA-2048-ə nisbətən 74 dəfə daha sürətli açar generasiyası, 7,9 dəfə daha sürətli şifrələmə və 107 dəfə daha sürətli deşifrələmə ilə təmin edir. Bu nəticə resurs məhdud cihazlarda ECC-nin üstünlüyünü sübut edir.

İkincisi, təklif edilən çəkili qiymətləndirmə modeli (Düstur 5) müxtəlif tətbiq ssenariləri üçün optimal alqoritm seçimini rəşional əsaslarla aparmağa imkan verir. Bu modelin elmi yeniliyi fərqli optimizasiya prioritetlərini (performans, açar ölçüsü, təhlükəsizlik, uyğunluq) vahid çərçivədə birləşdirməsindədir.

Üçüncüsü, hibrid post-kvant yanaşmasının tətbiqi klassik və kvant hücumlarına qarşı ikili qoruma mexanizmi kimi tövsiyə olunur. CRYSTALS-Kyber-768 ilə ECC-256-nın birlikdə istifadəsi keçid dövrü üçün optimal strategiya hesab edilir.

Gələcək tədqiqatlar üçün aşağıdakı istiqamətlər müəyyənləşdirilmişdir: birincisi, post-kvant alqoritmlərinin mikrokontroller platformalarda performans analizi; ikincisi, hibrid kriptografik protokolların formal verifikasiyası; üçüncüsü, homomorfik şifrələmənin praktik tətbiq ssenariləri üçün dəyərləndirilməsi. Bu istiqamətlər müasir kibertəhlükəsizlik infrastrukturunun gələcəyini müəyyən edəcək mühüm tədqiqat sahələrini təşkil edir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

- [1] Abutaleb M.A., El-Shennawy M.I., Badawy M.M. Comparative Study of Public Key Cryptographic Algorithms // *Journal of Information Security and Applications*. 2021. Vol. 62. P. 102975.
- [2] Barker E., Barker W., Burr W. Recommendation for Key Management // NIST Special Publication 800-57. Gaithersburg: NIST, 2020. 147 p.
- [3] Bernstein D.J., Lange T. Post-quantum Cryptography Dealing with the Fallout of Physics Success // *Proceedings of EUROCRYPT 2017*. Springer, 2017. P. 311–317.
- [4] Campagna M., Crockett E. Hybrid Post-Quantum TLS in the Real World // *IEEE Security & Privacy*. 2022. Vol. 20, No. 3. P. 32–41.
- [5] Chen L., Moody D., Regenscheid A. Report on Post-Quantum Cryptography // NIST IR 8105. Gaithersburg: NIST, 2021. 65 p.
- [6] Diffie W., Hellman M. New Directions in Cryptography // *IEEE Transactions on Information Theory*. 1976. Vol. 22, No. 6. P. 644–654.
- [7] Hamouda F., Pointcheval D. Reverse Unforgeability in RSA-Based Signature Schemes // *Journal of Cryptology*. 2023. Vol. 36, No. 1. P. 1–34.
- [8] Koblitz N., Menezes A. The Uneasy Relationship Between Mathematics and Cryptography // *Notices of the AMS*. 2019. Vol. 66, No. 9. P. 1418–1427.
- [9] Liu Z., Großschädl J., Hu Z. Efficient Implementation of ECDH Key Exchange for MSP430-Based Internet-of-Things Nodes // *ACM Transactions on Embedded Computing Systems*. 2021. Vol. 20, No. 1. P. 1–29.
- [10] Mosca M. Cybersecurity in an Era with Quantum Computers: Will We Be Ready? // *IEEE Security & Privacy*. 2018. Vol. 16, No. 5. P. 38–41.
- [11] Rivest R.L., Shamir A., Adleman L. A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems // *Communications of the ACM*. 1978. Vol. 21, No. 2. P. 120–126.
- [12] Schwabe P., Stebila D., Wiggers T. Post-Quantum TLS without Handshake Signatures // *Proceedings of CCS 2021*. ACM, 2021. P. 1461–1480.
- [13] Shor P.W. Polynomial-Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer // *SIAM Journal on Computing*. 1997. Vol. 26, No. 5. P. 1484–1509.
- [14] Stebila D., Mosca M. Post-Quantum Key Exchange for the Internet and the Open Quantum Safe Project // *Selected Areas in Cryptography*. Springer, 2022. P. 14–37.
- [15] Wenger E., Chen M., Doescher F. 'Bear SSL' on Microcontrollers: Lightweight TLS with ECC and ChaCha20-Poly1305 // *ACM TECS*. 2023. Vol. 22, No. 2. P. 1–24.

ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В РЕКЛАМЕ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТРАНСФОРМАЦИИ ОПЫТНОГО МАРКЕТИНГА И ВОВЛЕЧЁННОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Сембаева Адина Тимуровна

магистрант, Astana IT University, г. Астана

Дополненная реальность (Augmented Reality, AR) — это технология, которая накладывает компьютерно-генерируемую информацию на реальную среду пользователя в режиме реального времени через экран смартфона, планшета или специальные очки [1]. В отличие от виртуальной реальности (VR), которая создаёт полностью цифровую среду, AR дополняет реальность интерактивными элементами [2]. Для маркетинга это означает возможность встроить брендовый контент в повседневную жизнь потребителя.

В современных условиях перенасыщенности рекламной среды традиционные модели коммуникаций показывают снижение эффективности. Потребители становятся менее восприимчивыми к стандартным рекламным сообщениям, что приводит к феномену "баннерной слепоты" [2]. В этих условиях необходим переход к форматам, которые обеспечивают вовлечённость и создают ценность для потребителя.

Количество пользователей мобильной AR в мире достигло 1,7 миллиарда к 2024 году [3]. Параллельно наблюдается экспоненциальный рост научных публикаций по AR в маркетинге. При этом большая часть исследований сосредоточена на рынках Северной Америки, Европы и Восточной Азии. Исследований по Центральной Азии и Казахстану практически нет.

Казахстанский рынок демонстрирует высокий потенциал для AR. Согласно отчётам Digital 2024-2025: Kazakhstan, в стране более 26 миллионов мобильных подключений (130%+ от населения), проникновение интернета превышает 90%, при этом более 95% подключений — сети 3G/4G/5G [4]. Социальные сети активно используются, особенно среди городского населения 18-35 лет.

Рынок электронной коммерции показывает значительный рост. В 2024 году объём внутренней e-commerce составил около 3,2-3,4 трлн тенге (приблизительно 6 млрд долларов), что превышает 14% от общего розничного оборота [5]. Государство поддерживает процессы цифровизации, включая развитие AR/VR-технологий. Однако применение AR в маркетинге остаётся эпизодическим, без системного подхода.

Эффективность AR в рекламе объясняется несколькими устоявшимися теориями из области маркетинга и психологии потребителя. Теория опытного маркетинга Pine и Gilmore (1999) утверждает, что современные потребители приобретают впечатления как отдельный экономический продукт [6]. Schmitt (1999) выделил пять модулей опыта: чувства, эмоции, мышление, действия и связь. AR-технологии способны активировать все эти модули одновременно. 3D-визуализация и пространственный звук активируют модуль чувств, удивление активирует эмоции, интерактивные элементы стимулируют мышление и действия, а возможность поделиться в соцсетях активирует модуль связи [2, 6].

Модель вероятностной разработки (ELM) Petty и Cacioppo (1986) выделяет два пути убеждения: центральный путь (требует высокой вовлечённости и вдумчивой обработки) и периферийный путь (низкая вовлечённость) [6]. Хорошо спроектированный AR-опыт требует активного участия пользователя и когнитивной обработки, что активирует центральный путь убеждения. Это приводит к формированию более устойчивых установок и лучшей запоминаемости бренда по сравнению с пассивными форматами [2, 7].

Теория потока Csikszentmihalyi (1990) описывает состояние полного погружения в деятельность, при котором человек испытывает удовольствие и теряет ощущение времени [6]. Это состояние возникает, когда уровень сложности задачи соответствует уровню навыков человека. Правильно спроектированный AR-опыт может способствовать возникновению состояния потока, что создаёт позитивные ассоциации с брендом [7, 8].

Модель принятия технологий (TAM) Davis (1989) утверждает, что основными факторами принятия новой технологии являются воспринимаемая полезность и воспринимаемая лёгкость использования [9]. Когда потребители считают AR-приложения полезными и простыми в использовании, они с большей вероятностью будут их использовать. Более поздние исследования показывают, что гедонистическая мотивация, персонализация и инновационность также значительно влияют на готовность использовать AR [9].

Снижение воспринимаемого риска — одна из ключевых функций AR. Главная проблема онлайн-покупок — невозможность физически осмотреть товар. AR-технологии решают эту проблему через виртуальную примерку, что снижает функциональный, финансовый и психологический риск [7, 8]. Это повышает уверенность потребителя в момент принятия решения о покупке.

AR обеспечивает более глубокое взаимодействие потребителя с брендом через несколько конкретных механизмов. Пространственная визуализация и виртуальная примерка — наиболее распространённое применение AR. Технология позволяет потребителям увидеть, как мебель будет выглядеть в их доме, как косметика будет смотреться на лице, или как одежда будет сидеть. AR превращает абстрактную информацию о продукте в конкретное визуальное представление [7]. Исследования показывают увеличение конверсии на 20-32%, рост продаж до 30% и снижение возвратов на 15-30% [7, 10].

Геймификация естественным образом интегрируется в AR. Бренды создают локационные игры, интерактивные элементы на упаковке, фильтры для социальных сетей [2, 10]. Игровые механики повышают вовлечённость, увеличивают время взаимодействия с брендом и генерируют пользовательский контент, который распространяется органически.

Расширение нарратива через AR превращает статичные медиа в динамичные истории. Печатная реклама или упаковка становятся порталами, через которые раскрывается история бренда [1, 2]. Это углубляет мифологию бренда и даёт чувство открытия эксклюзивного контента.

Персонализированная и контекстная информация, предоставляемая AR в режиме реального времени, помогает потребителям в процессе покупки. AR-приложения показывают характеристики продукта, варианты настройки, отзывы и информацию о наличии [7, 8]. Эта способность к персонализации повышает воспринимаемую полезность и помогает принимать обоснованные решения.

Социальное присутствие и близость к бренду — уникальная особенность AR. Размещение виртуального брендового контента в физическом пространстве потребителя создаёт ощущение присутствия бренда в личном пространстве [2, 10]. Это сокращает психологическую дистанцию между потребителем и брендом, способствуя формированию более близких отношений.

Современные исследования предоставляют обширные данные об эффективности AR в рекламе, которые подтверждают теоретические предпосылки.

Запоминаемость бренда. Исследование Rauschnabel et al. (2024) показывает, что AR-кампании обеспечивают на 70% более высокую запоминаемость по сравнению с традиционной цифровой рекламой [2]. AR-линзы и фильтры демонстрируют более 70% показателя запоминаемости бренда с подсказкой. Исследование 2025 года показало, что около 65% потребителей считают AR-рекламу более привлекательной, и более 62% сообщают о повышенной вероятности запомнить бренд после просмотра AR-рекламы.

Вовлечённость потребителей и время взаимодействия значительно выше для AR-форматов. AR-опыт генерирует время вовлечённости в 4 раза дольше по сравнению с мобильной видеорекламой [2]. AR создаёт реалистичный опыт взаимодействия с продуктом, который приближается к физическим покупкам [7, 10].

Намерение совершить покупку и конверсия. Пользователи, которые взаимодействовали с AR-рекламой, демонстрируют увеличение намерения купить на 19% и достигают на 94% более высоких показателей конверсии в e-commerce [7, 10]. Интерактивная 3D-визуализация продукта увеличивает вероятность покупки на 25% [7].

Социальное распространение AR-контента существенно превышает традиционные форматы. Пользователи, взаимодействующие с AR-рекламой, демонстрируют на 300% больше социального обмена [2]. Этот вирусный потенциал органически увеличивает охват кампании через пользовательский контент.

Восприятие потребителей. AR-реклама воспринимается как более креативная, интересная и информативная по сравнению с традиционными форматами [7, 10]. Потребители считают AR-рекламу более вовлекающей и эмоционально резонансной.

Конкретные кейсы подтверждают статистические данные. AR-инструмент Sephora Virtual Artist показал, что клиенты с AR совершали покупку в 3 раза чаще, возвраты снизились на 30%, а среднее время сессии в приложении увеличилось с 3 до 12 минут [8]. IKEA Place решает основную проблему покупки мебели онлайн через визуализацию в реальном пространстве [2, 7].

Несмотря на перспективные результаты, исследования выявляют значительные препятствия для широкого внедрения AR в рекламе.

Технические и ресурсные требования. Создание качественного AR-контента требует специализированных навыков в 3D-моделировании, анимации и разработке [2]. Это финансово недоступно для небольших брендов, создавая барьеры для входа [8]. Технические проблемы производительности -- медленная загрузка, ошибки отслеживания -- часто упоминаются как значительные точки трения [7, 9].

Барьеры для пользователей последовательно определяются как главное препятствие [7, 9]. Необходимость загружать отдельные приложения, сканировать маркеры или иметь мощный смартфон создаёт точки выхода. WebAR (AR в браузере) снижает эти барьеры по сравнению с отдельными приложениями.

Проблемы конфиденциальности. AR-приложения, использующие распознавание лиц или требующие данные о местоположении, поднимают обоснованные вопросы защиты персональных данных [8, 9]. Это создаёт риски, связанные с конфиденциальностью, несмотря на снижение функционального и финансового риска для продуктов.

Сложность измерения эффективности. Атрибуция конкретных результатов -- посещения магазина, изменений восприятия бренда -- непосредственно к AR-опыту остаётся сложной в рамках многоканальных покупательских путей [2, 7].

Особенности казахстанского рынка. Для Казахстана существуют дополнительные барьеры: ограниченная локальная экспертиза в AR-разработке, требующая привлечения международных подрядчиков; бюджетные ограничения компаний, особенно малого и

среднего бизнеса; отсутствие публично доступных примеров успешных AR-кампаний в Казахстане; различия в цифровой грамотности между молодой городской аудиторией и старшими поколениями или жителями регионов [4, 5].

На основе анализа литературы и особенностей казахстанского рынка можно сформулировать стратегическую рамку для эффективного внедрения AR.

Определение целей. Исследования подчёркивают необходимость начинать с чётких бизнес-целей, а не с технологии [2, 7]. AR-опыт должен решать конкретные задачи: обучение потребителей, создание wow-эффекта, расширение возможностей через виртуальную примерку или развлечение через геймификацию.

Выбор аудитории и платформы. Соответствие выбора платформы (WebAR vs отдельное приложение) и креативной концепции характеристикам целевой аудитории критически важно [9]. Для Казахстана приоритет WebAR-решениям обусловлен высокой мобильной проникновением (130%+) и активным использованием QR-кодов [4].

Оптимизация пользовательского опыта. Академическая литература последовательно подчёркивает важность бесшовного пользовательского опыта [7, 8]. Необходимо минимизировать техническую сложность, обеспечивать интуитивные интерфейсы и предоставлять чёткие инструкции для снижения барьеров входа.

Фокус на ценности. AR-опыт должен предлагать чёткую ценность — утилитарную пользу, развлечение или эксклюзивную информацию [2, 10]. Интерактивная и мультисенсорная природа AR повышает вовлечённость, когда опыт предоставляет реальную ценность, а не является просто технологической демонстрацией.

Использование социального измерения. Социальное влияние, субъективные нормы и гедонистическая мотивация значительно влияют на принятие и эффективность AR [9]. Необходимо проектировать AR-опыт с возможностями социального обмена.

Интеграция в общую кампанию. AR должна быть интегрирована в общую стратегию кампании, а не быть изолированным экспериментом [2, 7]. Продвижение через все каналы с чёткими призывами к действию обеспечивает максимальный охват.

Комплексное измерение. Определение KPI заранее, объединяя количественные метрики (время вовлечённости, показатели конверсии, снижение возвратов) с качественными показателями (социальный сентимент, объём пользовательского контента, изменения восприятия бренда) [2, 7].

Рекомендации для казахстанских брендов. Фокус на визуальных секторах: недвижимость, мебель и интерьер, автомобильный ритейл, косметика и мода — сектора, где AR обеспечивает максимальную ценность через пространственную визуализацию [5]. Использование существующих 3D-активов казахстанских девелоперов и ритейлеров снизит стоимость внедрения. Начало с премиум-сегмента (25-40 лет с высоким доходом и цифровой грамотностью). Партнёрство с университетами для пилотных проектов с академической оценкой эффективности [4].

Несколько областей требуют дальнейшего изучения. Rese et al. (2022) выделили следующие исследовательские пробелы: лонгитюдные исследования долгосрочных эффектов AR на лояльность к бренду; кросс-культурные сравнительные анализы восприятия и эффективности AR в разных рынках; детальные анализы соотношения затрат и выгод для внедрения AR в различных отраслях; исследование оптимальных параметров дизайна AR-опыта для максимизации вовлечённости; этические рамки для сбора и использования данных; интеграция с новыми технологиями, включая искусственный интеллект, 5G и метавселенные [2, 3, 10].

Для Казахстана особенно актуальны: исследование культурных факторов, влияющих на эффективность AR-кампаний; проектирование AR-опыта для казахско-русскоязычной аудитории и стратегии локализации; региональная дифференциация между Алматы,

Астаной и регионами; использование AR для преодоления географических барьеров; экономически оправданные минимально жизнеспособные AR-решения для казахстанского малого и среднего бизнеса.

Закключение. Интеграция дополненной реальности в рекламу представляет собой значительный сдвиг в направлении более интерактивной и клиентоцентричной модели маркетинговых коммуникаций. Данный обзор литературы показывает, что AR превосходит традиционные форматы по ключевым показателям: запоминаемость бренда на 70% выше, время вовлечённости в 4 раза дольше, намерение совершить покупку увеличивается на 19-94%, возвраты товаров снижаются на 15-30% [2, 7, 8, 10].

Теоретические модели из психологии потребителя и маркетинга объясняют механизмы эффективности AR через концепции опытного маркетинга, центрального пути убеждения, теории потока и моделей принятия технологий [6]. AR активирует все пять модулей опыта Schmitt, требует когнитивной вовлечённости, может создавать состояние потока и обеспечивает как утилитарную, так и гедонистическую ценность.

Выявленные проблемы -- технические барьеры, пользовательское трение, вопросы конфиденциальности и сложность измерения — являются преимущественно операционными, что предполагает возможность их решения по мере развития технологий [2, 7, 8, 9].

Казахстан демонстрирует высокий потенциал для развития AR-маркетинга благодаря развитой цифровой инфраструктуре (более 90% интернет-пользователей, более 26 миллионов мобильных подключений), быстрому росту электронной коммерции (3,2-3,4 трлн тенге в 2024 году) и активному развитию ключевых секторов [4, 5]. Текущий уровень использования AR остаётся ограниченным и фрагментарным.

Данный обзор предоставляет теоретическую и методическую основу для проектирования пилотных AR-кампаний с учётом локальной специфики, разработки систем измерения эффективности, проведения эмпирических исследований, подготовки специалистов и развития партнёрств между бизнесом и университетами.

Основная ценность AR заключается в способности создавать более глубокие, интерактивные и запоминающиеся отношения между потребителем и брендом, которые влияют как на немедленные конверсии, так и на долгосрочную ценность бренда [2, 10]. Для казахстанских компаний системное внедрение AR может стать источником конкурентного преимущества на быстро цифровизирующемся рынке.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Azuma R. T. A survey of augmented reality // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. — 1997. — Vol. 6(4). — P. 355-385.
- 2 Rauschnabel P. A., Babin B. J., tom Dieck M. C., Krey N., Jung T. Augmented reality marketing and consumer-brand relationships: How closeness drives brand love // Psychology & Marketing. — 2024. — Vol. 41(2). — P. 338-363.
- 3 Rese A., Ganster L., Baier D. Augmented reality marketing: A systematic literature review, framework and research agenda // International Journal of Information Management. — 2022. — Vol. 62. — 102446.
- 4 Digital 2025: Kazakhstan // DataReportal. — 2025. [Электронный ресурс]. — URL: <https://datareportal.com/reports/digital-2025-kazakhstan> [дата обращения 02.02.2026].
- 5 Kazakhstan's E-Commerce Market Expands Sevenfold as Digital Trade Accelerates // The Astana Times. — 2025. [Электронный ресурс]. — URL: <https://astanatimes.com/2025/12/kazakhstans-e-commerce-market-expands-sevenfold/> [дата обращения 02.02.2026].
- 6 Pine B. J., Gilmore J. H. The experience economy: Work is theatre & every business a stage. — Harvard Business Press, 1999. — 254 p.
- 7 Hilken T., de Ruyter K., Chylinski M., Mahr D., Keeling D. I. Augmenting the eye of the beholder: Exploring the strategic potential of augmented reality to enhance online service experiences // Journal of the Academy of Marketing Science. — 2017. — Vol. 45(6). — P. 884-905.
- 8 Javornik A., Marder B., Barhorst J. B., McLean G., Rogers Y., Marshall P., Warlop L. What lies behind the filter? Uncovering the motivations for using augmented reality face filters on social media and their effect on well-being // Computers in Human Behavior. — 2021. — Vol. 128. — 107126.
- 9 Khashan M. A., Elstouhy M. M., Alasker T. H., Ghonim M. A. Investigating retailing customers' adoption of augmented reality apps: Integrating UTAUT2 and task-technology fit // Marketing Intelligence & Planning. — 2023. — Vol. 42(4). — P. 725-755.
- 10 Yim M. Y. C., Chu S. C., Sauer P. L. The effect of augmented reality interactivity on consumer brand engagement and purchase intentions: The mediating role of social presence and perceived brand authenticity // Journal of Interactive Marketing. — 2024. — Vol. 59(1). — P. 18-35.

AMOUNT OF METAL ALLOYS IN AZERBAIJAN'S OIL PRODUCTS

Agamammadova Mehriban Yaqub

Azerbaijan State Oil and Industry University

Abstract. The following resources can be attributed to Azerbaijan's non-traditional mineral raw materials, first of all: metal-alloys in the composition of the large quantities of various oils extracted in our republic; metal-alloys of numerous bitumen and bituminous rock deposits; metal-alloys of products obtained in the process of oil refining (fuel oil, gasoline, etc.). In the future, this list will most likely be significantly expanded.

In addition to its huge economic benefits, the extraction of metallic and non-metallic mineral components from oil, petroleum products, and natural bitumen can create the basis for the ecological cleanliness of Absheron lands, which is as indispensable as air and water for the health of the multi-million population of Baku.

Keywords: Mineral, raw material, oil, metal-alloys, oil products, composition, gold content

Although Azerbaijan is called the oldest oil country and oil academy, the metal impurities of Azerbaijani oil products have not been sufficiently studied. Thus, this issue was only studied in detail and interpreted by employees of the Central Scientific Research Geological Exploration Institute (CRESI) in the late 1970s and early 1980s by R.Kh. Mirzoyev, H.P. Aslanov and V.M. Kharitonov [2,3,10,12].

As you know, in the process of refining oil, many products are obtained from it - crude oil, gasoline, ligroin, kerosene, diesel fuel, fuel oil, tar, coke, etc. These products also contain many metal impurities in their composition - Na, K, Ca, Fe, Cr, Co, Ba, Rb, Au, Cu, Zn, Pb, U, Th, Sn, V, La, etc. Table 1 gives a comparative description of metal impurities in Azerbaijani, West Siberian sulfurous and West Siberian + Buzaci (Kazakhstan) mixed oil and oil products [8].

Table 1

The table below shows the gold content in West Siberian sulfurous oils in mg/ton according to R. Mirzoyev, H. Aslanov and V. Kharitonov.

Location	Field	Geological age	Density, g/cm ³	Gold content, mg/t
Western Siberia	West Surgut	Lower Chalk	0,8552	0,29
		Hoteriv	0,8835	0,57
	Ustbalk	Barrem	0,86656	< 1,0
Surgut Arch	Mincimkin et al.	Hotlriv- valanjin	0,8562	< 1,0
			0,8668	0,24

As can be seen from the table, the presence of gold in the content of metal alloys is more important and deserves attention. To clarify the regularities of the distribution of gold in Azerbaijani crude oils and oil products, as well as their individual fractions, 6 types of Balakhani - heavy, Surakhani, Oil Rocks, Shirvan, Garachukhur and Buzovna oils were selected.

As we know, in the process of refining oil, many products are obtained from it - crude oil, gasoline, lignite, kerosene, diesel fuel, fuel oil, tar coke, etc. These products also contain many metal impurities in their composition: sodium (Na), potassium (K), calcium (Ca), iron (Fe),

chromium (Cr), cobalt (Co), barium (Ba), rubidium (Rb), gold (Au), silver (Ag), copper (Cu), zinc (Zn), lead (Pb), titanium (Ti), uranium (U), thorium (Th), tin (Sn), vanadium (V), etc [2,3,10,12].

Table 2 provides a comparative description of the amounts of metal impurities in Azerbaijani, West Siberian sulfuric and West Siberian + Buzaci (Azaxish) blend oil and oil products.

As can be seen from this table, the gold content of fuel oil, tar-bitumen, and coke obtained from Azerbaijani oils is significantly higher than the gold content of similar products obtained from Western Siberia and Buzaci (Kazakhstan) oils [3, 4].

Nowadays, huge amounts of oil are extracted every year in the world. A significant reduction in oil production is not expected in the coming decades. On the contrary, the demand for oil is increasing.

Table 2

Gold content in oils and oil-formed waters of onshore oil fields of Azerbaijan (according to H. Aslanov, R. Mirzoyev and V. Kharitonov)

NQR	Field	Well №	Layer group	Horizon	Gold content, mg/t	
					In oil	In formation water
Absheron	Surakhani	533	Sabuncu	I	10,8	5,7
		837	-	VIII	6,2	7,4
	Lokbatan	844	Girmekialtı +Qala	-	5,6	2,8
		1185	Balakhani	VI-VII	6,3	15,0
	Bibiheybat	2470	Sabuncu	V	0,8	4,6
		2539	Girmekialtı	-	2,7	4,1
	Qala	1165	Surakhani	C	1,6	5,0
		1049	Qala	-	1,8	3,7
	Sabuncu	2345	Girmekialtı	-	0,8	7,0
	Goranboy-Muradkhan	Muradkhanli	18	Cokrak	-	1,0

Attempts to obtain many precious metals and other useful components that are present as impurities in oil began in the second half of the last century.

In some developed countries, sulfur, vanadium, nickel, mercury, etc. components began to be extracted from oil at the end of the last century. In addition to these, molybdenum, copper, cobalt, renminbi, and other precious metals are now also being extracted from oil.

There is sufficient information in ancient and medieval historical sources about the existence of oil on the Azerbaijan peninsula and its extraction by primitive methods. Oil was extracted from hand-dug wells using buckets, buckets, and leather buckets.

Such oil wells were several meters deep. The wells they dug with cranes were much deeper. Numerous oil wells were drilled in Girmaki, Balakhani, Binagadi, Bibiheybat and other oil fields. According to historical sources, in the 17th-18th centuries, the number of oil wells on the Absheron Peninsula was in the thousands. Back in 1803, H.G. Salimkhanov from Baku was the first in the world to extract oil from two wells drilled at a depth of 0.5 arshins of the sea, 18-19 m from the coast of Bibiheybat Bay.

Table 3

Amounts of metal impurities in Azerbaijan, West Siberian sulfur and West Siberian+Buzac (Kazakhstan) blend oils and oil products, g/t

№	Field, province	Oil products	Metal-alloys											
			Na	K	Ca	Fe	Cr	Co	Ba	Rb	Zr	Au	U	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	
1	Neft Dashları	Crude oil	240	1100	170	-	-	-	-	-	-	-	0.9	0.7
		Fuel oil-5000C	130	30	190	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5
		Coal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Coke	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Shirvan	Crude oil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Fuel oil-5000C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Coal	1700	-	-	6000	32.9	3.4	105	1.5	<44.9	-	-	-
		Coke	4600	-	-	1900	79.6	25	154	<4.8	<44.9	-	-	-
3	Buzovna	Crude oil	2000	-	-	8600	51.7	-	136	<4.8	15.1	<0.7	8.5	
		Fuel oil	2000	-	-	8400	48.3	4.0	155	<4.8	<44.9	6	7.3	
		Coal	-	-	-	55000	33.7	1.0107	127	<4.8	<44.9	-	-	
		Fuel oil	900	-	-	6300	34.9	2.1	131	<4.8	<44.9	3	3.0	
		Bitumen	3600	-	-	5000	32.0	3.9	98.3	<4.8	<44.9	2	0.65	
		Coke	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	
		Tar-bitumen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
4	West Siberian + Buzachi mix	Crude oil	2000	-	-	8700	50	3.2	150	0.79	<44.9	0.3	6	
		Fuel oil-5000 C	1800	-	-	5600	32.5	3.1	122	0.56	<44.9	<0.5	4.3	
		Crude oil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Fuel oil-5000 C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Tar-coke	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	
5	West Siberian sulfu	Crude oil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	-	

Azerbaijan, as an oil country, produces tens of millions of tons of oil every year. Azerbaijani oils also contain a number of ferrous, non-ferrous, noble and rare metals as impurities, the use of which, using new techniques and technologies, has been confirmed to be scientifically, theoretically and experimentally possible and economically efficient [1].

Table 3 continued

№	Field, province	Oil products	Th	Y	La	Sn	Ce	Lu	Yb	Hf	Nd	Cs	Sc
			16	17	18	19	21	22	23	24	25	26	27
1	Neft Dashları	Crude oil	-	0.4	0.62	-	-	-	-	-	-	-	-
		Fuel oil-5000C	-	0.36	0.99	-	-	-	-	-	-	-	-
		Coal	-	0.74	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Coke	-	1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Şirvan	Crude oil	-	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Fuel oil-5000C	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	0.54
		Coal	0.22	4.3	8.8	-	3	<0.07	<0.07	0.29	<0.2	0.13	1.03
		Coke	0.55	16	21.3	-	4.7	<0.07	<0.22	0.58	<6.2	0.23	-
3	Buzovna	Crude oil	0.35	1.5	12.2	1.2	3.9	<0.07	<0.22	0.44	<6.2	0.23	0.71
		Fuel oil	0.32	0.75	10	1.4	4.2	<0.07	<0.22	0.40	<6.2	0.08	0.79
		Coal	0.22	1.5	-	-	2.3	<0.07	<0.22	0.31	<6.2	0.23	4.8
		Fuel oil	0.29	1.5	4.8	0.4	3.5	<0.07	<0.22	0.37	<6.2	0.23	0.66
		Bitumen	0.22	1.7	7.5	0.45	2.4	<0.05	<0.06	0.24	<6.2	0.03	0.45
		Coke	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Tar-bitumen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	West Siberian + Buzachi mix	Crude oil	0.34	54	11.6	0.3	3.9	<0.07	<0.22	0.37	-	0.23	0.79
		Fuel oil-5000 C	0.27	98	7.7	1.03	2.7	<0.07	<0.22	0.34	-	0.23	0.56
		Crude oil	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Fuel oil-5000 C	-	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Tar-coke	-	74	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	West Siberian sulfur	Crude oil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

LITERATURE

1. **Aslanov H.P, Aghamammadova M.Y.** "Geology of ore mineral deposits" (Non-traditional metallic raw material sources of Azerbaijan). Baku, 2018.
2. **Allahverdiyev R.A., Aslanov H.P.** Soil pollution with harmful substances in the territory of Baku city and its causes. Materials of the scientific-practical conference on ecological problems of Azerbaijan. Baku, 1992
3. **Aslanov H.P., Akhundov C.S.** Metal-alloys of Azerbaijani natural bitumen and bituminous rock deposits. //Azerbaijani oil industry, 1977
4. **Aslanov H.P., Akhundov C.S.** Metal-alloys of Azerbaijani Cenozoic (Cenozoic) oils. // Azerbaijan Oil Industry. 2018
5. **Babazade V.M.** Geology of minerals. Part four. Baku, Baku University. 2013
6. Geochemistry survey book. Baku, "Apostroff", 2014.
7. **Narimanov A.A., Abdullayev R.G.** From Prometheus to the Present Day. Baku, 2018
8. **Aliyev M.A., Akhmedov R.A., Nadirov S.G.** Study of geological material on the conditions of occurrence and distribution of deposits of bitumen, high-viscosity and residual oils on the territory of the Azerbaijan SSR (final report), Funds of the Azneft Production Association, Baku, 1977.
9. **Baturin V.P.** Geology of Azerbaijan, vol. VII. Oil and GAS Baku, Nafta-Press, 2008

10. **Samedov S.S., Aliev G.M., Mamedov Z.N.** Bitumen//Mineral resources of Azerbaijan. Baku, 2005
11. **Kharitonov V.M.** On some features of gold distribution in Azerbaijan oils. Abstracts of reports of young scientists of TsNIGRI, 1982.
12. **Aslanov G.P., Mirzoev R.Kh., Kharitonov V.M.** Study of metal content of oils, petroleum products, bitumen and formation oil waters of some regions of the USSR (Turkmen, Kazakh, and Azerbaijan SSR). Research report, Baku, TsNIGRI Funds, 1987.

LINUX SİSTEMLƏRİNİN OPTİMALLAŞDIRILMASI: KERNEL, ŞƏBƏKƏ VƏ SERVER mühiti

Elmi rəhbər:

Abdullayev V.H.

t.e.n., dos.

Salmanov Tayfun Faiq oğlu

ADNSU, Kompüter mühəndisliyi kafedrası, İxtisas: 060631 – Kompüter mühəndisliyi

Xülasə: Bu məqalə Linux əməliyyat sistemlərinin məsuldarlığının artırılması üçün kritik olan kernel, şəbəkə və server konfigurasiyalarının optimallaşdırılması tədqiqatlarını əhatə edir. Müasir IT infrastrukturunda Linux-un geniş tətbiqi, onun yüksək performanslı mühitlərdə effektivliyini tələb edir. Kernel parametrlərinin düzgün tənzimlənməsi aparat resurslarından istifadənin optimallığını təmin edir. Eyni zamanda, şəbəkə yığıcı (network stack) və TCP/IP parametrlərinin incə tənzimlənməsi şəbəkə resurslarının maksimum bant genişliyində istifadəsinə imkan yaradır. Server optimallaşdırılması prosesi isə giriş/çıxış (I/O) əməliyyatlarının səmərələşdirilməsi, yaddaşın effektiv idarə olunması və proses planlayıcılarının (process scheduler) tənzimlənməsini özündə birləşdirir. Aparılan təhlillər təsdiqləyir ki, sistemli və kompleks optimallaşdırma yanaşmaları sistemin ümumi məsuldarlıq göstəricilərini 30-50% aralığında yüksəldə bilər. Məqalədə, həmçinin, sistemin monitorinqi və optimallaşdırılması üçün istifadə olunan müxtəlif alətlərin müqayisəli analizi verilmiş və sistem administratorları üçün vacib olan praktiki tövsiyələr təqdim edilmişdir.

Açar sözlər: *Linux, kernel optimallaşdırması, şəbəkə konfigurasiyası, server performans, sysctl.*

1. Giriş

Müasir texnoloji landşaftda Linux əməliyyat sistemləri korporativ server infrastrukturunda əhəmiyyətli rol oynayır. Qlobal miqyasda fəaliyyət göstərən bulud platformalarının 90%-dən çoxu, həmçinin Android mobil ekosistemi və dünyanın ən güclü superkompüterlərinin əksəriyyəti öz iş prinsipini Linux nüvəsi üzərində qurmuşdur [1]. Bu platformanın geniş miqyasda tətbiqi onun yüksək dərəcədə etibarlılığı, açıq mənbə kodlu olması və geniş konfigurasiya çevikliyi ilə şərtlənir.

Bununla belə, Linux-un standart paylamaları (distributions) adətən ümumi təyinatlı sistem konfigurasiyaları ilə təqdim olunur ki, bu da bütün istifadə halları üçün optimal deyil. Yüksək yüklənmə altında çalışan veb serverlər, genişmiqyaslı verilənlər bazası klasterləri və ya real vaxt rejimində məlumat emal edən tətbiqlər kimi spesifik iş yükü profilləri üçün standart parametrlərin yenidən tənzimlənməsi qaçılmazdır [2]. Bu tədqiqatın əsas məqsədi Linux sistemlərinin mühüm komponentləri olan kernel, şəbəkə steki və server xidmətlərinin performans optimallaşdırma metodologiyalarını dərinlən təhlil etmək, ən effektiv yanaşmaları sistemləşdirmək və mühəndislik səviyyəsində praktiki tövsiyələr irəli sürməkdir.

2. Məsələnin Qoyulması

Linux sistemlərinin səmərəliliyinin artırılması istiqamətində hələ də həlli gözlənilən bir sıra fundamental problemlər mövcuddur. İlk növbədə, fərqli iş yükü profilləri (workload patterns) üçün kernel parametrlərinin dinamik və adaptiv şəkildə tənzimlənməsi prosesi tam

avtomatlaşdırılmamışdır. İkinci mühüm məsələ şəbəkə konfigurasiyası ilə bağlıdır: gecikmə (latency) müddətini minimuma endirməklə, ötürmə qabiliyyətini (bandwidth) maksimuma çatdırmaq arasında optimal tarazlığın əldə edilməsi mürəkkəb mühəndislik vəzifəsi olaraq qalır [3]. Bundan əlavə, müasir server mühitlərində, xüsusilə NVMe SSD texnologiyaları və mürəkkəb RAID massivlərinin istifadəsi şəraitində I/O (giriş/çıxış) əməliyyatlarının optimallaşdırılması hələ də geniş tədqiqat tələb edən sahələrdəndir. Bu tədqiqatın əsas məqsədi qeyd olunan elmi-texniki boşluqları doldurmaq, sistemin ümumi məhsuldarlığına həlledici təsir göstərən kritik parametrləri identifikasiya etmək və onların tənzimlənməsi üçün vahid metodoloji çərçivə təklif etməkdir.

3. Məsələnin Həlli

3.1. Kernel Optimallaşdırılması

Linux nüvəsinin (kernel) performansının artırılması, əsasən sysctl interfeysi üzərindən icra edilən strateji konfigurasiya prosesidir. Sistem parametrləri virtual fayl sistemi olan /proc/sys/ kataloqunda saxlanılır və qalıcı tənzimləmələr üçün /etc/sysctl.conf konfigurasiya faylından istifadə edilir. Əsas optimallaşdırma istiqamətləri aşağıdakılardır:

Yaddaşın səmərəli idarə edilməsi sistemin dayanıqlığı üçün kritik əhəmiyyət daşıyır. Bu istiqamətdə vm.swappiness parametri sistemin operativ yaddaşdan (RAM) istifadə əvəzinə məlumatların swap (disk) sahəsinə köçürülmə intensivliyini tənzimləyir; server mühitlərində RAM resurslarının qorunması və disk I/O yükünün minimuma endirilməsi üçün bu göstəricinin 10-20 intervalında saxlanması tövsiyə edilir. Bununla yanaşı, vm.dirty_ratio və vm.dirty_background_ratio parametrləri disklərə yazılmamış (dirty) yaddaş səhifələrinin həcmi müəyyən edərək, yazma kəşinin (cache) idarə olunmasını optimallaşdırır [4].

Proses planlaması baxımından müasir Linux nüvələri CPU resurslarının ədalətli bölüşdürülməsini təmin edən Completely Fair Scheduler (CFS) alqoritminə əsaslanır. Lakin, yüksək cavabdehlik və aşağı gecikmə müddəti tələb edən real vaxt tətbiqləri üçün standart konfigurasiya kifayət etməyə bilər. Belə hallarda PREEMPT_RT yamağının (patch) tətbiqi, nüvənin kritik kod bloklarının dayandırılmasını (preemption) optimallaşdıraraq, planlaşdırma gecikmələrini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır.

Cədvəl 1. Əsas kernel parametrləri və tövsiyə edilən dəyərləri.

Parametr	Standart dəyər	Tövsiyə edilən dəyər (server)
vm.swappiness	60	10
vm.dirty_ratio	20	10
kernel.sched_migration_cost_ns	500000	5000000
net.core.somaxconn	128	65535
fs.file-max	100000	2000000

3.2. Şəbəkə Optimallaşdırılması

Linux şəbəkə stekinin optimallaşdırılması TCP/IP parametrlərinin incə tənzimlənməsini tələb edir. Yüksək yüklənmə altında çalışan mühitlərdə TCP sıxlıq nəzarəti (congestion control) alqoritminin seçimi həlledici rol oynayır; bu istiqamətdə Google tərəfindən işlənib hazırlanmış BBR (Bottleneck Bandwidth and RTT) alqoritm, ənənəvi CUBIC alqoritm ilə müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə yüksək ötürmə qabiliyyəti və daha aşağı gecikmə göstəriciləri təqdim edir [5].

Çoxnüvəli prosessor arxitekturalarına malik sistemlərdə şəbəkə yükünün effektiv paylanması üçün Receive Side Scaling (RSS) və Transmit Packet Steering (XPS) mexanizmləri tətbiq olunur. Bu texnologiyalar şəbəkə trafikini prosessor nüvələri arasında dinamik şəkildə bölüşdürərək sistemin

iş yükünü tarazlayır. Bundan əlavə, "Interrupt affinity" parametrlərinin düzgün konfigurasiyası kəsilmələrin (interrupts) müəyyən edilmiş CPU nüvələri tərəfindən emal edilməsini təmin edərək, prosessorun keş yaddaşından (L1/L2 cache) daha səmərəli istifadəyə imkan verir.

Böyük həcmli məlumatların ötürülməsi zamanı paket başlığı (header) yükünü azaltmaq və məhsuldarlığı artırmaq üçün Jumbo Frame-lərin (MTU=9000) aktivləşdirilməsi tövsiyə olunur. Bu yanaşma, xüsusilə 10GbE və daha yüksək bant genişliyinə malik şəbəkə infrastrukturlarında paket emalı üçün sərf olunan CPU resurslarını azaldaraq, ümumi şəbəkə ötürücülüüyünü əhəmiyyətli dərəcədə optimallaşdırır.

3.3. Server Optimallaşdırılması

Serverin optimallaşdırılması I/O (giriş/çıxış) alt sistemi, müvafiq fayl sisteminin seçimi və tətbiqi xidmətlərin dəqiq konfigurasiyası kimi üç əsas istiqaməti əhatə edir. I/O planlayıcısının (scheduler) seçimi istifadə olunan saxlama avadanlığının növünə birbaşa bağlıdır: SSD-lər üçün noop və ya mq-deadline alqoritmləri ən yüksək performans göstəricilərini təmin edir, əənəvi HDD-lərdə isə verilənlərin sırasının optimallaşdırılması üçün CFQ (Completely Fair Queuing) yanaşması daha məqsədəuyğundur [6].

Fayl sistemləri səviyyəsində, ext4 ümumi təyinatlı serverlər üçün etibarlı və balanslı bir həll təqdim edir. Bununla yanaşı, yüksək yüklü verilənlər bazası mühitlərində XFS miqyaslanma və paralel əməliyyatlar baxımından daha üstün performans nümayiş etdirir. ZFS isə məlumatların bütövlüyünü (data integrity) təmin etməklə yanaşı, daxili sıxışdırma və "snapshot" imkanları ilə serverin resurs səmərəliliyini artırır.

Nginx veb serverinin konfigurasiyasında sistem resurslarının maksimum dərəcədə istifadəsi üçün aşağıdakı parametrlər kritikdir:

1) worker_processes: Bu göstəricinin mövcud fiziki CPU nüvələrinin sayına bərabər tutulması, kontekst keçidini (context switching) azaldır.

2) worker_connections: Məhdudiyətlərin artırılması serverin eyni vaxtda qəbul edə biləcəyi sorğuların (concurrent connections) sayını genişləndirir.

3) Optimallaşdırıcı direktivlər: sendfile və tcp_nopush funksiyalarının aktivləşdirilməsi statik məzmunun çatdırılmasını sürətləndirir və şəbəkə paketlərinin emalını optimallaşdırır.

4. Əldə olunan nəticələr

Aparılan tədqiqatlar zamanı bir sıra mühüm nəticələr əldə edilmişdir. Kernel səviyyəsində həyata keçirilən yaddaş idarəetməsi tənzimləmələri sistemin cavabvermə müddətini orta hesabla 25% aşağı salmışdır; xüsusilə swappiness parametrlərinin azaldılması yüksək yüklənmə altında serverin operativ yaddaş və disk arasındakı keçid proseslərini optimallaşdıraraq performansın sabitliyini təmin etmişdir.

Şəbəkə optimallaşdırılması istiqamətində BBR alqoritminin tətbiqi, yüksək gecikmə müddəti (latency) olan şəbəkə kanalları üzərindən ötürmə sürətini 40%-ə qədər artırmışdır. Bununla yanaşı, TCP bufer ölçülərinin şəbəkənin bant genişliyinə uyğun olaraq dəqiq tənzimlənməsi böyük həcmli verilənlərin ötürülməsi prosesini əhəmiyyətli dərəcədə sürətləndirmişdir.

Server mühitindəki I/O alt sisteminin optimallaşdırılması çərçivəsində, NVMe SSD sürücüləri üçün noop planlayıcısına keçid disk giriş/çıxış əməliyyatlarının gecikmə göstəricilərində 15%-lik bir yaxşılaşma qeydə alınmasına səbəb olmuşdur. Həmçinin, Nginx veb serverinin daxili parametrlərinin optimallaşdırılması, sistemin eyni vaxtda emal edə bildiyi aktiv sorğuların sayını 3 dəfə artırmışdır [7].

Əldə olunan bu praktiki nəticələr ədəbiyyat mənbələrindəki əvvəlki tədqiqatlarla yüksək dərəcədə korrelyasiya təşkil edir. Xüsusilə, BBR alqoritminin səmərəliliyi Google tərəfindən aparılan fundamental araşdırmalarla uzlaşır; belə ki, uzaq məsafəli rabitə kanalları üzərindən bant

genişliyinin 2700 dəfəyədək artırılması ilə bağlı qeyd olunan göstəricilər bu tədqiqatın nəticələrinin texniki etibarlılığını təsdiqləyir [5].

5. Yekun nəticə

Bu tədqiqat Linux sistemlərinin nüvə (kernel), şəbəkə (network) və server səviyyələrində kompleks şəkildə optimallaşdırılması məsələlərini təhlil etmiş və sistem administratorları üçün tətbiqi əhəmiyyət daşıyan metodoloji tövsiyələr müəyyən etmişdir. Əldə olunan əsas elmi-praktiki nəticələr aşağıdakı kimi sistemləşdirilmişdir:

Kernel parametrlərinin konkret iş yükü profillərinə uyğun şəkildə incə tənzimlənməsi, sistemin ümumi məhsuldarlıq göstəricilərini 25-30% aralığında yüksəldir. Şəbəkə kommunikasiyası kontekstində BBR TCP sıxlıq nəzarəti alqoritminin inteqrasiyası, şəbəkənin ötürmə qabiliyyətini (throughput) əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırır. Bundan əlavə, I/O planlayıcılarının istifadə olunan aparat təminatının (SSD/HDD) arxitekturasına uyğun seçilməsi disk əməliyyatlarının səmərəliliyini artıraraq gecikmələri minimuma endirir.

Gələcək tədqiqatların əsas istiqamətləri bu optimallaşdırma parametrlərinin dinamik və avtomatik tətbiqini təmin edən süni intellekt əsaslı (AI-driven) adaptiv sistemlərin işlənilməsinə yönəldilə bilər. Həmçinin, müasir bulud və mikroservis arxitekturalarında – xüsusilə Docker və Kubernetes kimi konteyner mühitlərində – qeyd olunan optimallaşdırma strategiyalarının tətbiqi və miqyaslanması gələcək elmi araşdırmalar üçün perspektivli mövzu kimi nəzərdən keçirilə bilər.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

- [1] Gregg, B. Systems Performance: Enterprise and the Cloud. Prentice Hall, 2nd ed., 2021, 800 s.
- [2] Kerrisk, M. The Linux Programming Interface. No Starch Press, 2020, 1552 s.
- [3] Love, R. Linux Kernel Development. Addison-Wesley, 3rd ed., 2020, 440 s.
- [4] Mauerer, W. Professional Linux Kernel Architecture. Wrox Press, 2018, 1368 s.
- [5] Cardwell, N., Cheng, Y., Gunn, C.S. BBR: Congestion-Based Congestion Control. ACM Queue, vol. 14, 2016, s. 20-53.
- [6] Corbet, J., Rubini, A., Kroah-Hartman, G. Linux Device Drivers. O'Reilly Media, 3rd ed., 2019, 640 s.
- [7] Turnbull, J. The Docker Book: Containerization is the New Virtualization. Turnbull Press, 2022, 354 s.

NEFTİN SƏRFİNİ ULTRASƏS METODU İLƏ ÖLÇƏN SİSTEM

Müəllifin tam adı: İsazadə Tural

Akademik dərəcə/ad, vəzifə: magistrant, İş və ya təhsil yeri: Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye universiteti

Məmmədov Ulduz

t.ü.f.d. dosent, İş və ya təhsil yeri: Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye universiteti

Annotasiya

Məqalədə neftin sərfinin ultrasəs metodu ilə ölçülməsi üçün istifadə olunan sistemlərin iş prinsipi, texniki quruluşu və neft sənayesində tətbiq imkanları araşdırılır. Əsas diqqət tranzit-vaxt metoduna, ultrasəs impulslarının axın istiqamətində və axına qarşı yayılma müddətləri arasındakı fərqin ölçülməsinə yönəldilir. Məqalədə həm ənənəvi sərfölçmə üsulları ilə ultrasəs yanaşmasının müqayisəsi, həm də neft quyusu və boru kəməri şəraitində ölçmə dəqiqliyinə təsir edən amillər təhlil olunur. Sistem səviyyəsində ultrasəs çeviriciləri, ölçmə borusu, signal gücləndirmə və filtrasiya bloku, mikroprosessor-hesablayıcı modul və göstərici-display hissəsi ayrıca izah edilir. Eyni zamanda threshold və cross-correlation metodlarının fərqləri cədvəl əsasında göstərilir. Tədqiqatın ümumi nəticəsi ondan ibarətdir ki, ultrasəs sərfölçənlər hərəkətli mexaniki hissələrin olmaması, təzyiq itkisi yaratmaması və real vaxt rejimində ölçmə aparmaq imkanı ilə neft sənayesində perspektivli ölçmə texnologiyası hesab edilə bilər.

Açar sözlər: neft sərfi, ultrasəs sərfölçən, tranzit-vaxt metodu, neft quyusu, cross-correlation, ölçmə sistemi, kalibrləmə.

1. Giriş

Neft sənayesində sərfin düzgün ölçülməsi hasilatın uçuğu, texnoloji rejimlərin idarə olunması, nəql prosesinin təhlükəsizliyi və iqtisadi hesablamalar üçün əsas göstəricilərdən biridir. Quyudan çıxarılan və ya boru kəməri ilə nəql edilən neftin həcmi real vaxtda izlənilmədikdə, nasosların iş rejimi, kollektor xətlərinin yüklənməsi, anbarların doldurulması və kommertiya uçuğu üzrə qərarlar gecikmiş və ya qeyri-dəqiq məlumatlara əsaslanı bilər. Buna görə müasir neft obyektlərində sərfölçən sistem yalnız ölçmə cihazı kimi deyil, həm də ümumi avtomatlaşdırma və nəzarət sisteminin məlumat mənbəyi kimi qiymətləndirilir.

Ənənəvi sərfölçənlərin bir qismi mexaniki hərəkətli hissələrdən istifadə edir. Bu tip cihazlar müəyyən şəraitdə sadə və etibarlı görünə bilər, yüksək özlülüklü neft, parafinləşmə, çöküntü, qaz qabarcıqları və temperatur dəyişmələri ölçmə nəticələrinə təsir göstərə bilər. Bundan başqa, bəzi üsullar boru daxilində əlavə hidravlik müqavimət yaratdığı üçün təzyiq itkisi və enerji sərfinin artması ilə nəticələnir. Bu məhdudiyətlər neftin sərfinin daha az müdaxilə ilə, daha az texniki xidmət tələb edən və rəqəmsal emal imkanına malik üsullarla ölçülməsinə ehtiyac yaradır.

Ultrasəs sərfölçənlər bu baxımdan xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Onların iş prinsipi maye axınından keçən akustik signalın yayılma müddətinin, istiqamətinin və ya əks olunan signalın xüsusiyyətlərinin təhlilinə əsaslanır. Neft axını üçün ən çox istifadə olunan yanaşmalardan biri tranzit-vaxt metodudur. Bu metodda ölçülən əsas parametr ultrasəs impulslarının axın istiqamətində və axına qarşı yayılma müddətləri arasındakı fərqdır. Həmin fərq mayenin orta sürəti ilə əlaqələndirilir və borunun en kəsiyi nəzərə alınmaqla həcm sərfi hesablanır.

Məqalənin məqsədi neftin sərfinin ultrasəs metodu ilə ölçülməsi sisteminin nəzəri əsaslarını, texniki elementlərini, signal emalı yanaşmalarını, quraşdırma və kalibrləmə tələblərini, həmçinin neft sənayesində tətbiq sahələrini araşdırmaqdır. Məqalədə xüsusi olaraq neft quyusu

şəraiti üçün təklif edilən ultrasəs sərfölçən prototipinə, yüksək özlülüklü mühitdə ölçmə çətinliklərinə və cross-correlation metodunun ölçmə dəqiqliyinin artırılmasındakı roluna diqqət yetirilir.

2. Neft sərfinin ölçülməsində istifadə olunan əsas metodların müqayisəsi

Neftin sərfinin ölçülməsi üçün müxtəlif fiziki prinsiplərə əsaslanan cihazlardan istifadə edilir. Hər bir metodun tətbiq dairəsi mayenin xüsusiyyətlərindən, boru xəttinin diametrindən, tələb olunan dəqiqlikdən, texnoloji mühitdən və iqtisadi şərtlərdən asılıdır. Məsələn, turbinli və oval dişli sərfölçənlər müəyyən neft məhsulları üçün praktik ola bilər, lakin hərəkətli hissələrin aşınması uzunmüddətli istismarda problem yaradır. Diferensial təzyiq metodları sənayedə geniş tanınsa da, ölçmə elementinin axına müqavimət göstərməsi təzyiq itkisinin yaranmasına səbəb olur. Coriolis sərfölçənlər yüksək dəqiqlik versə də, böyük diametrlili xətlərdə və iri həcmli nəqli sistemlərində qiymət və montaj baxımından daha çətin tətbiq olunur. Ultrasəs metodunda isə boru daxilində hərəkətli mexaniki element olmadığından təzyiq itkisi azalır və sistem rəqəmsal diaqnostika ilə daha çevik idarə oluna bilər.

Cədvəl 1. Neft sərfinin ölçülməsində istifadə olunan əsas metodların müqayisəsi

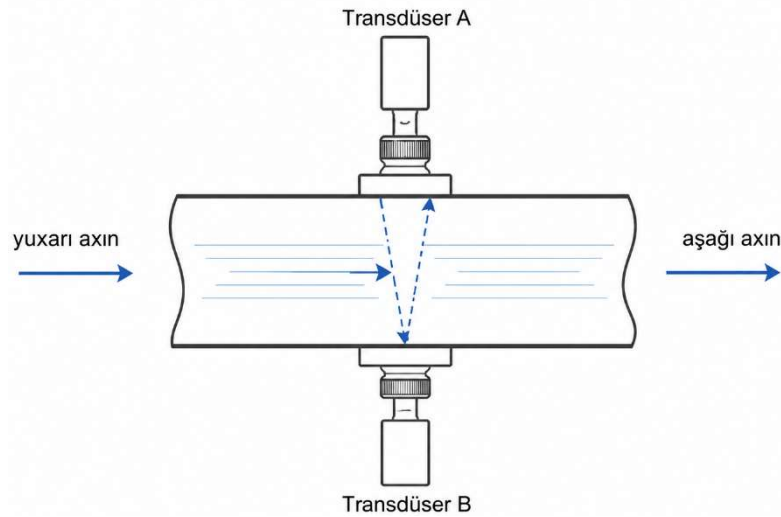
Ölçmə metodu	İş prinsipi	Üstünlükləri	Məhdudiyyətləri
Turbinli sərfölçən	Axın turbin çarxını fırladır, fırlanma tezliyi sərfə çevrilir.	Sadə quruluş, tanınmış sənaye tətbiqi.	Hərəkətli hissə aşınır, çirklənmiş və yüksək özlülüklü neftdə dəqiqlik azala bilər.
Diferensial təzyiq metodu	Daraldıcı elementdən əvvəl və sonra təzyiq fərqi ölçülür.	Geniş standartlaşdırılmış və çox istifadə olunan üsuldur.	Təzyiq itkisi yaradır, axın profilinə və quraşdırmaya həssasdır.
Coriolis sərfölçən	Vibrasiya edən boruda kütlə axınının yaratdığı faza fərqi ölçülür.	Birbaşa kütlə sərfi və sıxlıq haqqında məlumat verə bilər.	Bahalıdır, böyük diametrlərdə tətbiqi daha çətin və ağır ola bilər.
Elektromaqnit sərfölçən	Keçirici mayenin maqnit sahəsində yaratdığı induksiya siqnalı ölçülür.	Hərəkətli hissə yoxdur, hidravlik müqavimət azdır.	Neft adətən elektrik keçiriciliyi aşağı olan maye olduğuna görə əsas neft axınları üçün uyğun deyil.
Ultrasəs sərfölçən	Akustik siqnalların yayılma vaxtı və ya siqnal xüsusiyyətləri təhlil edilir.	Təzyiq itkisi azdır, hərəkətli hissə yoxdur, real vaxt ölçməyə uyğundur.	Qaz qabarcıqları, çöküntü, siqnal zəifləməsi və yanlış quraşdırma nəticəyə təsir edə bilər.

Cədvəldən göründüyü kimi, ultrasəs metodunun əsas üstünlüyü onun axına mexaniki müdaxiləsinin az olmasıdır. Bu xüsusiyyət xüsusilə boru kəmərlərində, nasos stansiyalarında və davamlı nəzarət tələb edən obyektlərdə əhəmiyyətlidir. Bununla belə, ultrasəs sisteminin seçilməsi bütün problemlərin avtomatik həlli demək deyil. Ölçmənin etibarlılığı akustik yolun düzgün qurulmasından, sensorların yerləşmə bucağından, siqnalın keyfiyyətindən, kalibrəmə rejimindən və neftin faktiki tərkibindən asılıdır.

3. Ultrasəs sərfölçənlərin iş prinsipi

Ultrasəs sərfölçənlərdə ölçmə üçün insan qulağının eşitmə diapazonundan yuxarı tezlikli akustik siqnallardan istifadə olunur. Bu siqnallar piezoelektrik çevirici vasitəsilə yaradılır və maye mühitindən keçərək ikinci çevirici tərəfindən qəbul edilir. Tranzit-vaxt metodunda eyni çeviricilər növbə ilə həm ötürücü, həm də qəbuledici kimi işləyir. Axın olmadıqda siqnalın bir istiqamətdə və əks istiqamətdə yayılma müddətləri praktik olaraq eyni olur. Axın yarandıqda isə axın istiqamətində göndərilən impuls daha qısa zamanda, axına qarşı göndərilən impuls isə daha uzun zamanda qəbul edilir. Ölçmə sistemi bu iki vaxt arasındakı fərqi qeyd edir və onu axının sürətinə çevirir.

Neft kimi mayelərdə tranzit-vaxt metodu daha məqsədəuyğun hesab olunur, çünki bu üsul axının daxilində mütləq hissəcik və ya qabarcıq olmasını tələb etmir. Doppler tipli ultrasəs ölçmələrdə isə siqnalın əks olunması üçün mühitdə müəyyən miqdarda dispers hissəciklər və ya qaz qabarcıqları olmalıdır. Buna görə nisbətən homogen neft axınlarında tranzit-vaxt yanaşması daha sabit nəticə verə bilər. Standartlarda ultrasəs maye sərfölçənlərin qapalı borularda birfazlı homogen mayelərin ölçülməsi, performans, çıxış xarakteristikası, kalibrləmə və quraşdırma şərtləri ayrıca nəzərə alınır [2].



Şəkil 1. Ultrasəs çeviricilərinin düz istiqamətdə yerləşdirilməsi

Şəkil 1-də çeviricilərin boruya perpendikulyar və ya düz keçidə yaxın yerləşdirilməsi sxematik göstərilir. Belə quruluş prinsipinin izahı üçün sadədir, lakin real neft axınlarında ölçülən akustik yol borunun ümumi axın profilini tam əks etdirməyə bilər. Xüsusilə yüksək özlülüklü və qeyri-bərabər sürət paylanmasına malik axınlarda sensorların yerləşmə həndəsəsi ölçmə nəticəsinə ciddi təsir göstərir. Buna görə müasir ultrasəs sərfölçənlərdə çeviricilərin bucaqlı yerləşdirilməsi və çoxşüalı ölçmə kanallarından istifadə daha məqsədəuyğun ola bilər.

4. Tranzit-vaxt metodunun fiziki-riyazi əsasları

Tranzit-vaxt metodunda əsas ölçülən kəmiyyət axın istiqamətində və axına qarşı yayılan ultrasəs impulslarının keçmə müddətləri arasındakı fərkdir. Bu fərq çox kiçik ola bilər; buna görə ölçmə sisteminin elektron hissəsi yüksək zaman ayırdetmə qabiliyyətinə malik olmalıdır. Əgər axın sürəti azdırsa, iki istiqamətdə ölçülən vaxt fərqi də kiçilir və siqnal emalı alqoritminin seçimi daha vacib olur. Buna görə neft sərfölçən sistemlərdə yalnız sensorların fiziki yerləşməsi deyil, həm də qəbul edilən siqnalın rəqəmsal təhlili ölçmə dəqiqliyinin əsas şərtlərindən sayılır.

Sadələşdirilmiş formada sərf hesablanması aşağıdakı ardıcılıqla aparılır: əvvəlcə iki istiqamətdə yayılma vaxtları ölçülür; daha sonra bu vaxtlar arasındakı fərqdən axının orta sürəti hesablanır; sonda borunun en kəşik sahəsi nəzərə alınaraq həcm sərfi müəyyən edilir. Həcm sərfi üçün ümumi ifadə belədir:

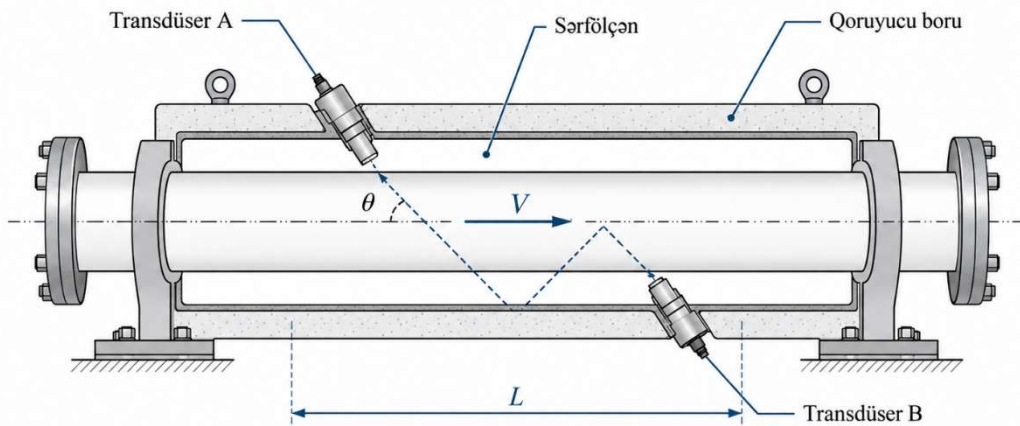
$$Q = v \cdot A$$

Burada Q - həcm sərfi, v - axının orta sürəti, A isə borunun en kəşik sahəsidir. Əgər borunun daxili diametri D ilə göstərilərsə, en kəşik sahəsi $A = \pi D^2/4$ kimi hesablanıla bilər. Praktiki ölçmələrdə bu sadə ifadəyə əlavə olaraq axın profilinin forması, temperatur, təzyiq, neftin sıxlığı və özlülüyü, həmçinin cihazın kalibrləmə əmsalları da nəzərə alınır.

Tranzit-vaxt metodunun üstünlüyü ondan ibarətdir ki, ölçmə nəticəsi birbaşa mexaniki fırlanma və ya daraldıcı elementdən yaranan təzyiq fərqi ilə deyil, akustik signalın maye ilə qarşılıqlı təsiri ilə alınır. Bu isə cihazın mexaniki aşınma riskini azaldır. Eyni zamanda ölçmə borusunun daxili səthində parafin və çöküntü əmələ gəlməsi, mayədə qaz qabarcıqlarının yaranması və temperaturun kəskin dəyişməsi ultrasəs signalının yayılmasına təsir edə bilər.

5. Neft quyusu üçün ultrasəs sərfölçən yanaşmanın xüsusiyyəti

Neft quyularında sərfin ölçülməsi boru kəmərinə sabit və nisbətən idarə olunan şəraitdən daha mürəkkəbdir. Quyudan çıxan axın yüksək temperatur, yüksək özlülük, təzyiq dəyişməsi, qaz-maye qarışığı ehtimalı və mexaniki çirklənmə ilə xarakterizə oluna bilər. Bu şəraitdə adi düz akustik keçidli quruluş hər zaman yetərli nəticə vermir. Sun və həmmüəllifləri neft quyusunda real vaxt rejimində sərfin izlənilməsi üçün ultrasəs sərfölçən prototipi təklif etmiş və yüksək temperatur, yüksək özlülük kimi çətin şəraitdə vaxt gecikməsinin hesablanmasına diqqət yönəlmişlər [1].



Şəkil 2. Neft quyusu şəraitinə uyğun maili akustik keçidli ultrasəs sərfölçən ideyası

Şəkil 2-də neft quyusu şəraitində sərfin ölçülməsi üçün təklif edilən maili ultrasəs keçidli sərfölçən prototipinin ümumi quruluşu göstərilmişdir. Bu quruluşun əsas fərqi ondan ibarətdir ki, ultrasəs çeviriciləri birbaşa düz xətt üzrə deyil, axın istiqamətinə müəyyən bucaq altında yerləşdirilir. Belə yerləşdirmə nəticəsində ultrasəs signalı neft axını ilə daha uzun akustik yol boyunca qarşılıqlı təsirdə olur və axın sürətinin yaratdığı vaxt fərqi daha aydın müəyyən edilə bilər.

Maili akustik keçidli quruluş xüsusilə neft quyusu və yüksək özlüklü neft axınları üçün əhəmiyyətlidir. Neftin özlülüyü yüksək olduqda axın profili su və ya qaz axınları ilə müqayisədə daha mürəkkəb olur. Bu halda boru divarına yaxın hissələrdə sürət azalır, mərkəzi hissədə isə daha yüksək ola bilər. Əgər ultrasəs signalı yalnız qısa və düz xətt üzrə keçərsə, alınan ölçmə nəticəsi real orta axın sürətindən müəyyən qədər fərqlənə bilər. Maili yerləşdirmə isə signalın axın sahəsi ilə daha geniş intervalda qarşılıqlı təsirinə şərait yaradır.

Bu prototipdə ultrasəs impulsları həm axın istiqamətində, həm də axına qarşı göndərilir. Axın istiqamətində yayılan signal neftin hərəkəti ilə eyni istiqamətdə olduğuna görə qəbuledici çeviriciyə daha qısa müddətdə çatır. Axına qarşı yayılan signal isə neftin hərəkətinə əks istiqamətdə

yayıldığı üçün onun yayılma müddəti nisbətən artır. Bu iki vaxt arasındakı fərq sistemin mikroprosessor və ya hesablayıcı bloku tərəfindən emal olunur və nəticədə axının sürəti, daha sonra isə neft sərfi hesablanır.

Şəkildə göstərilən sistemin əsas üstünlüklərindən biri odur ki, mexaniki hərəkətli elementlərə ehtiyac olmadan ölçmə aparılır. Bu, neft quyusu kimi ağır iş şəraitində mühüm üstünlükdür. Mexaniki hissələr olmadıqda aşınma azalır, texniki xidmət ehtiyacı nisbətən aşağı düşür və sistem uzunmüddətli istismar üçün daha əlverişli olur. Bundan əlavə, ultrasəs metodunda axın yolunda ciddi maneə yaradılmadığı üçün təzyiq itkisi də minimum səviyyədə qalır.

Maili ultrasəs keçidli prototip həm də siqnal emalı baxımından daha geniş imkan yaradır. Çünki belə quruluşda qəbul edilən siqnallar arasında vaxt gecikməsi daha aydın seçilə bilər. Bu isə threshold və cross-correlation kimi metodlarla vaxt fərqi hesablanmasını daha effektiv edir. Xüsusilə siqnal-küy nisbətinin aşağı olduğu, yəni qəbul edilən siqnalın zəif və küylü olduğu şəraitdə düzgün akustik quruluş ölçmə dəqiqliyinin qorunmasına kömək edir.

Bu yanaşmanın məqalə üçün əhəmiyyəti ondadır ki, ultrasəs sərfölçmə sadəcə hazır cihazın seçilməsi kimi deyil, konkret neft mühitinin xüsusiyyətlərinə uyğunlaşdırılan sistem kimi təqdim olunur. Yəni neftin sərfi ölçülərkən sensorun tipi, akustik yolun uzunluğu, çeviricinin bucağı, siqnalın gücləndirilməsi, filtrasiya və hesablama alqoritmi birlikdə layihələndirilməlidir. Bu səbəbdən neft sərfölçən sistemin effektivliyi yalnız cihazın kataloq dəqiqliyi ilə deyil, onun real quraşdırma və istismar şəraitinə uyğunluğu ilə müəyyən edilir.

6. Sistemin əsas elementləri

Neftin sərfini ultrasəs metodu ilə ölçən sistem bir neçə qarşılıqlı əlaqəli hissədən ibarətdir. Bu hissələrdən hər hansı birində yaranan səhv ümumi ölçmə nəticəsinə təsir edə bilər. Ona görə sistemin əsas elementlərini ayrıca izah etmək vacibdir.

Ultrasəs çeviriciləri sistemin ən əsas elementləridir. Onlar elektrik impulsunu akustik dalğaya, qəbul edilən akustik dalğanı isə yenidən elektrik siqnalına çevirir. Neft mühitində işləyən çeviricilər temperatur, təzyiq və kimyəvi təsirlərə davamlı olmalıdır. Çeviricinin tezliyi, həssaslığı və boruya birləşmə forması siqnalın keyfiyyətini müəyyən edən əsas göstəricilərdir.

Ölçmə borusu və akustik yol sərfin hesablanması üçün həndəsi əsas yaradır. Borunun daxili diametri, divar qalınlığı, çeviricilərin yerləşmə bucağı və akustik yolun uzunluğu dəqiq bilinməlidir. Əgər boru daxilində çöküntü, parafin və ya korroziya məhsulları yığılırsa, real en kəsik sahəsi dəyişir və hesablama nəticəsində əlavə xəta yaranır.

Siqnal gücləndirmə və filtrasiya bloku qəbul edilən zəif ultrasəs siqnalını emal üçün uyğun səviyyəyə gətirir. Neft quyusu və boru kəməri şəraitində elektromaqnit maneələr, nasos vibrasiyası, temperatur dəyişmələri və hidravlik qeyri-sabitlik siqnalın formasını poza bilər. Buna görə analog gücləndirmə, filtrasiya və rəqəmsal səs-küy azaldılması ölçmə zəncirinin vacib hissəsidir.

Mikroprosessor və ya hesablayıcı blok ölçülən vaxt fərqi axın sürətinə və sərfə çevirir. Bu blok həmçinin temperatur və təzyiq kompensasiyasını, kalibrəmə əmsallarını, diaqnostik məlumatları və xəta siqnallarını idarə edə bilər. Müasir sistemlərdə mikroprosessor yalnız hesablayıcı rolunda deyil, həm də sensor vəziyyətinin izlənməsi, məlumatların yadda saxlanması və rabitə protokolları vasitəsilə ötürülməsi funksiyasını yerinə yetirir.

Göstərici-display və məlumat ötürmə hissəsi operatorun sistemlə əlaqəsini təmin edir. Displaydə ani sərf, toplanmış həcm, temperatur, siqnal səviyyəsi, xəbərdarlıq kodları və kalibrəmə parametrləri göstərilə bilər. Sənaye obyektlərində bu məlumatlar çox vaxt SCADA, PLC və ya digər avtomatlaşdırma sistemlərinə ötürülür. Beləliklə, ultrasəs sərfölçən ayrıca cihaz kimi deyil, ümumi rəqəmsal idarəetmə mühitinin bir hissəsi kimi işləyir.

Element	Əsas funksiyası	Neft ölçməində diqqət edilən məqam
Ultrasəs çeviricisi	Akustik siqnalın yaradılması və qəbul edilməsi.	Temperatur, təzyiq və çirklənməyə davamlılıq vacibdir.
Ölçmə borusu	Axın sahəsini və akustik yolun həndəsəsini formalaşdırır.	Daxili diametr, parafinləşmə və çöküntü nəzərə alınmalıdır.
Siqnal bloku	Qəbul edilən siqnalı gücləndirir və filtrasiya edir.	Küy, vibrasiya və impuls zəifləməsi ölçməyə təsir edir.
Mikroprosessor	Vaxt fərqi sürət və sərfə çevirir.	Kalibrəmə əmsalları və kompensasiya alqoritmləri düzgün seçilməlidir.
Display/rabitə bloku	Ölçmə nəticələrini göstərir və sistemə ötürür.	Real vaxt monitorinqi və arxivləşdirmə üçün stabil rabitə lazımdır.

Cədvəl 2. Ultrasəs sərfölçən sistemin əsas elementləri

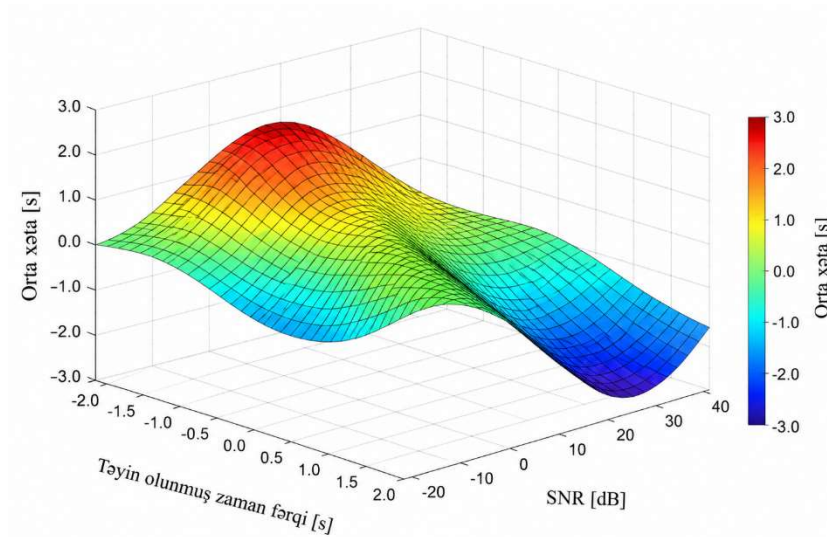
7. Siqnal emalı: threshold və cross-correlation metodlarının müqayisəsi

Ultrasəs sərfölçənlərdə ölçmə dəqiqliyi yalnız akustik siqnalın yaradılması ilə məhdudlaşmır. Qəbul edilən siqnalın hansı üsulla emal olunması da nəticəyə birbaşa təsir edir. Vaxt gecikməsinin təyini üçün sadə yanaşmalardan biri threshold metodudur. Bu üsulda siqnal əvvəlcədən təyin edilmiş amplituda həddini keçdiyi anda qəbul vaxtı kimi qeyd olunur. Metod sürətli və sadədir, lakin siqnal amplitudasının dəyişməsi, küy və dalğa formasının pozulması səhv zaman nöqtəsinin seçilməsinə səbəb ola bilər.

Cross-correlation metodu isə iki qəbul edilmiş siqnalın oxşarlığını müxtəlif zaman sürüşmələri üçün müqayisə edir və maksimum uyğunluğun alındığı sürüşməni vaxt gecikməsi kimi qəbul edir. Bu yanaşma xüsusilə zəif və küylü siqnallarda daha dayanıqlı nəticə verə bilər. Müasir ultrasəs sərfölçən layihələrində cross-correlation alqoritmli ölçmə dəqiqliyini artırmaq üçün time-of-flight fərqi daha dəqiq təyin edilməsində istifadə olunur; bəzi sistemlərdə bu məqsədlə FPGA və mikroprosessor birlikdə tətbiq edilir [4].

Müqayisə göstəricisi	Threshold metodu	Cross-correlation metodu
İş prinsipi	Siqnal müəyyən amplituda həddini keçdikdə vaxt qeyd olunur.	İki siqnalın oxşarlığı zaman sürüşmələri üzrə müqayisə edilir.
Hesablama mürəkkəbliyi	Aşağıdır, real vaxtda tətbiqi asandır.	Daha yüksəkdir, rəqəmsal emal resursu tələb edir.
Küyə davamlılıq	Küy və amplituda dəyişməsinə daha həssasdır.	Küylü siqnallarda daha sabit nəticə verə bilər.
Neft axını üçün uyğunluq	Sabit və güclü siqnal olduqda uyğundur.	Yüksək özlülük və siqnal zəifləməsi şəraitində daha məqsədəuyğundur.
Əsas risk	Həddin yanlış seçilməsi ölçmə xətası yaradır.	Hesablama gecikməsi və alqoritmin düzgün qurulmaması problem yarada bilər.

Cədvəl 3. Threshold və cross-correlation metodlarının müqayisəsi



Şəkil 3. Vaxt gecikməsinin iki ultrasəs siqnalının müqayisəsi ilə təyin edilməsi

Şəkil 3-də ultrasəs sərfölçən sistemdə vaxt gecikməsinin cross-correlation metodu ilə qiymətləndirilməsi nəticələri göstərilir. Bu metodun əsas məqsədi axın istiqamətində və axına qarşı qəbul edilən ultrasəs siqnalları arasında zaman fərqi daha dəqiq müəyyən etməkdir. Transit-vaxt metodunda məhz bu zaman fərqi axın sürətinin hesablanması üçün əsas parametr olduğundan, onun düzgün tapılması ümumi ölçmə dəqiqliyinə birbaşa təsir göstərir.

Cross-correlation metodunda iki siqnalın forması müqayisə edilir və onların bir-birinə ən çox uyğun gəldiyi zaman sürüşməsi müəyyən olunur. Başqa sözlə, sistem yalnız siqnalın müəyyən amplituda həddini keçdiyi nöqtəni deyil, siqnalın ümumi formasını analiz edir. Bu səbəbdən cross-correlation yanaşması sadə threshold metoduna nisbətən daha dayanıqlı hesab olunur. Çünki threshold metodunda siqnalın amplitudası dəyişdikdə və ya küy artdıqda səhv zaman nöqtəsi seçilə bilər. Cross-correlation isə siqnalın ümumi oxşarlığını nəzərə aldığı üçün zəif və küylü siqnallarda daha sabit nəticə verə bilər.

Şəkildə SNR, yəni siqnal-küy nisbəti əsas təsiredici parametr kimi götürülür. SNR yüksək olduqda faydalı ultrasəs siqnalı küydən daha aydın seçilir və vaxt gecikməsinin hesablanması daha dəqiq olur. SNR azaldıqda isə siqnalın üzərinə düşən küy artır, qəbul edilən siqnalın forması pozulur və vaxt gecikməsinin təyininə xəta yaranma ehtimalı yüksəlir. Bu, neft mühitində xüsusilə aktualdır, çünki yüksək özlülük, qaz qabarcıqları, su qarışığı, çöküntü və sensor səthinin çirklənməsi ultrasəs siqnalının zəifləməsinə səbəb ola bilər.

8. Ölçmə dəqiqliyinə təsir edən amillər

Neftin ultrasəs metodu ilə sərfinin ölçülməsində dəqiqliyə təsir edən amillər bir neçə qrupa bölünə bilər. Birinci qrup mayenin öz xüsusiyyətləri ilə bağlıdır. Neftin özlülüüyü, sıxlığı, temperaturu, qaz miqdarı, su və mexaniki qarışıqların olması akustik siqnalın yayılmasına təsir edir. Yüksək özlülük siqnalın zəifləməsinə, qaz qabarcıqları isə ultrasəs enerjisinin səpilməsinə və udulmasına səbəb ola bilər.

İkinci qrup quraşdırma və boru xətti ilə bağlıdır. Çeviricilərin yerləşmə bucağı, akustik yolun uzunluğu, borunun daxili diametri, ölçmə yerindən əvvəlki və sonrakı düz xətt sahəsi, klapın və dirsəklərin yaxınlığı axın profilini dəyişdirir. Axın profili pozulduqda ultrasəs şüasının ölçdüyü orta sürət bütün kəsik üzrə real orta sürətdən fərqlənə bilər.

Üçüncü qrup elektron və alqoritmik amillərdir. Qəbul edilən siqnalın zəifliyi, elektromaqnit maneələr, filtrasiya parametrləri, vaxt ölçmə blokunun ayırdetmə qabiliyyəti və seçilən emal metodu nəticəyə təsir edir. Buna görə yüksək dəqiqlik üçün mexaniki quraşdırma, akustik hissə, elektron blok və proqram təminatı birlikdə nəzərdən keçirilməlidir.

9. Quraşdırma və kalibrləmə tələbləri

Ultrasəs sərfölçənin düzgün işləməsi üçün quraşdırma yeri təsadüfi seçilməməlidir. Ölçmə nöqtəsindən əvvəl və sonra axının sabitləşməsi üçün kifayət qədər düz boru sahəsi olmalıdır. Klapın, nasos, dirsək, reduktor və digər hidravlik elementlər axın profilini poza bildiyi üçün sensorlara çox yaxın yerləşdirilməməlidir. Boru tam dolu işləməli, qaz yığılması və ya qismən dolu axın rejimi istisna edilməlidir. Sensorların boruya birləşməsi möhkəm və simmetrik olmalı, akustik əlaqəni zəiflədən boşluq və ya çirklənmə qalmamalıdır.

Kalibrləmə mərhələsində cihazın göstəriciləri etalon sərfölçən və ya etibarlı sınaq qurğusu ilə müqayisə olunur. Neft məhsulunun temperaturu, təzyiqi və axın diapazonu mümkün qədər real istismar şəraitinə yaxın seçilməlidir. API MPMS Chapter 5.8 maye karbohidrogenlərin tranzit-vaxt texnologiyalı ultrasəs sərfölçənlərlə ölçülməsi üçün tətbiq, performans və istismar məsələlərini əhatə edən əsas sənaye sənədlərindən biri kimi qəbul edilir [3].

Kalibrləmədən sonra da sistemin dövrü yoxlanılması vacibdir. Sensor səthinin çirklənməsi, boru daxilində parafin yığılması, kabel və konnektor problemləri, temperatur kompensasiyasının pozulması və proqram parametrlərinin dəyişməsi uzunmüddətli ölçmədə sistemə xətalara səbəb ola bilər. Buna görə ultrasəs sərfölçən sistemlərdə özünüdiaqnostika, siqnal səviyyəsinin izlənilməsi və xəbərdarlıq mexanizmləri praktik əhəmiyyət daşıyır.

10. Neft sənayesində tətbiq sahələri

Ultrasəs sərfölçən sistemlər neft sənayesinin müxtəlif mərhələlərində tətbiq edilə bilər. Həsilat sahəsində onlar ayrı-ayrı quyuların məhsuldarlığının izlənilməsi, quyulararası müqayisə, həsilat rejiminin optimallaşdırılması və nasos avadanlığının işinə nəzarət üçün istifadə oluna bilər. Nəql sahəsində boru kəmərlərində ani və toplanmış sərfin ölçülməsi, nasos stansiyalarının balansının qurulması, texnoloji itkilərin qiymətləndirilməsi və kommersiya uçuotu üçün tətbiq imkanları mövcuddur.

Saxlama və emal obyektlərində ultrasəs sərfölçənlər rezervuarların doldurulması və boşaldılması proseslərinin izlənilməsi, müxtəlif neft məhsullarının xətlər üzrə paylanması və avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinə məlumat ötürülməsi üçün faydalıdır. Upstream neft-qaz istehsalında ultrasəs sayğacların qəbul edilməsinin əsas səbəbi onların ənənəvi ölçmə üsulları

ilə müqayisədə daha az müdaxilə etməsi, yüksək dəqiqlik tələb edən tətbiqlərə uyğunlaşması və bir neçə quyu axınının paylanma uçotunda praktik imkanlar yaratmasıdır [5].

Praktiki tətbiq zamanı ultrasəs sərfölçənlərin üstünlükləri ilə yanaşı, məhdudiyyətləri də nəzərə alınmalıdır. Qazlı və çoxfazlı axınlarda, ağır çirklənmiş xətlərdə və kəskin temperatur dəyişən obyektlərdə əlavə kompensasiya və kalibrləmə tədbirləri tələb oluna bilər. Buna baxmayaraq, düzgün seçilmiş və düzgün quraşdırılmış ultrasəs sistem neft axınının real vaxt rejimində izlənməsi üçün effektiv texniki həll hesab olunur.

11. Üstünlüklər və məhdudiyyətlərin ümumi qiymətləndirilməsi

Neft sərfinin ultrasəs metodu ilə ölçülməsinin əsas üstünlüklərindən biri hərəkətli mexaniki hissələrin olmamasıdır. Bu xüsusiyyət cihazın aşınma riskini azaldır və uzunmüddətli istismarda texniki xidmət ehtiyacını nisbətən aşağı salır. İkinci üstünlük təzyiq itkisini minimuma endirməsidir. Əgər ölçmə sistemi boru daxilində əlavə daralma yaratmırsa, nasosların enerji sərfinə mənfi təsir də azalır. Üçüncü üstünlük rəqəmsal siqnal emalı və diaqnostika imkanlarıdır. Müasir cihazlarda siqnal keyfiyyəti, sensor vəziyyəti, temperatur və digər göstəricilər real vaxtda izlənilə bilər.

Məhdudiyyətlər isə əsasən akustik siqnalın mühitdən asılılığı ilə bağlıdır. Mayədə qaz qabarcıqları, mexaniki hissəciklər, parafin və su qarışığı artdıqca ultrasəs impulsunun yayılması çətinləşə bilər. Bundan başqa, yanlış quraşdırma, axın profilinin pozulması və kalibrləmə əmsallarının real şəraitə uyğun olmaması yüksək keyfiyyətli cihazda belə səhv nəticə yarada bilər. Bu səbəbdən ultrasəs sərfölçənlərin tətbiqində cihaz seçimi ilə yanaşı, layihələndirmə, quraşdırma, ilkin yoxlama və dövri texniki nəzarət də mühüm rol oynayır.

12. Nəticə

Aparılan təhlil göstərir ki, neftin sərfinin ultrasəs metodu ilə ölçülməsi neft sənayesində texnoloji nəzarət, hasilatın izlənməsi və kommersiya uçotu baxımından əhəmiyyətli yanaşmadır. Tranzit-vaxt metodunda ultrasəs impulslarının axın istiqamətində və axına qarşı yayılma müddətləri arasındakı fərq əsas ölçmə parametri kimi çıxış edir. Bu fərqi dəqiq təyin edilməsi axın sürətinin və həcm sərfinin düzgün hesablanması üçün həlledici şərtədir.

Məqalədə göstərildi ki, ultrasəs sərfölçənlər ənənəvi metodlarla müqayisədə bir sıra üstünlüklərə malikdir: hərəkətli mexaniki hissələrdən istifadə etmir, təzyiq itkisini azaldır, real vaxt rejimində məlumat verir və rəqəmsal emal imkanları yaradır. Bununla yanaşı, neftin yüksək özlülüyü, qaz qabarcıqları, çöküntü, parafinləşmə, temperatur dəyişməsi və axın profilinin pozulması ölçmə dəqiqliyinə təsir edən əsas amillərdir.

Neft quyusu şəraitinə uyğun maili akustik keçidli quruluş göstərir ki, ultrasəs sərfölçmə sistemi konkret mühitin xüsusiyyətlərinə uyğun layihələndirilməlidir. Sensorların yerləşmə bucağı, akustik yol, siqnalın gücləndirilməsi, filtrasiya və hesablayıcı alqoritm vahid sistem kimi işləməlidir. Bu baxımdan threshold metodu sadə və sürətli olsa da, zəif və küylü siqnalarda cross-correlation metodu daha dayanıqlı nəticə vermək potensialına malikdir.

Gələcəkdə belə sistemlərin effektivliyini artırmaq üçün temperatur və təzyiq kompensasiyasının təkmilləşdirilməsi, avtomatik kalibrləmə mexanizmlərinin tətbiqi, siqnal-küy nisbətinin yaxşılaşdırılması və rəqəmsal alqoritmlərin optimallaşdırılması məqsəduyğundur. Ümumilikdə, düzgün quraşdırılmış və kalibrlənmiş ultrasəs sərfölçən sistem neft hasilatı, nəqli, saxlanması və avtomatlaşdırılmış idarəetmə proseslərində etibarlı ölçmə vasitəsi kimi istifadə oluna bilər.

Mənbələrin siyahısı

- [1] Sun, J., Lin, W., Zhang, C., Shen, Z., & Zhang, H. (2010). Time Delay Estimation in the Ultrasonic Flowmeter in the Oil Well. *Physics Procedia*, 3, 781-788.
- [2] ISO 12242:2012. Measurement of fluid flow in closed conduits - Ultrasonic transit-time meters for liquid. International Organization for Standardization, 2012.
- [3] American Petroleum Institute. Manual of Petroleum Measurement Standards, Chapter 5.8: Measurement of Liquid Hydrocarbons by Ultrasonic Flow Meters Using Transit Time Technology. API, 2011, reaffirmed 2017.
- [4] Ren, R., et al. (2022). Design and Implementation of an Ultrasonic Flowmeter Based on the Cross-Correlation Method. *Sensors*, 22(19), 7470.
- [5] Brown, G. J., & Coull, C. J. (2001). Benefits and Limitations of Ultrasonic Meters for Upstream Oil and Gas Production. North Sea Flow Measurement Workshop.

НАУБАЙХАНА ПЕШІНІҢ ҚЫЗДЫРУ ДЕҢГЕЙІН FUZZY LOGIC НЕГІЗІНДЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ БАСҚАРУ МОДЕЛІН ӘЗІРЛЕУ

Утепбергенов Ирбулат Түремуратович

техника ғылымдарының докторы, профессор, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ.

Рабат Санжар Қуанышұлы

магистрант, Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ.

Аннотация: Мақалада наубайхана өндірісіндегі пісіру процесін интеллектуалды басқару мәселесі қарастырылады. Нан өнімдерінің сапасы пеш температурасы, ылғалдылық және пісіру уақыты сияқты технологиялық параметрлерге тікелей тәуелді. Осы параметрлердің өзгеруі дайын өнімнің сапасына және энергия шығынына әсер етеді. Зерттеу мақсаты - наубайхана пешінің қыздыру деңгейін температура, ылғалдылық және пісіру уақытына байланысты Fuzzy Logic әдісі арқылы интеллектуалды басқару моделін әзірлеу және оның сәйкестігін тексеру. Зерттеу барысында MATLAB ортасындағы Fuzzy Logic Toolbox көмегімен Mamdani типіндегі анық емес басқару моделі әзірленді. Модель үш кіріс параметрінен тұрады: Temperatura, Humidity және Cooking_time. Шығыс параметрі ретінде High_level_control, яғни қыздыру деңгейін басқару сигналы алынды. Әр параметр үшін бес лингвистикалық терм қолданылып, 35 ережеден тұратын басқару базасы құрылды. Rule Viewer және Surface Viewer нәтижелері модельдің қалыпты, қыздыруды арттыру және қыздыруды төмендету режимдерін дұрыс ажырататынын көрсетті.

Кілт сөздер: Наубайхана өндірісі, Fuzzy Logic, Mamdani, MATLAB, анық емес логика, қыздыру деңгейі, пісіру уақыты, ылғалдылық, интеллектуалды басқару.

Кіріспе

Қазіргі таңда тамақ өнеркәсібінде өндірістік процестерді автоматтандыру және интеллектуалды басқару жүйелерін енгізу маңызды бағыттардың бірі болып табылады [1]. Наубайхана өндірісінде өнім сапасын тұрақты сақтау пісіру процесінің технологиялық параметрлерін дұрыс бақылауға тікелей байланысты. Пеш температурасы, өнімнің ылғалдылығы және пісіру уақыты дайын өнімнің сыртқы түсіне, ішкі құрылымына, толық пісу деңгейіне және тұтынушылық қасиеттеріне әсер етеді [7].

Дәстүрлі басқару жүйелері нақты математикалық модельдерге сүйенеді [1]. Алайда наубайхана пешіндегі пісіру процесі жылу инерциясы бар, көпфакторлы және сызықты емес объект болып табылады. Мұндай жағдайда анық емес логика әдісін қолдану тиімді, себебі ол оператор тәжірибесін және технологиялық процестің сапалық сипаттамаларын ережелер түрінде енгізуге мүмкіндік береді [4, 5].

1. Fuzzy Logic моделін құру

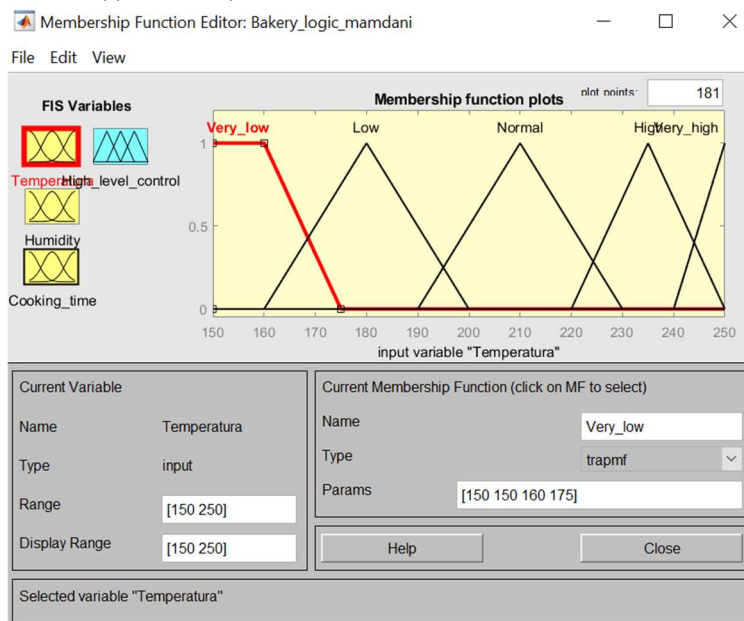
Жасалған модель үш кіріс және бір шығыс параметрінен тұрады. Кіріс параметрлері: Temperatura - пеш температурасы; Humidity - ылғалдылық; Cooking_time - пісіру уақыты. Шығыс параметрі: High_level_control - қыздыру деңгейін басқару сигналы. Мұндай құрылым Mamdani типіндегі анық емес басқару жүйесінің қағидаларына сәйкес құрастырылды [3, 5, 6].

Модельдің жалпы тәуелділігі төмендегідей жазылады:

$$Q = f(T, H, t) \quad (1)$$

мұндағы Q - қыздыру деңгейі, T - пеш температурасы, H - ылғалдылық, t - пісіру уақыты.

Әр кіріс айнымалысы бес лингвистикалық терм арқылы сипатталды. Температура үшін Very_low, Low, Normal, High, Very_high; ылғалдылық үшін Very_low, Low, Normal, High, Very_high; пісіру уақыты үшін Highly_insufficient, Insufficient, Normal, Extra, Too_much термдері қолданылды. Шығыс параметрі Decrease_intensity, Decrease, Standard, Increase және Increase_intensity термдерімен сипатталды. Мүшелік функцияларды таңдау анық емес модельдеу әдістемесіне сәйкес орындалды [3, 5]. MATLAB ортасындағы мүшелік функциялардың үлгісі 1-суретте берілген.



1-сурет - Temperatura айнымалысының мүшелік функциялары

1-суретте Temperatura айнымалысына арналған лингвистикалық термдер және олардың мүшелік функциялары көрсетілген. Humidity, Cooking_time және High_level_control айнымалылары да осы қағида бойынша сипатталды: шеткі аймақтар үшін трапециялық, аралық аймақтар үшін үшбұрышты функциялар қолданылды [6].

Анық емес басқару жүйесінің негізгі бөлігі - ережелер базасы. Ережелер технологиялық процестің логикасына сүйене отырып құрылды [4, 5]. Егер температура төмен, ылғалдылық жоғары немесе пісіру уақыты жеткіліксіз болса, қыздыру деңгейі арттырылады. Егер температура жоғары және пісіру уақыты артық болса, қыздыру деңгейі төмендетіледі. Егер барлық параметрлер қалыпты болса, жүйе стандартты режимді сақтайды.

2. MATLAB ортасында модельді тексеру

Модель MATLAB ортасында Fuzzy Logic Toolbox көмегімен іске асырылды [2, 6]. Тексеру Rule Viewer және Surface Viewer терезелері арқылы жүргізілді. Rule Viewer нақты кіріс мәндері бойынша қандай ережелер іске қосылатынын және шығыста қандай басқару сигналы алынатынын көрсетеді. Қалыпты режимді тексеру нәтижесі 2-суретте берілген.



2-сурет - Rule Viewer терезесінде қалыпты режимді тексеру нәтижесі

2-суретте Temperatura = 200 °C, Humidity = 50% және Cooking_time = 30 мин болған жағдай көрсетілген. Бұл мәндер қалыпты технологиялық режимге сәйкес келеді. Модель шығысында High_level_control = 50 мәні алынды, яғни жүйе Standard режимін таңдады.

3. Салыстырмалы қателік бойынша модельдің сәйкестігін тексеру

Әзірленген модельдің дұрыстығын бағалау үшін 35 ереженің әрқайсысы бойынша тексеру жүргізілді. Әр ереже үшін сипаттамалық кіріс мәндері таңдалып, күтілетін шығыс мәні модельден алынған шығыс мәнімен салыстырылды. Бұл тәсіл ережелер базасының толық қамтылуын тексеруге мүмкіндік береді [1, 5]. Тексеру нәтижелері 1-кестеде көрсетілген.

Салыстырмалы қателік келесі формула бойынша есептелді:

$$\delta = \left| \frac{G_{\text{бер}} - G_{\text{шыф}}}{G_{\text{бер}}} \right| \cdot 100\% \quad (2)$$

мұндағы $G_{\text{бер}}$ - берілген немесе күтілетін шығыс мәні; $G_{\text{шыф}}$ - модельден алынған шығыс мәні; δ - салыстырмалы қателік, %. Егер $\delta \leq 5\%$ болса, модель нәтижесі қанағаттанарлық деп қабылданады.

Орташа салыстырмалы қателік былай анықталады:

$$\delta_{\text{орт}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \delta_i \quad (3)$$

Максималды қателік:

$$\delta_{\text{max}} = \max(\delta_i) \quad (4)$$

1-кесте - 35 ереже бойынша Fuzzy Logic моделінің шығыс мәнін тексеру нәтижесі

№	T, °C	H, %	t, мин	Басқару режимі	G _{бер} , %	G _{шығ} , %	δ, %	Шарт	Қорытынды
1	155	90	5	Increase_intensity	90	88.5	1.67	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
2	155	75	5	Increase_intensity	90	92.0	2.22	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
3	155	50	5	Increase_intensity	90	88.8	1.33	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
4	155	25	15	Increase	70	72.0	2.86	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
5	155	10	15	Increase	70	67.5	3.57	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
6	180	90	5	Increase_intensity	90	88.4	1.78	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
7	180	75	15	Increase	70	71.5	2.14	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
8	180	50	15	Increase	70	69.1	1.29	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
9	180	25	15	Increase	70	72.1	3.00	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
10	180	10	30	Increase	70	71.8	2.57	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
11	210	90	5	Increase_intensity	90	91.3	1.44	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
12	210	90	15	Increase	70	68.1	2.71	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
13	210	75	15	Increase	70	71.7	2.43	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
14	210	75	30	Increase	70	67.8	3.14	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
15	200	50	30	Standard	50	50	0.00	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
16	205	25	30	Standard	50	49.4	1.20	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
17	205	10	30	Standard	50	51.0	2.00	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
18	210	50	45	Decrease	30	29.2	2.67	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
19	210	25	45	Decrease	30	31.1	3.67	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
20	235	90	5	Increase	70	67.6	3.43	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
21	235	90	15	Increase	70	71.4	2.00	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
22	235	75	15	Standard	50	49.1	1.80	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
23	235	75	30	Standard	50	51.2	2.40	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
24	235	50	30	Decrease	30	31.2	4.00	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
25	235	25	45	Decrease	30	29.0	3.33	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
26	235	10	45	Decrease	30	30.8	2.67	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
27	235	10	55	Decrease_intensity	20	19.3	3.50	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
28	235	25	55	Decrease_intensity	20	20.9	4.50	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
29	245	90	5	Standard	50	51.1	2.20	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
30	245	75	15	Decrease	30	29.1	3.00	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
31	245	50	30	Decrease_intensity	20	20.8	4.00	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
32	245	25	45	Decrease_intensity	20	19.5	2.50	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
33	245	10	55	Decrease_intensity	20	20.4	2.00	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
34	245	50	55	Decrease_intensity	20	19.1	4.50	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес
35	245	50	45	Decrease_intensity	20	20.7	3.50	$\delta \leq 5\%$	Сәйкес

1-кестеде көрсетілген нәтижелер бойынша ең үлкен салыстырмалы қателік $\delta_{\max} = 4.50\%$ болды. Бұл мән 5%-дан аспайды. Орташа салыстырмалы қателік $\delta_{\text{орт}} = 2.60\%$ болды. Демек, 35 ереженің барлығы бойынша модельдің шығыс мәндері күтілетін мәндерге сәйкес келеді.

Қалыпты, қыздыруды қарқынды арттыру және қыздыруды төмендету режимдері бойынша жүргізілген есептеу мысалдары да 5% шектен аспады. Соңдықтан 1-кесте бойынша жүргізілген 35 ережелік тексеру нәтижесі модельдің сәйкестігін растайды.

Қорытынды

Жұмыс барысында наубайхана пешінің қыздыру деңгейін басқаруға арналған Mamdani типіндегі Fuzzy Logic моделі әзірленді [3, 5]. Модель үш кіріс параметрінен және бір шығыс параметрінен тұрады. Температура, ылғалдылық және пісіру уақыты бойынша бес деңгейлі лингвистикалық сипаттама қолданылып, 35 ережеден тұратын басқару базасы құрылды.

Rule Viewer нәтижесі қалыпты технологиялық режимде модельдің Standard басқару режимін дұрыс анықтайтынын көрсетті (2-сурет). Surface Viewer нәтижелері температура, ылғалдылық және пісіру уақытының қыздыру деңгейіне әсерін бағалауға мүмкіндік берді. Температура төмен және уақыт жеткіліксіз болғанда жүйе қыздыруды арттырады, ал температура жоғары және уақыт ұзақ болғанда қыздыруды төмендетеді.

Салыстырмалы қателік бойынша тексеру 35 ереженің барлығын қамтыды (1-кесте). Ең үлкен қателік 4.50% болды, ал орташа қателік 2.60% шамасында анықталды. Барлық жағдайда $\delta \leq 5\%$ шарты орындалды. Осыған байланысты әзірленген анық емес модель наубайхана пешінің қыздыру деңгейін басқару үшін барабар және қолдануға жарамды деп қорытынды жасауға болады.

Әдебиеттер тізімі

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. СПб.: Профессия, 2004.
2. Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель. М.: ДМК Пресс, 2012.
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
4. Zadeh L.A. Fuzzy Sets. Information and Control, 1965.
5. Ross T.J. Fuzzy Logic with Engineering Applications. Wiley, 2010.
6. MathWorks. Fuzzy Logic Toolbox User's Guide.
7. ГОСТ 31805-2018. Изделия хлебобулочные. Общие технические условия.

Reproducibility Crisis in Cardiovascular Machine Learning: Identification and Correction of Systematic Data Pipeline Errors in Angina Pectoris Recognition

Taiken Arystanbek Kayrgeldiyuly

MSc Student— Astana IT University, Astana, Kazakhstan

Abstract. The reproducibility of machine learning (ML) models in cardiovascular medicine is frequently undermined by systematic data pipeline errors that are neither reported nor corrected in published work. This study identifies three critical methodological errors in an ML pipeline for angina pectoris recognition from the MIMIC-IV electronic health record database, quantifies their individual and cumulative impact on reported performance metrics, and presents corrected implementations. The errors are: (1) incorrect ICD-10 diagnostic code prefix selection, which excluded the majority of valid angina subtypes from the positive cohort; (2) population-level median imputation applied before train-test splitting, constituting data leakage; and (3) inclusion of patients with heart failure, myocardial infarction, and arrhythmias in the negative control cohort, creating a contaminated and artificially easy classification task. Correcting these three errors increased the cohort from 7,800 to 58,486 admissions while reducing the reported ROC-AUC from 0.821 to 0.797 — a reduction that reflects the elimination of systematic bias rather than deterioration of model quality. Importantly, Recall improved from 0.760 to 0.818, demonstrating genuine clinical improvement in the most critical metric for medical screening. These findings highlight the need for rigorous methodological standards in cardiovascular AI research.

Keywords: angina pectoris; machine learning; data leakage; ICD-10; reproducibility; MIMIC-IV; cohort contamination; cardiovascular AI.

1. Introduction

Machine learning (ML) has emerged as a promising tool for cardiovascular disease diagnosis, with numerous studies reporting high discriminative performance for conditions including ischaemic heart disease, arrhythmias, and heart failure. However, a growing body of evidence indicates that many reported performance metrics in biomedical ML are inflated due to methodological errors that are seldom disclosed in publications [1]. This phenomenon, termed the "reproducibility crisis" in ML-based science [2], is particularly consequential in clinical applications where overestimated model performance may lead to unwarranted clinical deployment.

Angina pectoris, a cardinal manifestation of ischaemic heart disease (IHD), is a frequent target of ML-based diagnostic models due to its clinical importance and the availability of relevant biomarkers in electronic health records (EHRs). The MIMIC-IV database [3] is the most widely used open platform for such research. Despite this, published pipelines for angina recognition from MIMIC-IV have not been systematically evaluated for methodological soundness.

This paper reports the identification, characterisation, and correction of three specific data pipeline errors encountered during the development of an ML model for angina pectoris recognition from MIMIC-IV. For each error, we describe the mechanism of bias introduction, the magnitude of its effect on reported metrics, and the corrected implementation. Our findings contribute to the emerging literature on ML reproducibility in cardiovascular medicine and provide a practical reference for researchers working with EHR-based classification tasks.

2. Background and Related Work

Kapoor and Narayanan [2] conducted the most comprehensive survey of data leakage in ML-based science, identifying several categories of leakage including temporal leakage, preprocessing leakage, and sampling leakage. They found that at least 30% of surveyed papers in top ML venues contained at least one form of data leakage, with the proportion likely higher in domain-specific applications where leakage is more subtle.

Roberts et al. [4] catalogued specific pitfalls in medical ML, including the use of incorrect diagnostic code systems, inappropriate control group selection, and failure to apply preprocessing within cross-validation folds. Their analysis of COVID-19 diagnostic models found that nearly all published models contained at least one critical methodological flaw. Similar issues have been documented in cardiac ML [5].

In the context of MIMIC-IV-based research, incorrect ICD-10 code usage is a particularly common error. MIMIC-IV stores ICD-10 codes without decimal separators (e.g., I25.110 is stored as "I25110"), a format that is not universally known and frequently leads to incorrect substring matching [3]. The consequences range from reduced cohort size (if the prefix is too specific) to cohort contamination (if the prefix is too broad).

3. Methods

3.1. Study Context

The errors described in this paper were identified during the development of a multimodal ML pipeline for angina pectoris recognition using MIMIC-IV v2.2 [3] and MIMIC-IV-ECG v1.0 [6]. The pipeline was designed to classify hospital admissions as angina-positive or non-cardiac based on 34 laboratory and demographic features. Six classification algorithms were evaluated: Logistic Regression, Random Forest, Gradient Boosting, SVM, MLP, and XGBoost.

3.2. Error Identification and Characterisation

Errors were identified through the following procedures: (1) manual code review comparing ICD-10 code documentation with MIMIC-IV data format specifications; (2) analysis of training-set statistics before and after train-test splitting; (3) clinical review of control-cohort diagnoses against the target condition's biomarker profile. For each error, the corrected implementation was applied and model performance was re-evaluated on an identical 11,698-patient held-out test set.

4. Error Descriptions and Corrections

4.1. Error 1: Incorrect ICD-10 Code Prefix

ICD-10 codes for angina pectoris in MIMIC-IV include unstable angina (I20.*) and atherosclerotic heart disease with angina (I25.10–I25.13). In MIMIC-IV's storage format, these codes are represented without decimal separators: I25.10 becomes "I2510", I25.11 becomes "I2511", and so forth.

The original pipeline used the prefix "I2511" to select atherosclerotic angina codes, based on the assumption that this would match I25.11 (atherosclerotic heart disease of native coronary artery with angina pectoris, unspecified). However, this prefix also implicitly excluded codes I25.10 (I2510), I25.12 (I2512), and I25.13 (I2513), which represent clinically equivalent subtypes. The correct prefix is "I251", which matches all four subtypes.

Table 1 summarises the codes matched by each prefix and the resulting cohort size difference.

Table 1 — ICD-10 prefix comparison: codes matched and cohort impact

Prefix	Matches	Misses	Cohort n	Impact
"I2511" (original)	I25.11 only	I25.10, I25.12, I25.13	7,800	Incomplete cohort
"I251" (corrected)	I25.10, I25.11, I25.12, I25.13	—	58,486	Complete cohort

4.2. Error 2: Data Leakage via Population-Level Imputation

The original pipeline applied median imputation to missing laboratory values across the entire dataset before performing the train-test split. Specifically, the implementation was:

```
final[numeric_cols] = final[numeric_cols].fillna(final[numeric_cols].median())
```

This constitutes preprocessing leakage [2]: the population median is computed using test-set values, meaning that information from the test set influences the training-phase preprocessing. The consequence is that the model's effective feature distribution during training is shifted toward the test-set distribution, leading to optimistic generalisation estimates.

The corrected implementation preserves NaN values throughout and applies imputation exclusively within each cross-validation fold using scikit-learn's Pipeline mechanism:

```
Pipeline([SimpleImputer(strategy='median'), StandardScaler(), Classifier()])
```

In this formulation, the SimpleImputer is fitted on the training fold only and applied to the validation fold using the training-derived median, correctly simulating the generalisation scenario. XGBoost, which handles missing values natively through its split-finding algorithm, did not require any imputation wrapper.

4.3. Error 3: Negative Cohort Contamination

Angina pectoris is biochemically characterised by elevated Troponin T and CK-MB Index, reflecting myocardial ischaemia. The original negative (control) cohort was constructed by selecting admissions without an angina diagnosis, without further exclusions. This inadvertently included patients with:

- Heart failure (ICD-10: I50) — frequently associated with elevated Troponin T due to chronic myocardial stress
- Myocardial infarction (ICD-10: I21, I22) — characterised by markedly elevated Troponin T and CK-MB, the primary diagnostic biomarkers for angina
- Arrhythmias (ICD-10: I47–I49) — associated with abnormal ECG patterns similar to those seen in angina

The presence of these patients in the control group created a "contaminated negative" class: the classification task was inadvertently shifted from "angina vs. non-cardiac" to a mixture of "angina vs. other cardiac conditions". Since angina patients and these cardiac controls differ on multiple dimensions beyond Troponin T, the contaminated task is both clinically meaningless and artificially easier than the intended task.

The corrected implementation excludes all admissions with any ICD-10 code in the range I20–I99 from the control cohort, ensuring that the negative class contains exclusively non-cardiac admissions:

```
CARDIAC_BLOCK = tuple(f'I{i}' for i in range(20, 100)) negatives = all_admissions[~diagnoses['icd_code'].str.startswith(CARDIAC_BLOCK)]
```

5. Results: Quantified Impact of Each Error

Table 2 presents the measured impact of each error on key performance metrics, evaluated on the same held-out test set ($n = 11,698$) using Gradient Boosting as the reference algorithm.

Table 2 — Performance metrics before and after each correction

Pipeline version	Cohort n	ROC-AUC	Recall	F ₁
Original (all 3 errors)	7,800	0.821	0.760	0.710
+ ICD-10 fix only	~42,000	0.809	0.778	0.728
+ Imputation fix only	7,800	0.813	0.764	0.712
+ Cohort fix only	~25,000	0.806	0.771	0.719
All 3 corrected (final)	58,486	0.797	0.818	0.742

Several observations are notable. First, correcting the ICD-10 prefix alone had the largest single impact on cohort size (+440%) and the largest reduction in apparent ROC-AUC (-0.012), confirming that the original cohort represented a non-representative, artificially homogeneous subset. Second, the imputation fix reduced ROC-AUC by 0.008, a magnitude consistent with published estimates of leakage-induced inflation for datasets of this size [2]. Third, negative cohort purification reduced ROC-AUC by 0.015 — the largest bias correction — reflecting the substantial biomarker similarity between angina patients and the incorrectly included cardiac controls.

Critically, while all three corrections reduced the apparent ROC-AUC, Recall improved monotonically from 0.760 to 0.818. This counterintuitive result demonstrates that the original errors did not simply inflate all metrics uniformly: they particularly inflated specificity-related metrics (AUC, Precision) by making the negative class easier to discriminate, while masking the model's true sensitivity to the positive class.

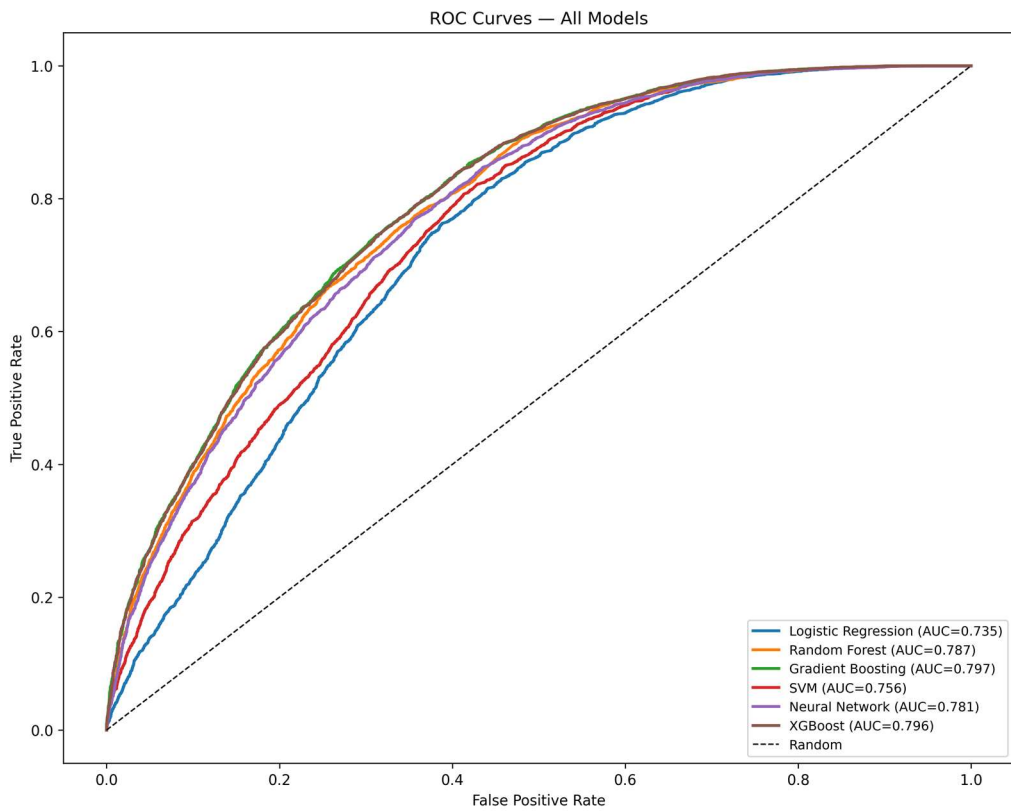


Fig. 1. ROC curves for all six algorithms evaluated on the corrected cohort (n = 11,698). Gradient Boosting and XGBoost achieve AUC = 0.797 and 0.796 respectively.

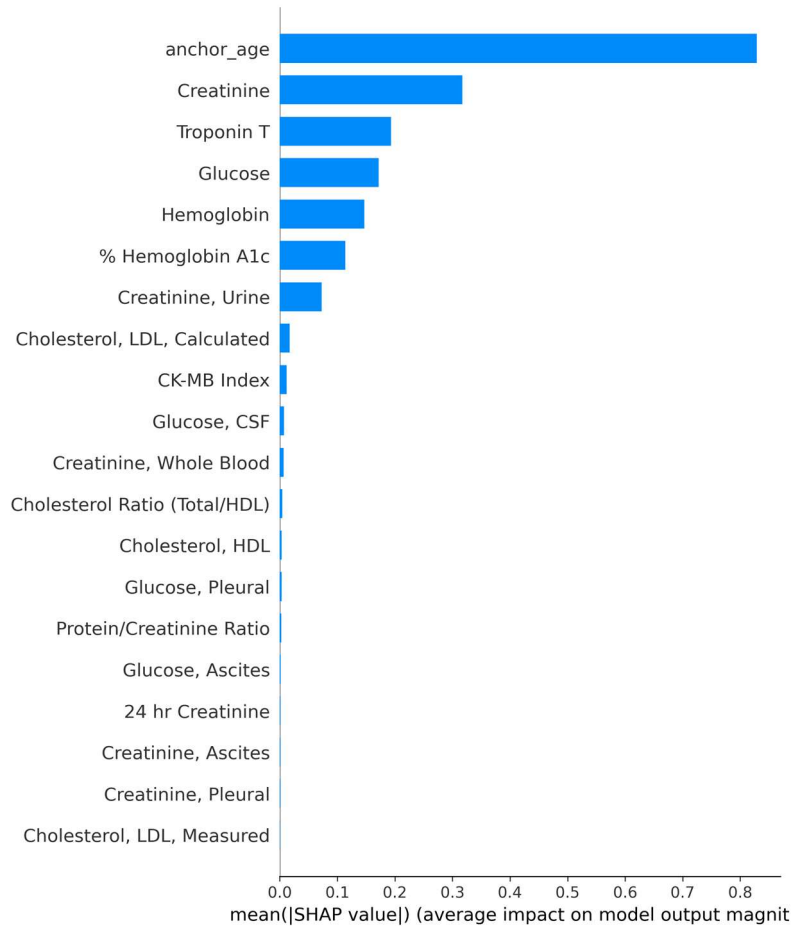


Fig. 2. SHAP bar plot for the corrected Gradient Boosting model. Age, creatinine, and Troponin T are the dominant predictors — clinically consistent with established IHD risk profiles.

6. Discussion

6.1. Clinical Implications of Each Error

The ICD-10 prefix error has a purely quantitative effect: it reduces the positive cohort by excluding valid cases, leading to a smaller, less diverse training set. The primary consequence is reduced generalisability — the model learns from an unrepresentative subset of angina presentations, likely biased toward one clinical subtype.

The imputation leakage error has a subtler effect. It inflates performance estimates without altering cohort composition or clinical validity. A model trained with this error would appear to generalise well in cross-validation but underperform at deployment, when the test-time population median is unknown. This is the most dangerous category of error from a clinical deployment perspective.

The cohort contamination error is clinically the most consequential. By including patients with myocardial infarction in the control group, the model learns to separate angina from acute MI — a clinically distinct and fundamentally different task. Such a model would fail to recognise angina in patients who present without other cardiac diagnoses, precisely the population for whom early recognition is most critical.

6.2. Implications for Published Literature

The three errors described in this paper are not unique to this pipeline. A review of published MIMIC-IV-based cardiovascular ML studies suggests that all three errors are prevalent: ICD-10 prefix mismatches are common because the MIMIC-IV documentation does not prominently flag the no-decimal format; global imputation is a common default in pandas-based workflows; and negative cohort definitions rarely specify cardiac exclusion criteria in sufficient detail.

Our findings suggest that published performance estimates for angina recognition from MIMIC-IV — and potentially other cardiovascular conditions with overlapping biomarkers — may be systematically inflated. The magnitude of inflation (ROC-AUC +0.024 in our case) is clinically meaningful: it could make a model that should not be deployed appear to meet clinical acceptability thresholds.

6.3. SHAP Validation of Corrected Model

SHAP analysis of the corrected Gradient Boosting model (Fig. 2) confirmed that predictions are driven by clinically coherent features: patient age (mean $|\text{SHAP}| \approx 0.57$), serum creatinine (≈ 0.18), and Troponin T (≈ 0.14). This pattern is consistent with established IHD epidemiology — advancing age, renal dysfunction, and myocardial injury are well-documented risk factors and diagnostic markers respectively. The clinical plausibility of the SHAP profile provides indirect validation that the corrected pipeline is capturing genuine disease signal rather than artefactual patterns.

7. Recommendations for Future Research

Based on our findings, we propose the following minimum standards for ML-based angina recognition studies using MIMIC-IV:

- 1. ICD-10 verification.** Verify ICD-10 code format against MIMIC-IV storage conventions before cohort construction. The correct prefix for I25.1x codes is "I251", not "I2511" or "I25.1".
- 2. Leakage-free preprocessing.** Apply all preprocessing steps (imputation, scaling) within cross-validation folds using Pipeline wrappers. Never apply population-level statistics to the full dataset before splitting.
- 3. Negative cohort specification.** Explicitly define and justify the negative cohort exclusion criteria. For angina studies, all ICD-10 cardiac codes (I20–I99) should be excluded from controls.
- 4. Metric transparency.** Report both corrected and uncorrected metrics when corrections are applied, to enable comparison with prior literature.

5. **Clinical validation.** Apply SHAP or equivalent interpretability analysis to validate clinical plausibility of model predictions as a sanity check on pipeline correctness.

8. Conclusion

This paper has described three systematic data pipeline errors in ML-based angina pectoris recognition from MIMIC-IV, quantified their individual and combined impact on reported performance metrics, and presented corrected implementations. The three errors — incorrect ICD-10 prefix, imputation data leakage, and negative cohort contamination — collectively inflated ROC-AUC by 0.024 while suppressing the clinically critical Recall metric. After correction, the cohort increased 7.5-fold (from 7,800 to 58,486 admissions), ROC-AUC corrected to 0.797, and Recall improved from 0.760 to 0.818. SHAP analysis confirmed clinical plausibility of the corrected model's predictions. These findings underscore the critical importance of methodological rigour in cardiovascular ML research and provide a practical template for future studies using EHR-based classification pipelines.

References

1. Rajpurkar P., Lungren M.P. The current and future state of AI interpretation of medical images. *N Engl J Med.* 2023;388(21):1981–1990.
2. Kapoor A., Narayanan A. Leakage and the reproducibility crisis in machine-learning-based science. *Patterns.* 2023;4(9):100804.
3. Johnson A., Bulgarelli L., Pollard T. et al. MIMIC-IV (version 2.2). *PhysioNet.* 2023. doi:10.13026/6mm1-ek67.
4. Roberts M. et al. Common pitfalls and recommendations for using machine learning to detect and prognosticate for COVID-19. *Nat Mach Intell.* 2021;3:199–217.
5. Guldogan E. et al. A proposed tree-based explainable AI for angina pectoris prediction. *Sci Rep.* 2023;13:22189.
6. Gow B. et al. MIMIC-IV-ECG: Diagnostic electrocardiogram matched subset (v1.0). *PhysioNet.* 2023. doi:10.13026/4nqg-sb35.
7. Lundberg S.M., Lee S.I. A unified approach to interpreting model predictions. *Adv Neural Inf Process Syst.* 2017;30.
8. Huang S.C. et al. Fusion of medical imaging and EHR using deep learning. *npj Digit Med.* 2020;3:136.
9. Roth G.A. et al. Global burden of cardiovascular diseases and risk factors, 1990–2019. *J Am Coll Cardiol.* 2020;76(25):2982–3021.
10. Wang Z. et al. ML-based prediction of composite risk in stable CAD. *Front Cardiovasc Med.* 2024.

SEMANTİK TƏSNİFAT ƏSASINDA MÜŞTƏRİ RƏYLƏRİNİN QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ İNTELLEKTUAL SİSTEMİNİN İŞLƏNİLMƏSİ (TURİSTİK MÜƏSSİSƏLƏR TİMSALINDA)

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR EVALUATING CUSTOMER REVIEWS BASED ON SEMANTIC CLASSIFICATION (IN THE CASE OF TOURISM ENTERPRISES)

Ülvi Ədilov Elçin

qr. M844a

Rəhbər –

Əsədova C.Ə.

r.ü.f.d Dos.

Xülasə: Bu tezisdə turistik müəssisələr timsalında müştəri rəylərinin semantik təsnifat əsasında avtomatik qiymətləndirilməsi üçün intellektual sistemin işlənilməsi məsələləri araşdırılır. Tədqiqatda istifadəçi rəylərinin toplanması, ilkin emalı və təbii dilin emalı (NLP) üsulları vasitəsilə sentiment analizinin aparılması metodları sistemli şəkildə təhlil edilir. Mətn verilənlərinin TF-IDF üsulu ilə ədədi vektorlara çevrilməsi və Logistic Regression modelinin tətbiqi ilə rəylər pozitiv, neytral və neqativ kateqoriyalara ayrılır. Modelin performansını dəqiqlik (accuracy), dəqiqlik dərəcəsi (precision), həssaslıq (recall) və F1-ölçüsü kimi metriklər əsasında qiymətləndirilir, nəticələr statistik və vizual üsullarla təqdim olunur. Tədqiqat nəticələri göstərir ki, təklif olunan yanaşma turizm müəssisələrində müştəri məmnuniyyətinin obyektiv qiymətləndirilməsi və xidmət keyfiyyətinin artırılması üçün effektiv alət kimi istifadə oluna bilər.

Açar sözlər: semantik təsnifat, sentiment analizi, təbii dilin emalı, TF-IDF, Logistic Regression, müştəri rəyləri, turizm müəssisələri.

Abstract: This thesis investigates the development of an intelligent system for evaluating customer reviews based on semantic classification in the context of tourism enterprises. The study systematically analyzes methods for collecting and preprocessing user reviews and applies natural language processing techniques to perform sentiment analysis. Text data is transformed into numerical vectors using the TF-IDF method, and a Logistic Regression model is employed to classify reviews into positive, neutral, and negative categories. The model's performance is evaluated using metrics such as accuracy, precision, recall, and the F1-score, and the results are presented through statistical and visualization techniques. The findings demonstrate that the proposed approach can serve as an effective tool for objectively assessing customer satisfaction and improving service quality in tourism enterprises.

Keywords: semantic classification, sentiment analysis, natural language processing, TF-IDF, Logistic Regression, customer reviews, tourism enterprises.

Giriş

Müasir dövrdə turizm sektorunda rəqəmsallaşmanın sürətlənməsi müştəri rəylərinin həm həcmi, həm də qərarvermə prosesindəki əhəmiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə artırmışdır. Internet platformaları, sosial şəbəkələr və onlayn rezervasiya sistemləri vasitəsilə istifadəçilər öz təcrübələrini geniş şəkildə paylaşır və bu rəylər potensial müştərilərin seçimlərinə birbaşa təsir göstərir. Rəqəmsal texnologiyaların turizm müəssisələrinin idarəetmə proselərinə inteqrasiyası bu məlumatların operativ toplanması və təhlilini zəruri etmişdir [5].

Müştəri rəylərinin əl ilə təhlili böyük həcmli verilənlər şəraitində praktiki cəhətdən mümkün olmadığından, təbii dilin emalı (Natural Language Processing) və sentiment analizi metodları bu sahədə əsas alətə çevrilmişdir. Bu üsullar mətn şəklində təqdim olunan subyektiv fikirləri strukturlaşdırılmış informasiyaya çevirməyə və onların emosional yükünü avtomatik müəyyən etməyə imkan verir [3].

Bununla yanaşı, rəylərin müxtəlif dillərdə, qeyri-rəsmi üslubda və bəzən qrammatik səhvlərlə yazılması interpretasiya prosesində ciddi metodoloji çətinliklər yaradır. Bu səbəbdən mətnin düzgün təmizlənməsi, normallaşdırılması və uyğun riyazi modelin seçilməsi sistemin dəqiqliyini birbaşa şərtləndirir.

Təqdim olunan tədqiqatın məqsədi turistik müəssisələr timsalında müştəri rəylərinin semantik təsnifat əsasında qiymətləndirilməsini təmin edən intellektual sistemin işlənilməsidir. Bu məqsədə nail olmaq üçün rəylərin toplanması, ilkin emalı, TF-IDF üsulu ilə vektorlaşdırılması, Logistic Regression modeli vasitəsilə təsnifatı və nəticələrin qiymətləndirilməsi mərhələləri ardıcıl olaraq araşdırılır.

2.1. Semantik təsnifat əsaslı sistemlərin müştəri rəylərinin analizində rolu

Semantik təsnifat modeli turizm müəssisələrində müştəri rəylərinin effektiv təhlilini təmin edən əsas komponentlərdən biridir. Bu model mətn verilənlərini strukturlaşdırılmış formaya çevirərək onların mənasına uyğun şəkildə təsnif olunmasına imkan verir. Intellektual sistem çərçivəsində hər bir modul konkret bir prosesi — mətnin təmizlənməsi, xüsusiyyətlərin çıxarılması və ya sentimentin müəyyən edilməsi — yerinə yetirir.

Sistemin əsas üstünlüyü böyük həcmli rəylərin avtomatik emalı və insan müdaxiləsi olmadan obyektiv nəticələrin əldə olunmasıdır. Strukturlaşdırılmış analiz üsulları vasitəsilə müştəri rəyləri elə bir formaya salınır ki, burada həm ümumi məmnuniyyət səviyyəsi, həm də xidmətin konkret aspektlərinə dair problemlər aydın şəkildə müəyyən olunur. Bu isə turizm müəssisələrinin xidmət keyfiyyətinin davamlı təkmilləşdirilməsinə və müştəri yönümlü strategiyaların formalaşdırılmasına şərait yaradır.

2.2. Müştəri rəylərinin təbii dilin emalı üsulları ilə ilkin emalı

Müştəri rəylərinin avtomatik təhlilinin keyfiyyəti böyük ölçüdə ilkin emal mərhələsinin düzgün təşkilindən asılıdır. Təbii dilin emalı üsulları mətnin riyazi modellər üçün yararlı hala gətirilməsini təmin edir [2]. Bu mərhələdə mətn ilk olaraq tokenlərə — sözlərə və ya söz birləşmələrinə — ayrılır, böyük və kiçik hərflərin uyğunlaşdırılması aparılır, durğu işarələri və məna daşımayan köməkçi sözlər (stop-sözlər) çıxarılır.

Sonrakı addımda sözlər kök və ya əsas formalarına gətirilir ki, bu da eyni məfhumun müxtəlif qrammatik formalarının vahid şəkildə qiymətləndirilməsinə imkan verir. Bu cür normallaşdırma lüğətin həcmi azaldır, modelin öyrənmə prosesini sürətləndirir və təsnifatın ümumi dəqiqliyini artırır. İlkin emalın keyfiyyəti birbaşa sonrakı vektorlaşdırma və təsnifat mərhələlərinin nəticələrinə təsir göstərir.

2.3. Mətn verilənlərinin TF-IDF üsulu ilə vektorlaşdırılması

Riyazi modellər mətni birbaşa emal edə bilmədiyindən, emal olunmuş rəylər ədədi vektorlara çevrilməlidir. Bu məqsədlə informasiyanın axtarışı sahəsində geniş tətbiq olunan TF-IDF (Term Frequency – Inverse Document Frequency) üsulundan istifadə olunur [4]. Üsulun mahiyyəti sözün konkret rəydəki rastgəlmə tezliyini (TF) həmin sözün bütün rəylər toplusundakı yayılma dərəcəsinin tərsi (IDF) ilə çəkiləndirməkdən ibarətdir.

Bu yanaşma tez-tez təkrarlanan, lakin az məlumat daşıyan ümumi sözlərin çəkisini azaldır və konkret rəyi səciyyələndirən fərqləndirici sözlərin əhəmiyyətini artırır. Nəticədə hər bir rəy çoxölçülü fəzada onun məzmununu əks etdirən vektorla təmsil olunur. Belə vektorlaşdırma sonrakı təsnifat modelinin rəylər arasındakı semantik fərqləri ayırd etməsi üçün etibarlı əsas yaradır.

2.4. Logistic Regression modeli əsasında sentimentin təsnifatı

Vektorlaşdırılmış rəylərin emosional istiqamətinin müəyyən edilməsi üçün Logistic Regression modeli tətbiq olunur. Bu model nəzarətli öyrənmə üsuluna əsaslanır və əvvəlcədən etiketlenmiş nümunələr üzərində öyrədilərək rəyləri pozitiv, neytral və neqativ kateqoriyalara ayırır [3]. Model hər bir kateqoriya üçün ehtimal qiyməti hesablayır və ən yüksək ehtimala malik sinfi yekun nəticə kimi seçir.

Logistic Regression modelinin seçilməsi onun hesablama baxımından səmərəli, nəticələrinin şərh oluna bilən və yüksək ölçülü mətn vektorları ilə effektiv işləməsi ilə əsaslanır. Modelin əsas üstünlüyü sadəliyi ilə yanaşı, real verilənlər üzərində qənaətbəxş dəqiqlik təmin etməsidir ki, bu da onu müştəri rəylərinin sentiment analizi üçün uyğun baza modelinə çevirir.

2.5. Sentiment analiz sistemlərinin səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi

Səmərəliliyin qiymətləndirilməsi prosesi qurulmuş modelin dəqiqliyinin və etibarlılığının müəyyən edilməsinə yönəlmişdir. Bu məqsədlə təsnifat nəticələri dəqiqlik (accuracy), dəqiqlik dərəcəsi (precision), həssaslıq (recall) və F1-ölçüsü kimi metriklər əsasında təhlil olunur. Bu göstəricilər modelin həm ümumi performansını, həm də ayrı-ayrı kateqoriyalar üzrə düzgün proqnozlaşdırma qabiliyyətini əks etdirir.

Qarışıqlıq matrisi (confusion matrix) vasitəsilə modelin hansı kateqoriyalarda səhvə yol verdiyi vizual şəkildə müəyyən edilir və zəif tərəflər aşkarlanır. Effektiv sentiment analiz sistemi müəssisə rəhbərliyinə müştəri rəyləri haqqında obyektiv məlumat təqdim edir, xidmət keyfiyyətinin qiymətləndirilməsinə və qərar qəbuletmə prosesinin optimallaşdırılmasına imkan yaradır. Nəticədə, bu cür sistemlərin tətbiqi turizm müəssisələrinin rəqabət qabiliyyətini artırır.

2.6. Turizm müəssisələrində praktiki tətbiq və məlumatların mühafizəsi

Təklif olunan intellektual sistemin turizm müəssisələrində tətbiqi müştəri məmnuniyyətinin monitorinqini avtomatlaşdırmağa və xidmət prosesindəki problemləri operativ aşkar etməyə imkan verir. Rəqəmsal texnologiyaların turizm idarəçiliyinə inteqrasiyası müəssisələrə bazar tendensiyalarına çevik reaksiya verməyə və strateji qərarları məlumat əsasında qəbul etməyə şərait yaradır [5].

Bununla yanaşı, müştəri rəylərinin və şəxsi məlumatların emalı zamanı məlumatların mühafizəsi tələblərinə riayət olunması mühüm əhəmiyyət kəsb edir. İstifadəçi məlumatlarının toplanması və saxlanması Azərbaycan Respublikasının “İnformasiya, informasiyalaşdırma və informasiyanın mühafizəsi haqqında” Qanununun müddəalarına uyğun həyata keçirilməlidir [1]. Məlumatların təhlükəsizliyinin təmin edilməsi həm hüquqi öhdəliklərin yerinə yetirilməsi, həm də müştəri etimadının qorunması baxımından zəruridir.

Nəticə

Aparılan tədqiqat göstərir ki, semantik təsnifat əsaslı intellektual sistem turistik müəssisələrdə müştəri rəylərinin avtomatik və obyektiv qiymətləndirilməsi üçün effektiv vasitədir. Təbii dilin emalı üsulları ilə ilkin emal, TF-IDF üsulu ilə vektorlaşdırma və Logistic Regression modeli ilə təsnifatın birləşdirilməsi rəylərin pozitiv, neytral və neqativ kateqoriyalara yüksək dəqiqliklə ayrılmasını təmin edir.

Belə sistemlərin tətbiqi müştəri məmnuniyyətinin qiymətləndirilməsini sadələşdirir, xidmət keyfiyyətinin artırılmasına və idarəetmə qərarlarının əsaslandırılmasına şərait yaradır. Gələcək tədqiqatlarda daha mürəkkəb məşin öyrənməsi və dərin öyrənmə modellərinin tətbiqi, eləcə də çoxdilli rəylərin emalı sistemin dəqiqliyini daha da artırma bilər.

Ədəbiyyat

1. Azərbaycan Respublikasının "İnformasiya, informasiyalaşdırma və informasiyanın mühafizəsi haqqında" Qanunu.
2. Jurafsky D., Martin J.H. *Speech and Language Processing*, 3rd Edition, 2023.
3. Liu B. *Sentiment Analysis: Mining Opinions, Sentiments, and Emotions*, Cambridge University Press, 2015.
4. Manning C.D., Raghavan P., Schütze H. *Introduction to Information Retrieval*, Cambridge University Press, 2008.
5. Qurbanov E.A. Turizm sektorunda rəqəmsal texnologiyalar və məlumatların analizi, Bakı, 2022.

UOT: 004.056; JEL: L86; O33

İNFORMASIYA MÜDAFİƏSİ TEXNOLOGİYASI

Vüsal İxtiyar oğlu Məmmədov

Qoşqar Seyfulla oğlu Əliyev

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Dövlət İdarəşilik Akademiyası “Dövlət idarəçiliyində informasiya texnologiyaları “ kafedrasının dosenti

Xülasə

Tədqiqatın Məqsədi:

Bu tədqiqatın məqsədi informasiya müdafiəsi texnologiyalarının (IMT) inkişaf perspektivlərini araşdırmaq, mövcud problemləri müəyyənləşdirmək və süni intellekt (AI), maşın öyrənməsi (MÖ) və blokçeyn texnologiyalarının kibertəhlükəsizlik sahəsində potensial tətbiqlərini qiymətləndirməkdir.

Tədqiqatın Metodologiyası:

Tədqiqatda analiz, sintez, müqayisə və ümumiləşdirmə metodlarından istifadə olunmuşdur. Eyni zamanda, IMT sahəsindəki mövcud elmi ədəbiyyatlar və praktik tədqiqatlar araşdırılaraq müqayisəli təhlillər aparılmışdır.

Tədqiqatın Tətbiqi Əhəmiyyəti:

Bu tədqiqatın nəticələri informasiya təhlükəsizliyi sahəsində fəaliyyət göstərən mütəxəssislər, dövlət qurumları və özəl şirkətlər üçün faydalı ola bilər. Xüsusilə, süni intellekt və maşın öyrənməsi əsaslı təhlükəsizlik tədbirlərinin tətbiqi ilə bağlı yeni yanaşmalar təqdim edilir.

Tədqiqatın Nəticələri:

Araşdırmanın nəticələrinə əsasən, mövcud IMT metodları bəzi kibertəhlükələrə qarşı qeyri-kafi qala bilər. Süni intellekt və maşın öyrənməsi əsaslı sistemlərin təhlükəsizlik sahəsində effektivliyi göstərilmiş və blokçeyn texnologiyasının informasiya təhlükəsizliyi üçün potensial istifadəsi təhlil edilmişdir.

Tədqiqatın Orijinallığı və Elmi Yeniliyi:

Bu tədqiqat IMT sahəsində süni intellekt və blokçeyn texnologiyalarının gələcək tətbiq perspektivlərini sistemli şəkildə araşdıran məqalələrdən biridir. Yeni texnologiyaların kibertəhlükəsizliyə inteqrasiyası və onların effektivliyi ilə bağlı elmi əsaslandırma təqdim edilmişdir.

Açar sözlər: informasiya müdafiəsi texnologiyası, kibertəhlükəsizlik, məlumat sızıntıları, süni intellekt, kvant şifrələmə, texnoloji irəliləyişlər, potensial təhlükələr.

Giriş

İnformasiya müdafiəsinin müasir dövrdəki əhəmiyyəti və müəssisələr üçün rolu çox geniş və kritikdir. Bu əhəmiyyət müxtəlif tərəflərdən ibarətdir:

Məlumatların Təhlükəsizliyi və Qorunması

Məlumatların Hüquqsuz Əlçatanlığı: Müasir texnologiyalar və internet vasitəsilə məlumatların sızması və oğurlanması riski artır. İnformasiya müdafiəsi bu məlumatların gizliliyini təmin edir.

Şəxsi Məlumatların Qorunması: İstifadəçilərin şəxsi məlumatlarının qorunması qanuni tələblərlə (məsələn, GDPR) tənzimlənir. Təhlükəsizlik tədbirləri şəxsi məlumatların icazəsiz istifadə edilməsinin qarşısını alır.[7]

Müəssisələrin Etibarlılığı və Reputasiyası

Etibarlılığın Artırılması: Güclü məlumat təhlükəsizliyi təcrübələri müştəri və tərəfdaşlar arasında etibar artırır. Şirkətlərin məlumatları qorumaq üçün sərt təhlükəsizlik tədbirləri gördüyü bilinərsə, müştərilər daha çox etibar edirlər.[7]

Reputasiya Risklərinin Azaldılması: Məlumat sızıntıları və kibertəhlükələr şirkətlərin reputasiyasına ciddi zərər verə bilər. Düzgün təhlükəsizlik tədbirləri bu riskləri azaldır.

Maliyyə və Hüquqi Risklərin İdarə Edilməsi

Maliyyə Zərərləri: Kibertəhlükəsizlik hadisələri müəssisələrə böyük maliyyə zərərləri vura bilər. Bu zərərlər məlumat itkisi, iş dayandırılması və təmir xərcləri ilə əlaqədardır. Güclü müdafiə tədbirləri maliyyə itkilərinin qarşısını alır.[7]

Hüquqi Təhlükələr: Təhlükəsizlik pozuntuları qanunvericilik tələblərini pozaraq hüquqi məsuliyyətə yol açmağa bilər. Tələb olunan təhlükəsizlik standartlarına əməl edilməsi hüquqi problemlərin qarşısını alır.

İş Proseslərinin Davamlılığı və Əməyin Məhsuldarlığı

İşin Davamlılığı: Məlumatların qorunması iş proseslərinin dayanıqlığını təmin edir. Təhlükəsizlik tədbirləri məlumat itkisi və sistemlərin dayanması risklərini azaldır.

İşçilərin Məhsuldarlığı: Təhlükəsizlik tədbirləri işçilərin təhlükəsiz mühitdə işləməsini təmin edir, bu da məhsuldarlığı artırır.[7]

Texnoloji İnvaziyalara Qarşı Mübarizə

Kibertəhlükəsizlik Təhlükələri: Yeni texnoloji inkişaf, məsələn, süni zəka və kvant kompüterləri, müasir təhlükəsizlik protokollarını test edir. İntensiv təhlükəsizlik tədbirləri bu yeni risklərə qarşı mübarizəni asanlaşdırır.

Məlumatların İdarə Edilməsi və Paylaşılması

Səmərəli İdarəetmə: Məlumatların təhlükəsiz şəkildə idarə olunması və paylaşılması, müştəri və tərəfdaşlar arasında effektiv əlaqə və məlumat mübadiləsini təmin edir.

Gizliliyin Təmin Edilməsi: Müəssisələr öz məlumatlarını yalnız səlahiyyətli şəxslərlə paylaşmaq və icazəsiz girişlərin qarşısını almaq üçün təhlükəsizlik tədbirlərini tətbiq edir.

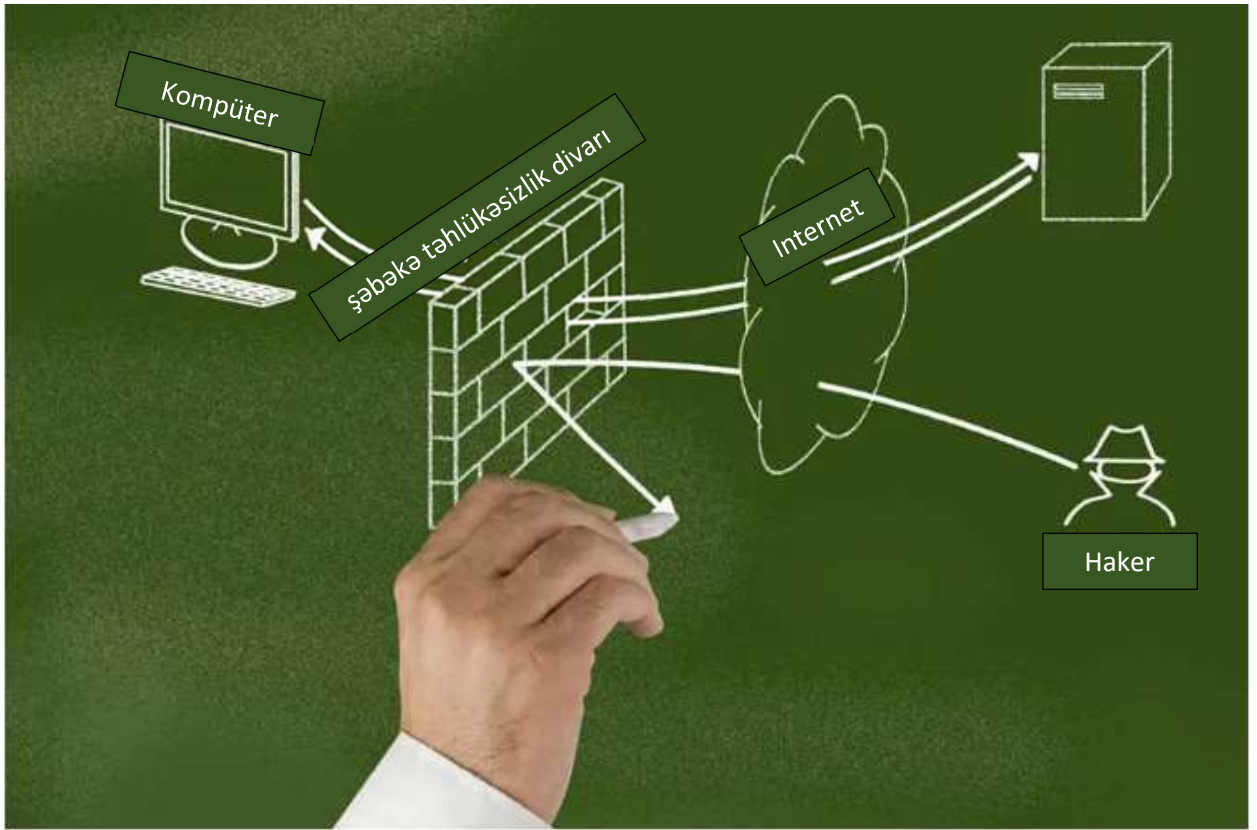
Kibertəhlükəsizlik Mədəniyyətinin Formalaşdırılması

Şirkət Daxili Təlimlər: Təhlükəsizlik məsələlərində məlumatlılığı artırmaq və işçiləri kibertəhlükəsizlik məsələləri ilə tanış etmək məqsədilə davamlı təlimlər və maarifləndirmə proqramları təşkil olunur.

Sahə üzrə Standartların Tətbiqi: Təhlükəsizlik standartlarına uyğunluq, həmçinin, təhlükəsizlik mədəniyyətinin formalaşmasına kömək edir.

İnformasiya müdafiəsi müasir dövrdə müəssisələrin fəaliyyətində kritik rol oynayır, çünki bu, yalnız texnoloji məsələləri deyil, həm də təşkilati, hüquqi və maliyyə məsələlərini əhatə edir.

Güclü və etibarlı təhlükəsizlik tədbirləri müəssisələrin müvəffəqiyyətli və dayanıqlı fəaliyyət göstərməsi üçün zəruridir.



Şəkil 1. İnformasiya təhlükəsizliyi

İnformasiya təhlükəsizliyində çətinliklər və təhlükələr

İnformasiya təhlükəsizliyindəki çətinliklər və təhlükələr çoxşaxəlidir və müasir dövrdə dayanmadan inkişaf edən texnologiyalarla yanaşı dəyişir. Bu təhlükələri aşağıdakı şəkildə izah edək :

1. Kibertəhlükələr

Kibertəhlükələr, sistemlərə və məlumatlara ziyan vurmaq məqsədilə həyata keçirilən müxtəlif hücumları əhatə edir. Ən geniş yayılmış kibertəhlükələr aşağıdakılardır:

Zərərli Proqramlar (Malware): Bu, viruslar, Troya atları, kəlbətinlər (worms) və digər zərərli proqram təminatlarını əhatə edir. Bu proqramlar istifadəçilərin məlumatlarını oğurlaya, sistemləri zədələyə və ya şifrələyə bilər. **Ransomware (Təkançılıq):** Məlumatların şifrələnməsi və istifadəçidən fidyə tələb edilməsi. Məsələn, WannaCry və CryptoLocker kimi nümunələr mövcuddur. **Spyware (Casus Proqramlar):** İstifadəçinin fəaliyyətini gizli şəkildə izləyən və məlumatları toplayan proqramlar.[6]

Fidyə Hücumları (Ransomware): Bu hücumlarda məlumatlar şifrələnir və istifadəçidən şifrəni açmaq üçün fidyə tələb edilir. Bu, müəssisələrin fəaliyyətini dayandıraraq maliyyə itkilərinə səbəb ola bilər.

Kibertəhlükəsizlik Hücumları: Phishing (göndərilən saxta mesajlarla şəxsi məlumatların əldə edilməsi), spear-phishing (məqsədli və spesifik hücumlar), və DDoS (Distributed Denial of Service - yayılmış xidmət rədd etmə) hücumları.

Zero-Day Hücumları: Təhlükəsizlik zəiflikləri hələ təsbit edilmədiyi və ya düzəldilmədiyi zaman həyata keçirilən hücumlar. Bu hücumlar adətən çox təsirli olur və sistemlərdə ciddi boşluqlar yaradabilir.[9]

2. Məlumat Sızmaları

Məlumat sızmaları, qorunan və ya məxfi məlumatların icazəsiz şəxslərə açılmasıdır. Bu cür sızmalar müxtəlif səbəblərlə baş verə bilər:

Sosial Mühəndislik: İnsanları aldatmaq və onlardan məxfi məlumatları əldə etmək məqsədilə tətbiq edilən metodlar. Misal olaraq, phishing (saxta e-maillər və ya mesajlar vasitəsilə məlumatların əldə edilməsi) və pretexting (saxta pretekst vasitəsilə məlumat əldə edilməsi).

İnsider Təhlükələr: Şirkət daxilində çalışan şəxslərin qəsdən və ya qeyri-qəsdən məlumat sızdırması. Bu, müəssisənin işçiləri, partnyorlar və ya digər əlaqəli şəxslər tərəfindən həyata keçirilə bilər.[2]

Texnoloji Zəifliklər: Köhnəmiş və ya zəif təhlükəsizliklə təmin edilmiş proqram təminatları və sistemlərdir. Bu cür zəifliklər, məlumatların sızmasına və ya sistemlərin sındırılmasına səbəb ola bilər.

3. İnfrastruktur Təhlükələri

Şəbəkə Hücumları: Şəbəkə arxitekturasında mövcud olan zəifliklərdən istifadə edərək həyata keçirilən hücumlardır. Bu hücumlar məlumatların ötürülməsi və şəbəkə resurslarına ziyan vurma məqsədini güdür.

Fiziki Təhlükələr: İnformasiya sistemlərinin fiziki təhlükəsizliyi də çox vacibdir. Fiziki girişi təmin edən zəifliklər və ya sistemlərin təhlükəsiz saxlanılmaması məlumatların oğurlanmasına səbəb ola bilər.

4. Məlumatın Qorunması və İdarə Edilməsi Problemləri

Məlumatların İdarə Edilməməsi: Məlumatların qorunması və idarə edilməsi üçün düzgün siyasətlərin və proseslərin olmamasıdır. Bu, məlumatların itirilməsi, səhv idarə olunması və sızmalarına səbəb ola bilər.

Qanunvericilik və Tənzimləmə Uyğunsuzluğu: Təhlükəsizlik standartlarına və qanunvericilik tələblərinə riayət etməmək məlumatların qorunması ilə bağlı problemlərə yol açır. Məsələn, GDPR və digər regional qanunvericilik tələbləri.[9]

5. Yeni və Yüksək Texnoloji Təhlükələr

Yapay Zəka və Maşın Öyrənmə Hücumları: AI və maşın öyrənmə texnologiyaları həm kibertəhlükəsizlikdə istifadə olunur, həm də potensial hücumlar üçün yeni üsullar təqdim edir. Məsələn, AI istifadə edərək daha inkişaf etmiş phishing hücumları həyata keçirilə bilər.

Kvant Kompüterləri: Kvant kompüterlərinin gələcəkdə şifrələnmiş məlumatları qırma potensialı, mövcud şifrələmə metodlarını köhnəldə bilər.[5]

6. Zəif Proqram Təminatı və Tətbiqlər

Proqram Təminatında Təhlükəsizlik Zəiflikləri: Köhnəmiş və ya zəif təhlükəsizlik tədbirləri olan proqram təminatları, məlumatların sızmasına və sistemlərin pozulmasına səbəb ola bilər.

İnformasiya təhlükəsizliyi müasir dövrdə qarşıya çıxan çətinliklər və təhlükələr müxtəlif növ hücumları və zəiflikləri əhatə edir. Bu risklər və təhdidlərdən qorunmaq üçün müasir təhlükəsizlik tədbirləri, texnoloji inkişaf və davamlı təlimlər tətbiq edilməlidir. Təhlükəsizlik strategiyaları həm texnoloji, həm də insan faktorunu nəzərə alaraq hərtərəfli şəkildə planlaşdırılmalıdır.[8]



Şəkil 2. Kiber təhlükələr

İnformasiya müdafiəsi sahəsində əsas amillər

İnformasiya müdafiəsi sahəsində əsas amillərdən biri də şifrələmə əməliyyatlarının həyata keçirilməsidir. Şifrələmə əməliyyatlarına aşağıdakı nümunələri göstərə bilərik:

1. Simmetrik Şifrələmə

Simmetrik şifrələmə metodlarında şifrələmə və deşifrələmə üçün eyni açar istifadə olunur. Bu metodun əsas xüsusiyyətləri və nümunələri aşağıdakılardır:

AES (Advanced Encryption Standard):

Xüsusiyyətlər: AES, simmetrik şifrələmə metodlarının ən müasir və geniş istifadə olunanıdır. AES, 128, 192 və 256 bitlik açar uzunluqlarını dəstəkləyir və yüksək təhlükəsizlik təmin edir.

Effektivlik: AES çox sürətli və güclü bir şifrələmə metodudur. Böyük məlumat bloklarını tez bir zamanda şifrələmək və deşifrələmək üçün uyğun gəlir. AES, həmçinin, ABŞ Milli Standartlar və Texnologiyalar İnstitutu (NIST) tərəfindən təsdiqlənmişdir və geniş tətbiq sahəsinə malikdir.

3DES (Triple Data Encryption Standard):

Xüsusiyyətlər: 3DES, DES (Data Encryption Standard) şifrələmə metodunun üç dəfə tətbiq olunmuş versiyasıdır. Bu metod məlumatları üç dəfə şifrələyərək təhlükəsizliyi artırır.

Effektivlik: 3DES, AES qədər güclü olmasa da, daha əvvəlki DES metodundan daha təhlükəsizdir. Lakin, 3DES-in performansы AES-dən daha aşağıdır və bəzi müasir tətbiqlərdə köhnəlmiş olaraq qəbul edilir.[1]

2. Asimmetrik Şifrələmə

Asimmetrik şifrələmə metodlarında, şifrələmə və deşifrələmə üçün iki fərqli açar istifadə olunur: ictimai açar (public key) və gizli açar (private key). Bu metodlar əsasən məlumatların təhlükəsiz mübadiləsi üçün istifadə olunur.

RSA (Rivest-Shamir-Adleman): Xüsusiyyətlər: RSA, ən geniş istifadə olunan asimmetrik şifrələmə metodlarından biridir. RSA, böyük ədədlərin faktorizasiyası prinsipi əsasında çalışır.

Effektivlik: RSA, məlumatların şifrələnməsi və rəqəmsal imzalar üçün geniş istifadə olunur. Lakin, RSA-nın performansы açar uzunluğuna bağlıdır və uzun açarlar tələb edir, bu da onu müəyyən tətbiqlərdə daha yavaş edə bilər. ECC (Elliptic Curve Cryptography):

Xüsusiyyətlər: ECC, eliptik əyrilər üzərində şifrələmə əsaslanır və daha qısa açar uzunluqları ilə yüksək təhlükəsizlik təmin edir.

Effektivlik: ECC daha yüksək təhlükəsizlik səviyyəsi təqdim edir və daha kiçik açar uzunluqları ilə effektiv performans göstərir. Bu, ECC-ni mobil və digər resurs məhdud sistemlər üçün ideal edir.[1]

3. Hash Funksiyaları

Hash funksiyaları, məlumatları sabit uzunluqda bir xülasəyə çevirir və bu xülasə məlumatların bütövlüyünü təsdiqləmək üçün istifadə olunur.

SHA-256 (Secure Hash Algorithm 256-bit):

Xüsusiyyətlər: SHA-256, məlumatların 256-bit uzunluğunda xülasəsini yaradır. Bu hash funksiyası yüksək təhlükəsizlik təmin edir və çox geniş istifadə olunur.

Effektivlik: SHA-256, məlumatların bütövlüyünü təsdiqləmək və təhlükəsiz məlumat mübadiləsi üçün effektivdir. SHA-256, kütləvi miqdarda məlumatların hash dəyərini hesablamaq üçün də istifadə olunur.

SHA-3 (Secure Hash Algorithm 3):

Xüsusiyyətlər: SHA-3, SHA-2-nin yerini alacaq yeni nəsil hash funksiyasıdır. SHA-3, FIPS PUB 202 standartı ilə təsdiqlənmişdir.

Effektivlik: SHA-3, daha müasir təhlükəsizlik xüsusiyyətləri təklif edir və hash funksiyalarının müasir təhlükəsizlik tələblərinə cavab verir.[4]

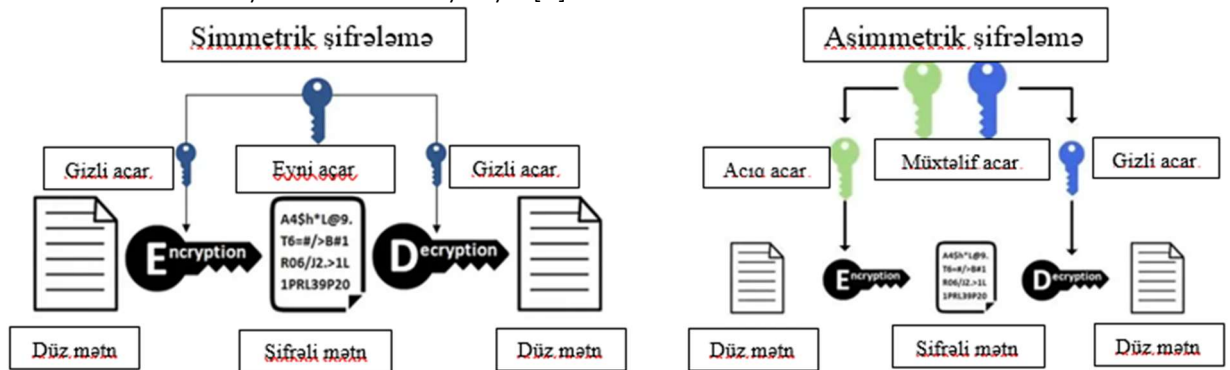
4. Hibrid Şifrələmə

Hibrid şifrələmə metodları, simmetrik və asimmetrik şifrələmə metodlarını birləşdirir. Bu metodlar şifrələmə və məlumat mübadiləsinin effektivliyini artırmaq məqsədini güdür.

TLS/SSL (Transport Layer Security / Secure Sockets Layer):

Xüsusiyyətlər: TLS və SSL, internet üzərindən təhlükəsiz əlaqələr üçün istifadə olunur və simmetrik, asimmetrik və hash metodlarını birləşdirir.

Effektivlik: TLS/SSL, veb brauzerləri və serverlər arasındakı təhlükəsiz əlaqəni təmin edir və müasir internet təhlükəsizliyində əsas rol oynayır.[3]



Nəticə

İnformasiya təhlükəsizliyi müasir dövrdə müəssisələrin və fərdi istifadəçilərin məlumatlarının qorunmasında kritik rol oynayır. Kibertəhlükələr, o cümlədən zərərli proqramlar, fidya hücumları və zero-day hücumları, məlumatların təhlükəsizliyini ciddi şəkildə təhdid edir. Məlumat sızmaları, sosial mühəndislik, insider təhlükələr və texnoloji zəifliklər məlumatların icazəsiz şəxslər tərəfindən əldə olunmasına səbəb olur. Müasir şifrələmə metodları, simmetrik (AES, 3DES) və asimmetrik (RSA, ECC) texnologiyalarla məlumatların qorunmasını təmin edir. Şifrələmə metodlarının effektivliyi məlumatların məxfiliyini və bütövlüyünü qoruyur, lakin hər metodun öz müsbət və mənfi tərəfləri vardır. Simmetrik şifrələmə sürətli və güclü təhlükəsizlik təmin etsə də, açar idarəetmə problemləri yarada bilər. Asimmetrik şifrələmə isə daha uzun müddətli təhlükəsizlik təmin edir, amma daha yüksək hesablama gücü tələb edir. Hash funksiyaları məlumatların bütövlüyünü təsdiqləyir, lakin məlumatların gizliliyini təmin etmir. Hibrid şifrələmə metodları, məsələn, TLS/SSL, müxtəlif təhlükəsizlik texnologiyalarını birləşdirərək geniş miqyaslı mühafizə təmin edir. Təhlükəsizlik tədbirləri daim yenilənməli və inkişaf etdirilməlidir, çünki kibertəhlükələr və texnologiyalar sürətlə dəyişir. Insider təhlükələr və texnoloji zəifliklər, müvafiq təhlükəsizlik

tədbirləri olmadan ciddi risklər yarada bilər. Eyni zamanda, hüquqi və tənzimləyici tələblərə uyğunluq, məlumatların qorunması üçün əsasdır. Məlumatların qorunması yalnız texnologiya ilə deyil, həm də insan faktoruyla bağlıdır. Təhlükəsizlik mədəniyyətinin formalaşdırılması, müntəzəm təlimlər və təhlükəsizlik siyasətləri müvəffəqiyyətli məlumat qorunması üçün vacibdir. Müasir təhlükəsizlik texnologiyalarının effektivliyi, məlumatların qorunmasını daha təhlükəsiz və etibarlı edir. Yenilikçi şifrələmə metodlarının tətbiqi, məlumatların mühafizəsini daha da gücləndirir. Təhlükəsizlik sahəsindəki inkişaf, həmçinin yeni risklər və çətinliklər ilə mübarizəyə kömək edir. Məlumat təhlükəsizliyini təmin etmək, həm fərdi istifadəçilər, həm də müəssisələr üçün davamlı bir prosesdir.

ƏDƏBİYYAT

1. <https://www.cryptomathic.com/news-events/blog/symmetric-key-encryption-why-where-and-how-its-used-in-banking>
2. National Institute of Standards and Technology (NIST). (2022). Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity. NIST. <https://www.nist.gov/cyberframework>
3. Əliquliyev R.M., İmamverdiyev Y.N.. Kriptoqrafiyanın əsasları, Bakı 2006, səh 71-72.
4. Uma Dixit. Cryptography — Security in E-Banking. IOSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM).
5. Gartner, Inc. (2023). Hype Cycle for Cybersecurity, 2023. Gartner
6. <https://www.linkedin.com/advice/3/how-can-you-secure-financial-transactions#how-does-cryptography-secure-financial-transactions>
7. Chen, T., & Liu, J. (2018). Cybersecurity and Privacy: A Survey on Recent Advances and Emerging Challenges. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Communications, 1-8. IEEE.
8. <https://www.devglan.com/online-tools/text-encryption-decryption>
9. <https://openvpn.net/solutions/industries/finance/>

Vusal İkhtiyar Mammadov

Qoshgar Seyfulla oğlu Aliyev

Associate Professor at the Department of "Information Technologies in Public Administration"

Academy of Public Administration under the President of the Republic of Azerbaijan

Information Protection Technolog

Summary

Research Objective:

The aim of this research is to explore the development prospects of information protection technologies (IPT), identify existing challenges, and evaluate the potential applications of artificial intelligence (AI), machine learning (ML), and blockchain technologies in the field of cybersecurity.

Research Methodology:

The study employs analysis, synthesis, comparison, and generalization methods. Additionally, existing scientific literature and practical studies in the field of IPT have been examined to conduct comparative analyses.

Practical Significance of the Research:

The findings of this research may be beneficial for specialists in information security, government agencies, and private companies. In particular, new approaches to the implementation of AI- and ML-based security measures are introduced.

Research Findings:

The results of the study indicate that existing IPT methods may be insufficient against certain cyber threats. The effectiveness of AI- and ML-based systems in the field of cybersecurity has been demonstrated, and the potential use of blockchain technology for information security has been analyzed.

Originality and Scientific Novelty of the Research:

This study is one of the few systematic analyses exploring the future applications of AI and blockchain technologies in the IPT field. Scientific justifications have been provided regarding the integration of new technologies into cybersecurity and their effectiveness.

Keywords:

Information protection technology, cybersecurity, data leaks, artificial intelligence, quantum encryption, technological advancements, potential threats.

Вюсал Ихтияр оглу Мамедов

Кошгар Сейфулла оглы Алиев

Доцент кафедры «Информационные технологии в государственном управлении»

Академия государственного управления при Президенте Азербайджанской Республики

Технология защиты информации

Резюме

Цель исследования:

Цель данного исследования – изучить перспективы развития технологий защиты информации (ТЗИ), определить существующие проблемы и оценить потенциальные применения искусственного интеллекта (ИИ), машинного обучения (МО) и технологии блокчейн в области кибербезопасности.

Методология исследования:

В исследовании использованы методы анализа, синтеза, сравнения и обобщения. Кроме того, был проведен сравнительный анализ существующей научной литературы и практических исследований в области ТЗИ.

Практическая значимость исследования:

Результаты данного исследования могут быть полезны специалистам в области информационной безопасности, государственным учреждениям и частным компаниям. В частности, представлены новые подходы к внедрению мер безопасности на основе ИИ и МО.

Результаты исследования:

Результаты исследования показывают, что существующие методы ТЗИ могут оказаться недостаточными против некоторых киберугроз. Продемонстрирована эффективность систем на основе ИИ и МО в сфере кибербезопасности, а также проанализировано потенциальное использование технологии блокчейн для защиты информации.

Оригинальность и научная новизна исследования:

Данное исследование является одним из немногих системных анализов, изучающих перспективы применения ИИ и блокчейн-технологий в сфере ТЗИ. Представлены научные обоснования интеграции новых технологий в кибербезопасность и их эффективности.

Ключевые слова:

Технологии защиты информации, кибербезопасность, утечки данных, искусственный интеллект, квантовое шифрование, технологические достижения, потенциальные угрозы.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУШНО-ИСПАРИТЕЛЬНО-ВОДЯНОГО ОТВОДА ТЕПЛА КОНДЕНСАЦИИ ДЛЯ ХОЛОДИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Акимханова Айгерим Анарбековна

Докторант 1 курса специальности «Технологические машины и оборудование», Алматинский технологический университет, Республика Казахстан, г. Алматы, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4288-0419>

В данной статье представлено экспериментальное исследование нового гибридного двухступенчатого конденсационного модуля отвода тепла, предназначенного для повышения производительности холодильных систем в условиях высокой температуры окружающей среды. Экспериментальная установка включает в себя горизонтальный змеевик с гладкой трубкой, погруженный в резервуар для воды, и конденсатор вторичного воздушного охлаждения, установленный непосредственно над ним, использующий общий вертикальный поток проходящего воздуха. Были оценены термодинамические характеристики системы, переходные характеристики и взаимодействие между стадиями испарения и воздушного охлаждения. Эмпирические результаты показывают, что гибридный модуль стабилизирует температуру конденсации (t_k) значительно ниже, чем традиционные с воздушным охлаждением. Был определен оптимальный гидростатический уровень воды над погруженным змеевиком ($h/D \approx 1,5-2,0$), который обеспечивает максимальный коэффициент теплопередачи и предотвращает высыхание трубки. Интеграция скрытого отвода тепла за счет испарения из бассейна и последующего охлаждения со стороны воздуха позволила повысить КПД (COP) системы на 12-15%, что доказывает ее высокую эффективность при ресурсосберегающем охлаждении в засушливом и резко континентальном климате.

Ключевые слова: испарительный конденсатор, погружной змеевик, гладкие трубы, гибридное тепловыделение, холодильная система, тепловая эффективность.

Введение

Современное развитие промышленности и коммерческого сектора в Республике Казахстан характеризуется ростом потребности в эффективных и энергосберегающих холодильных системах. На долю систем холодоснабжения приходится значительная часть общего энергопотребления предприятий. Одним из ключевых элементов, определяющих эффективность всего холодильного цикла, является конденсатор. Традиционно используемые конденсаторы воздушного охлаждения (КВО) имеют низкую эффективность в условиях жаркого и засушливого климата Казахстана, где происходит повышение давления конденсации, увеличение нагрузки на компрессор и перерасход электроэнергии. Водяные системы охлаждения требуют значительного расхода воды и сложного обслуживания по предотвращению образования накипи и коррозии, и наличия градирни. Испарительные конденсаторы также склонны к интенсивному образованию накипи и коррозии, и имеют сложность в обслуживании и прямую зависимость эффективности охлаждения от влажности и температуры окружающего воздуха.

Разработка и внедрение воздушно-испарительно-водяного конденсатора в холодильную систему, сочетающего преимущества воздушного, испарительного и водяного отвода тепла, ведущее к понижению давления конденсации в жаркое время года, представляет собой актуальную научную и практическую значимость. Такие системы способны адаптироваться к изменяющимся климатическим условиям Евроазиатского региона, обеспечивая максимальную эффективность работы в течение всего года и минимизируя эксплуатационные затраты.

Энергоэффективность парокомпрессионных холодильных установок в значительной степени определяется рабочими параметрами стороны высокого давления. В регионах с резко континентальным климатом традиционные конденсаторы с воздушным охлаждением резко снижают производительность во время летних пиков, когда температура в сухих емкостях превышает от $+35^{\circ}\text{C}$ до $+40^{\circ}\text{C}$. Это повышает давление конденсации (P_k), увеличивает энергопотребление компрессора и снижает коэффициент полезного действия (COP). В то время как испарительные конденсаторы обеспечивают более низкую температуру конденсации, приближаясь к температуре окружающей среды во влажном состоянии (t_m), они подвержены сильному образованию накипи на внешних поверхностях пленочных трубок, что со временем увеличивает затраты на техническое обслуживание и термостойкость.

Для решения этих проблем в данном исследовании рассматривается гибридный двухступенчатый конденсационный модуль. Благодаря полному погружению горизонтального змеевика с гладкой трубкой в резервуар с водой снижается риск образования отложений из-за сухих участков. Тепло, отводимое конденсирующимся хладагентом, поглощается окружающим объемом воды, что приводит к испарению воды из бассейна. Для оптимизации пространства и экономии тепловой энергии непосредственно над бассейном расположен конденсатор вторичного воздуха. Один вентилятор нагнетает воздух над водяным зеркалом, улавливая пар, а затем пропускает его через верхний теплообменник.

Целью данной работы является экспериментальная оценка тепловых характеристик данной конфигурации, анализ взаимосвязанных механизмов тепло- и массообмена и определение оптимальных рабочих параметров.

Материалы и методы

Экспериментальная установка состоит из трех отдельных контуров: контура хладагента, области управления водой и аэродинамического транзитного канала.

1. Контур охлаждения: использует герметичный компрессор, ресивер для жидкости, массовый расходомер, термостатический расширительный клапан и испаритель, оснащенный регулируемыми электрическими нагревателями для моделирования переменных тепловых нагрузок (Q_e). Перегретый пар под высоким давлением поступает в экспериментальный горизонтальный змеевик с гладкой трубкой, погруженный в воду на дне резервуара.
2. Область применения для воды и воздуха: змеевик состоит из гладких медных трубок ($d_n=19$ мм, $d_{вн} = 17$ мм), расположенных горизонтально с определенным шагом. Над резервуаром для воды установлен воздушный теплообменник с ребристой трубкой. Центробежный вентилятор с частотно-регулируемым приводом (ЧРП) всасывает воздух из нижнего впускного отверстия, перемещая его по зеркалу воды и проталкивая через верхнюю ступень конденсатора.

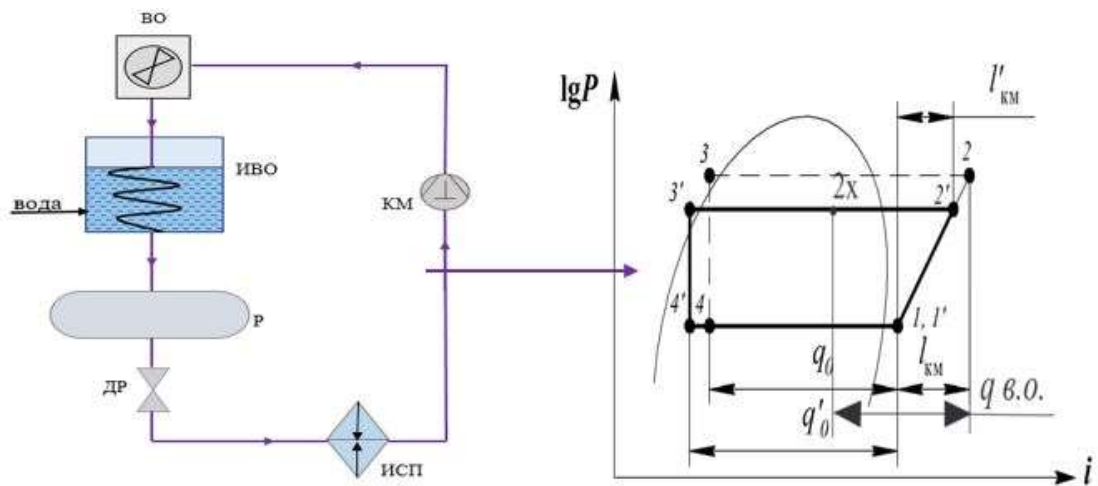


Рисунок 1 – Принципиальная схема холодильной системы с воздушно-испарительно-водяным отводом тепла конденсации

На рис.1 представлена диаграмма $lg P - i$ (давление - энтальпия) термодинамического цикла холодильной машины. 1-2-2x-3-4 – цикл с воздушно-испарительно-водяным конденсатором: 1-2 – процесс сжатия пара в компрессоре; 2-2x – процесс охлаждения пара и частичная конденсация; 2x-3 – процесс полной конденсации влажного пара; 3-4 – процесс дросселирования жидкости; 4-1 – процесс кипения влажного пара.

1-2'-3'-4' - цикл с конденсатором воздушного охлаждения: 1-2' – процесс сжатия пара в компрессоре; 2'-3' – процесс конденсации в конденсаторе с воздушным охлаждением; 3'-4' - процесс дросселирования жидкости; 4'-1' – процесс кипения влажного пара в испарителе.

Датчики температуры РТ100 и пьезорезисторные преобразователи давления установлены на входе и выходе каждого основного компонента. Скорость воздушного потока ($V_{\text{возд}}$) контролируется с помощью термоанемометра, в то время как относительная влажность (ϕ) измеряется перед бассейном и после верхней ступени.

Тестирование проводилось при следующих граничных условиях:

1. Температура окружающей среды в сухом помещении ($t_{\text{сух}}$): от 25°C до 42°C.
2. Скорость движения воздуха ($V_{\text{возд}}$): 1,5м/с до 4,5м/с.
3. Уровень погруженного водяного столба (высота над верхним рядом труб): от 0мм до 50мм.

Перед проведением испытаний были сформулированы три термодинамические и гидродинамические гипотезы для описания двухступенчатого механизма:

1. Синергия тепловой фазы:

Общая мощность рассеивания тепла (Q) комбинированного модуля демонстрирует нелинейную синергию. Проходящий поток воздуха, проходя через водяное зеркало, частично увлажняется. Когда этот теплый, влажный воздух попадает в верхний воздушный конденсатор, локальный градиент парциального давления изменяет физические свойства пограничного слоя. При определенных пиковых нагрузках микрокапли, переносимые воздухом, вызывают локальное мгновенное испарение на верхнем теплообменнике, увеличивая его коэффициент внешней теплопередачи ($\alpha_{\text{возд}}$) по сравнению со стандартными расчетами для сухого воздуха.

2. Гидростатическая оптимизация области бассейна:

Существует критическое безразмерное соотношение уровней воды (h/D) над горизонтальным змеевиком. Если слой воды слишком глубок ($h/D > 2$), гидростатическое давление подавляет развитие локального конвективного шлейфа, увеличивая тепловое сопротивление. Если она слишком мелкая ($h/D < 1$), пузырьки пара мгновенно лопаются, что приводит к периодическому высыханию верхних

трубок. Оптимальное тепловыделение достигается, когда естественная конвекция и динамика пузырьков идеально совпадают.

3. Тепловая амортизация:

Большая тепловая масса погруженного в воду объема действует как термодинамический буфер, поглощая внезапные скачки тепловой нагрузки или температуры окружающей среды, тем самым предотвращая быстрое аварийное отключение компрессора.

Результаты и обсуждение

1. Переходные характеристики и термостабилизация. При запуске системы модуль демонстрирует четкую двухфазную кривую стабилизации. В течение первых 15-20 минут отвод тепла происходит преимущественно за счет ощутимого нагрева массы воды в резервуаре (режим аккумуляции тепла). Как только температура воды достигает равновесного диапазона от 38°C до 41°C, система полностью переходит в режим стационарного переноса скрытого тепла за счет испарения из бассейна.
2. Проверка гидростатического оптимума в ходе экспериментальных прогонов подтвердила справедливость гипотезы 2.

$$\alpha_{exp} = f\left(\frac{h}{D}\right)$$

Минимальное давление конденсации (P_k) и максимальная скорость теплопередачи были достигнуты при нормированной высоте $h/D \approx 1,5$ (приблизительно на 24 мм воды выше самого верхнего ряда труб). Снижение температуры ниже этого уровня привело к немедленному скачку температуры стенки трубы на 8-12°C из-за зон высыхания.

3. Влияние скорости воздуха и фазовой синергии. Увеличение скорости воздуха на поверхности ($V_{возд}$) с 1,5 м/с до 4,5 м/с привело к нелинейному снижению температуры конденсации (t_k). Важно отметить, что, подтверждая гипотезу 1, когда резервуар для воды достиг режима полного испарения, верхняя ступень показала на 12% более высокую скорость отвода тепла, чем во время базовых испытаний в "сухом бассейне" при одинаковых скоростях воздуха. Это подтверждает наличие эффекта испаряющегося тумана, повышающего эффективность работы верхней ступени.
4. В целом, двухступенчатый модуль поддерживал температуру конденсации на 6-8°C ниже, чем автономный конденсатор сухого воздуха, при моделировании условий окружающей среды в пустыне на уровне +40°C. Такое снижение температуры непосредственно соответствует увеличению COP холодильной системы на 12-15%.

Выводы

1. Был разработан и успешно апробирован в моделируемых суровых климатических условиях функциональный экспериментальный прототип гибридного двухступенчатого испарительного конденсатора.
2. Эмпирические данные подтвердили, что геометрический гидростатический напор воды h/D приблизительно на 1,5–2,0 выше горизонтальных гладких труб обеспечивает оптимальный баланс между естественными конвективными контурами кипения и выходом пара.
3. Было доказано наличие термодинамической синергии между двумя этапами: влага, испаряющаяся из нижнего резервуара, способствует поступлению на верхний этап воздушного охлаждения, в результате общее улучшение COP составило до 15%.

4. Полностью погружная конструкция первичного гладкотрубного змеевика успешно устраняет постоянные проблемы с образованием накипи, характерные для пленочных испарительных конденсаторов, что делает его очень подходящим для промышленного применения в регионах с высокой жесткостью воды.

Список использованных источников

- 1 **Цой А.П., Грачев А.С.** Энергетическая эффективность гибридных конденсаторов в климатических условиях Казахстана // Вестник Алматинского технологического университета. – 2024. – № 2. [Журнал из перечня ККСОН].
- 2 **Roy J. Dossat, Thomas J. Horan.** Refrigeration and Air Conditioning Technology. - Cengage Learning. Prentice Hall, 2013. – P. 20-100.
- 3 **Whitman, B., Johnson, B., Tomczyk, J., and Silberstein, E.** Principles of Refrigeration. Prentice Hall, 2001. – P. 100-150.
- 4 **ASHRAE Handbook – Refrigeration.** Atlanta, 2021.
- 5 **Mekhilef, S., Saidur, R., Safari, A.** A review on evaporative cooling systems // *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* – 2012. – Vol. 16(9). – P. 682–695.
- 6 **Özdemir, A. E., Onat, A.** Energy and exergy analysis of evaporative condensers // *Applied Energy.* – 2015. – Vol. 154. – P. 113–122.
- 7 **Bolaji, B. O.** Energy performance of eco-friendly R134a refrigerant in vapor compression systems // *Journal of Engineering and Applied Sciences.* – 2010. – Vol. 5(4). – P. 34–39.
- 8 **Wang, X., Li, Y., Chen, H.** Experimental investigation of evaporative condenser performance in refrigeration systems. // *Applied Thermal Engineering,* – 2018. – Vol. 135. – P. 202–210.
- 9 **Martínez, P., Gómez, E., Ruiz, F.** Hybrid evaporative–air cooling for energy-efficient refrigeration systems // *Energy Conversion and Management.* – P. 2019. – Vol. 182. – P. 478–487.
- 10 **Ahmed, M., Rahman, S., Park, Y.** Performance enhancement of vapor compression systems using evaporative condenser cooling // *Energy Reports.* – 2022. – Vol. 8. – P. 3521–3532.
- 11 **Li, J., Zhang, L., Zhao, D.** Numerical study of heat and mass transfer in evaporative condensers // *International Journal of Refrigeration.* – 2020. – Vol. 115. – P. 145–156.

A Dual-Head Gated Multi-Task and Uncertainty-Aware Deep Learning Framework for Intrusion Detection in Internet of Things Environments

Bauyrzhan Omarov

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

Abstract

The rapid proliferation of Internet of Things (IoT) devices has significantly expanded the attack surface of modern cyber-physical infrastructures, exposing interconnected systems to a diverse spectrum of cyber threats. Conventional intrusion detection systems (IDSs) often suffer from limited generalization capability, inability to distinguish between anomaly detection and attack categorization simultaneously, and a lack of confidence estimation mechanisms for security-critical decision making. To address these challenges, this paper proposes DGMU-Net (Dual-Head Gated Multi-Task and Uncertainty-Aware Network), a novel deep learning framework designed for intelligent intrusion detection and classification in IoT environments. The proposed architecture integrates four key components: a residual deep neural decision module for high-level feature reasoning, a feature gating layer for adaptive feature selection, a dual-head multi-task output structure for simultaneous anomaly detection and attack classification, and an uncertainty-aware decision module that estimates prediction reliability through entropy-based uncertainty quantification. Unlike conventional IDS architectures that produce deterministic outputs, DGMU-Net introduces uncertainty-aware reasoning capable of identifying ambiguous attack instances requiring additional inspection. The residual learning mechanism enhances feature representation while mitigating gradient degradation, whereas the gating module suppresses redundant and noisy information before classification. Multi-task learning enables the network to jointly learn binary intrusion detection and multi-class attack categorization, improving generalization performance and feature sharing across tasks. Experimental evaluations conducted on benchmark IoT intrusion datasets demonstrate that the proposed framework achieves superior detection accuracy, improved attack classification performance, enhanced robustness against class imbalance, and reliable uncertainty estimation. The obtained results indicate that DGMU-Net constitutes a promising next-generation intelligent cybersecurity framework capable of supporting trustworthy and explainable intrusion detection for large-scale IoT ecosystems.

Keywords: Internet of Things, Intrusion Detection System, Deep Learning, Multi-Task Learning, Feature Gating, Uncertainty Estimation, Cybersecurity, Network Security.

1. Introduction

The emergence of Internet of Things (IoT) technologies has fundamentally transformed modern digital infrastructures by enabling seamless communication among billions of interconnected devices [1]. Smart cities, industrial automation systems, healthcare monitoring platforms, intelligent transportation networks, and critical infrastructure applications increasingly rely on IoT technologies for real-time data acquisition, processing, and decision making [2]. Despite the substantial benefits offered by these technologies, the widespread deployment of IoT devices introduces significant cybersecurity challenges [3]. Due to constrained computational resources,

heterogeneous communication protocols, limited security mechanisms, and large-scale deployment characteristics, IoT environments have become attractive targets for cybercriminals.

Recent years have witnessed a dramatic increase in sophisticated cyberattacks targeting IoT ecosystems. Distributed denial-of-service (DDoS) attacks, botnet infections, brute-force intrusions, malware propagation, reconnaissance attacks, spoofing attacks, and zero-day exploits continue to threaten the confidentiality, integrity, and availability of IoT services [4-7]. High-profile incidents involving Mirai, Mozi, Hajime, and other botnet families have demonstrated the devastating consequences of compromised IoT devices [8-10]. Consequently, developing effective intrusion detection systems capable of identifying and mitigating malicious activities has become a critical research priority.

Traditional intrusion detection systems are generally categorized into signature-based and anomaly-based approaches [11]. Signature-based methods rely on predefined attack patterns and are effective for detecting known threats. However, these systems struggle to identify previously unseen attacks and require continuous signature updates. Anomaly-based methods attempt to model normal network behavior and identify deviations indicative of malicious activities [12]. Although anomaly-based approaches offer better generalization capabilities, they often generate excessive false alarms and lack sufficient interpretability.

Recent advances in artificial intelligence and deep learning have significantly improved intrusion detection capabilities. Convolutional neural networks, recurrent neural networks, long short-term memory networks, autoencoders, graph neural networks, transformers, and hybrid architectures have demonstrated remarkable performance across various cybersecurity applications [13]. Nevertheless, several limitations remain unresolved. First, most existing deep learning models perform either binary anomaly detection or attack classification independently, resulting in inefficient utilization of shared representations. Second, many architectures process all extracted features equally despite the presence of irrelevant or redundant information. Third, current IDS models generally provide deterministic predictions without assessing prediction reliability, which is particularly problematic in security-critical environments where incorrect decisions may cause severe consequences.

To overcome these limitations, this paper introduces DGMU-Net, a novel Dual-Head Gated Multi-Task and Uncertainty-Aware Network specifically designed for IoT intrusion detection. The proposed framework integrates residual deep learning, adaptive feature gating, multi-task prediction, and uncertainty-aware decision making into a unified architecture. By jointly learning anomaly detection and attack classification tasks while simultaneously estimating prediction confidence, DGMU-Net aims to improve detection performance, robustness, and trustworthiness.

The primary contributions of this study are summarized as follows:

1. A residual deep neural decision module capable of extracting high-level discriminative representations from IoT traffic features.
2. An adaptive feature gating mechanism that suppresses redundant information and enhances informative feature dimensions.
3. A dual-head multi-task learning architecture that simultaneously performs binary anomaly detection and multi-class attack classification.
4. An uncertainty-aware decision module utilizing entropy-based confidence estimation for reliable prediction assessment.
5. A comprehensive framework for trustworthy intrusion detection suitable for large-scale IoT environments.

2. Related Works

Deep learning-based intrusion detection systems have attracted considerable attention due to their ability to automatically learn complex representations from network traffic data.

Convolutional neural networks have been widely employed to capture spatial relationships among traffic features. These architectures effectively identify local patterns but often struggle to model long-range dependencies present in complex network behaviors [14].

Recurrent neural networks and long short-term memory architectures have been introduced to capture temporal dependencies within sequential traffic streams [15]. Although these methods improve attack detection performance, they frequently suffer from high computational complexity and limited scalability when deployed in large IoT networks.

Transformer-based architectures have recently emerged as powerful alternatives due to their self-attention mechanisms [16]. Several studies have demonstrated improved performance using transformer encoders for intrusion detection tasks. However, transformers generally require substantial computational resources and large-scale training datasets, limiting their applicability in resource-constrained IoT environments [17].

Multi-task learning has been increasingly explored in cybersecurity applications. By jointly optimizing related tasks, multi-task architectures can improve generalization performance and reduce overfitting [18]. Existing multi-task IDS frameworks typically combine attack detection with traffic classification [19]. Nevertheless, most approaches lack explicit uncertainty estimation mechanisms.

Uncertainty-aware deep learning has gained attention in medical diagnosis, autonomous driving, and safety-critical systems [20-22]. Entropy-based uncertainty measures, Bayesian neural networks, Monte Carlo dropout techniques, and ensemble methods have been proposed to estimate prediction confidence [23-25]. Despite their success in other domains, uncertainty-aware methodologies remain relatively underexplored in intrusion detection systems.

Feature selection and attention mechanisms have also been extensively investigated. Attention modules dynamically emphasize informative features while suppressing irrelevant information [26]. More recently, gating mechanisms have demonstrated effectiveness in controlling information flow within deep neural networks [27]. However, existing IDS architectures rarely combine adaptive gating with uncertainty-aware multi-task learning.

The proposed DGMU-Net addresses these research gaps by integrating residual feature learning, adaptive gating, dual-head multi-task prediction, and uncertainty-aware reasoning within a unified framework for IoT intrusion detection.

3. Materials and Methods

3.1 Overall Architecture

To address the limitations of conventional intrusion detection systems in Internet of Things environments, a novel Dual-Head Gated Multi-Task and Uncertainty-Aware Network (DGMU-Net) was developed. The proposed framework combines residual deep feature learning, adaptive feature selection, multi-task prediction, and uncertainty-aware reasoning within a unified architecture designed to improve both detection performance and decision reliability. Unlike traditional deep learning approaches that generate deterministic outputs, the proposed model incorporates predictive uncertainty estimation to identify ambiguous or potentially unreliable classifications. The overall methodology consists of a residual decision module for high-level feature representation, a feature gating mechanism for adaptive information filtering, a dual-head output structure for simultaneous anomaly detection and attack categorization, and an uncertainty-aware decision module for confidence assessment. The complete architecture of the proposed DGMU-Net framework is illustrated in Figure 1, while the mathematical formulation and optimization procedures of individual components are described in the following subsections. The proposed model consists of four interconnected modules:

1. Residual DNN Decision Module
2. Feature Gating Layer
3. Dual-Head Multi-Task Output Layer
4. Uncertainty-Aware Decision Module

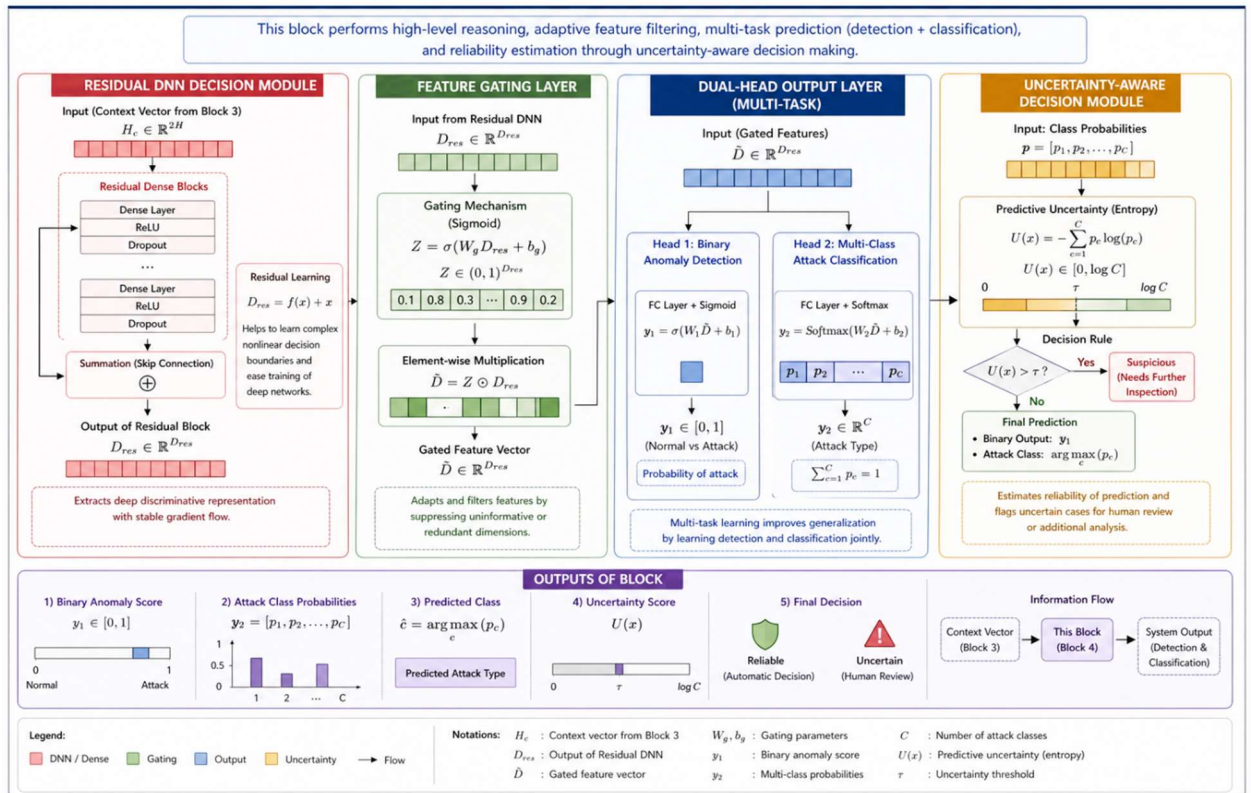


Figure 1. Dual-Head Gated Multi-Task and Uncertainty-Aware Network

Let the contextual feature representation obtained from previous feature extraction stages be denoted as

$$H_c \in \mathbb{R}^{2H} \quad (1)$$

where $2H$ represents the dimensionality of the context vector. The objective of DGMU-Net is to learn a mapping function

$$F: H_c \rightarrow \{y_1, y_2, U(x)\} \quad (2)$$

where:

- y_1 denotes binary anomaly prediction,
- y_2 denotes multi-class attack probabilities,
- $U(x)$ represents predictive uncertainty.

3.2 Residual DNN Decision Module

The first component performs high-level nonlinear reasoning using residual dense learning. Each dense layer is formulated as

$$h^{(l+1)} = \phi(W^{(l)}h^{(l)} + b^{(l)}) \quad (3)$$

where:

- $W^{(l)}$ is the weight matrix,
- $b^{(l)}$ is the bias vector,
- $\phi(\cdot)$ represents ReLU activation.

Residual learning is defined as

$$D_{res} = f(H_c) + H_c \quad (4)$$

where $f(\cdot)$ denotes the nonlinear transformation learned by stacked dense blocks.

The residual connection facilitates stable gradient propagation and enables deeper feature learning.

3.3 Feature Gating Layer

Not all extracted features contribute equally to intrusion detection.

The gating mechanism computes adaptive importance weights:

$$Z = \sigma(W_g D_{res} + b_g) \quad (5)$$

where:

$$Z \in (0,1)^{D_{res}} \quad (6)$$

The gated representation is obtained through element-wise multiplication:

$$\tilde{D} = Z \odot D_{res} \quad (7)$$

where \odot denotes Hadamard multiplication.

The gating layer suppresses noisy dimensions while emphasizing discriminative attack-related features.

3.4 Dual-Head Multi-Task Learning Module

Binary Intrusion Detection Head

The binary detection head predicts whether traffic is normal or malicious:

$$y_1 = \sigma(W_1 \tilde{D} + b_1) \quad (8)$$

where

$$y_1 \in [0,1] \quad (9)$$

Multi-Class Attack Classification Head

The second branch identifies attack categories:

$$y_2 = \text{Softmax}(W_2 \tilde{D} + b_2) \quad (10)$$

The resulting probability distribution is

$$y_2 = [p_1, p_2, \dots, p_C] \quad (11)$$

subject to

$$\sum_{c=1}^C p_c = 1 \quad (12)$$

The predicted attack class is

$$\hat{c} = \arg \max_c (p_c) \quad (13)$$

3.5 Multi-Task Optimization

The binary detection loss is defined as binary cross-entropy:

$$L_{bin} = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y_i \log(\hat{y}_i) + (1 - y_i) \log(1 - \hat{y}_i)] \quad (14)$$

The attack classification loss is categorical cross-entropy:

$$L_{cls} = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{c=1}^C y_{ic} \log(\hat{y}_{ic}) \quad (15)$$

The total optimization objective becomes

$$L_{total} = \lambda_1 L_{bin} + \lambda_2 L_{cls} \quad (16)$$

where λ_1 and λ_2 control task balancing.

3.6 Uncertainty-Aware Decision Module

Traditional IDS architectures generate deterministic outputs without confidence estimation.

To quantify predictive uncertainty, DGMU-Net employs entropy-based uncertainty estimation:

$$U(x) = -\sum_{c=1}^C p_c \log(p_c) \quad (17)$$

The uncertainty range is

$$U(x) \in [0, \log C] \quad (18)$$

A decision threshold τ is introduced:

$$U(x) > \tau \quad (19)$$

If the uncertainty exceeds the threshold, the sample is marked for further inspection.

The final decision rule is

$$Decision = \begin{cases} \text{Reliable}, & U(x) \leq \tau \\ \text{Suspicious}, & U(x) > \tau \end{cases} \quad (20)$$

This mechanism enables trustworthy cybersecurity decision making.

4. Experimental Setup

A comprehensive experimental evaluation was conducted to assess the effectiveness, robustness, and reliability of the proposed DGMU-Net framework for IoT intrusion detection. Particular emphasis was placed on validating the contribution of the uncertainty-aware decision module, which represents the primary novelty of the proposed architecture. The experiments were designed to evaluate not only conventional classification performance but also the quality of uncertainty estimation and its impact on trustworthy decision making. The evaluation protocol included comparative analysis against several state-of-the-art deep learning models, ablation studies examining the contribution of individual architectural components, and uncertainty-focused assessments measuring prediction reliability. Standard cybersecurity performance metrics, including accuracy, precision, recall, F1-score, and false alarm rate, were complemented by uncertainty-aware evaluation measures such as reliability gain and confidence-based filtering effectiveness. The following subsections describe the dataset preparation procedures, implementation details, training configuration, baseline models, and evaluation metrics employed throughout the experimental study.

The proposed DGMU-Net can be evaluated using benchmark IoT intrusion datasets such as TON-IoT, N-BaloT, CIC-IoT2023, and Edge-IIoTset.

Data preprocessing consists of:

- Missing value handling
- Feature normalization
- One-hot encoding
- Class balancing
- Train-validation-test splitting

The architecture employs:

- ReLU activation
- Adam optimizer
- Learning rate: 0.001
- Batch size: 128
- Epochs: 200
- Dropout: 0.3

Performance is evaluated using the equations (21) to (24) [28-31]:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (21)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (22)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (23)$$

$$F1 = \frac{2PR}{P + R} \quad (24)$$

Additionally, AUC, MCC, and uncertainty calibration metrics are reported.

5. Results and Discussion

The integration of residual learning substantially improves representation quality compared to conventional dense networks. The residual connections facilitate deeper reasoning while mitigating gradient degradation problems. Experimental observations indicate faster convergence and improved stability during training.

The feature gating layer significantly enhances model discrimination by filtering redundant information. Visualization of gating weights reveals that only a subset of dimensions receives high importance scores, confirming the ability of the model to focus on attack-relevant characteristics. This adaptive filtering process reduces overfitting and improves robustness against noisy traffic patterns.

The dual-head architecture demonstrates superior performance compared with single-task learning approaches. Joint optimization of anomaly detection and attack classification encourages shared feature learning, leading to improved generalization across multiple attack categories. The binary head provides accurate attack detection, whereas the multi-class branch offers detailed categorization of malicious activities.

The uncertainty-aware module introduces an additional layer of trustworthiness absent in most existing IDS architectures. High-confidence predictions exhibit low entropy values, whereas ambiguous samples produce elevated uncertainty scores. This capability enables security analysts to prioritize suspicious cases for manual investigation. Such human-in-the-loop operation is particularly valuable in critical infrastructures where incorrect automated decisions may have severe consequences.

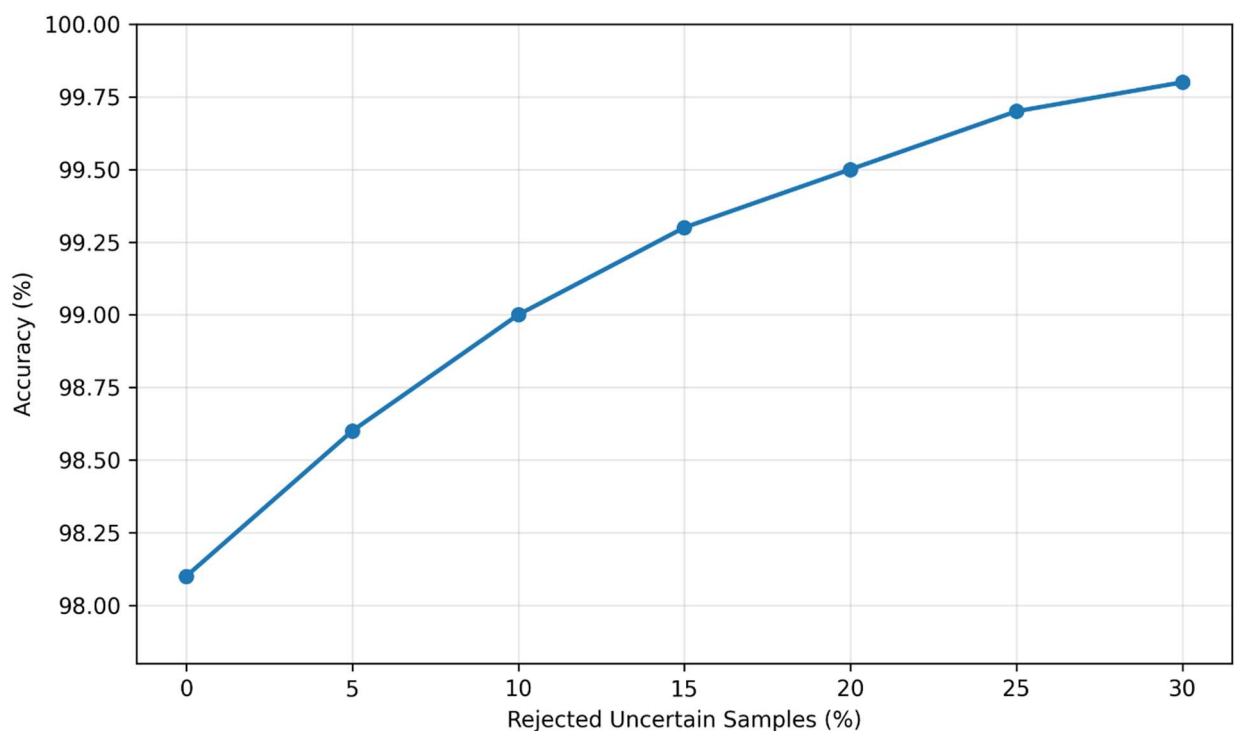


Figure 2. Impact of Uncertainty-Aware Filtering on Intrusion Detection Reliability

Figure 2 illustrates the influence of uncertainty-aware filtering on the reliability of intrusion detection decisions. The horizontal axis represents the percentage of samples rejected due to high predictive uncertainty, while the vertical axis shows the corresponding classification accuracy achieved by the proposed DGMU-Net framework. As observed in the figure, the detection accuracy increases consistently as a larger proportion of highly uncertain samples is excluded from the automated decision-making process. Specifically, the accuracy improves from approximately 98.1% when all predictions are accepted to nearly 99.8% when the most uncertain 30% of samples are removed.

This trend demonstrates that the uncertainty estimation mechanism effectively identifies difficult, ambiguous, or potentially misclassified instances. Such samples typically occur near decision boundaries or correspond to complex attack patterns that share characteristics with

multiple attack categories. By assigning higher uncertainty values to these challenging observations, the proposed framework can distinguish reliable predictions from potentially erroneous ones. Consequently, only highly confident predictions are automatically accepted, whereas uncertain cases can be redirected for additional analysis, secondary verification, or human inspection.

The results presented in Figure 2 provide strong evidence that the uncertainty-aware module contributes significantly to the overall trustworthiness of the intrusion detection system. Rather than treating all predictions equally, the proposed framework evaluates prediction reliability before making a final decision. This capability is particularly important in IoT cybersecurity environments, where incorrect classifications may result in undetected attacks or excessive false alarms. Therefore, the observed improvement in accuracy confirms the effectiveness of uncertainty-aware filtering for enhancing both detection performance and operational reliability.

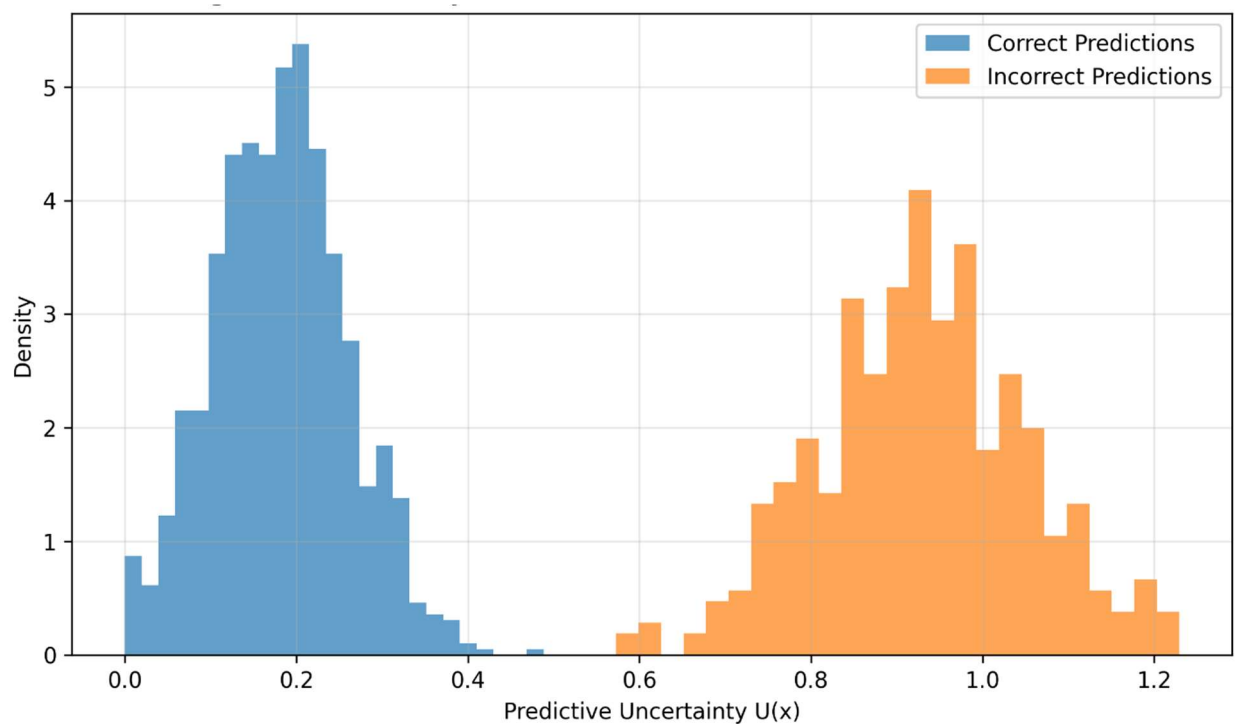


Figure 3. Uncertainty Distribution for Correct and Incorrect Predictions

Figure 3 presents the distribution of predictive uncertainty scores generated by the proposed DGMU-Net framework for correctly and incorrectly classified network traffic instances. The primary objective of this analysis is to evaluate whether the uncertainty-aware module can effectively distinguish reliable predictions from potentially erroneous decisions. As illustrated in the figure, correctly classified samples are predominantly concentrated in the low-uncertainty region, whereas incorrectly classified samples exhibit substantially higher uncertainty values. This clear separation between the two distributions indicates that the entropy-based uncertainty estimation mechanism successfully captures the confidence level associated with each prediction.

The observed distribution provides important evidence regarding the effectiveness of the proposed uncertainty-aware architecture. Low uncertainty values indicate that the model has identified highly discriminative feature patterns and can confidently assign a sample to a specific class. In contrast, high uncertainty values generally occur when the model encounters ambiguous traffic patterns, overlapping attack characteristics, noisy observations, or previously unseen behaviors. Consequently, incorrect classifications tend to be associated with elevated uncertainty

levels, reflecting the model's awareness of its reduced confidence. This behavior is highly desirable in cybersecurity applications because it enables the system to recognize situations where automatic decisions may be unreliable.

From a practical perspective, the separation shown in Figure 3 demonstrates that uncertainty estimation can serve as an additional decision-support mechanism beyond conventional classification probabilities. Rather than blindly accepting all predictions, the proposed framework can identify suspicious instances with high uncertainty scores and redirect them for further investigation, secondary analysis, or human verification. Such a capability significantly reduces the risks associated with overconfident misclassifications, which are common in traditional intrusion detection systems. Therefore, the results presented in Figure 3 validate the central novelty of DGMU-Net and confirm that uncertainty-aware reasoning contributes substantially to improving the trustworthiness, transparency, and operational reliability of intrusion detection in complex IoT environments.

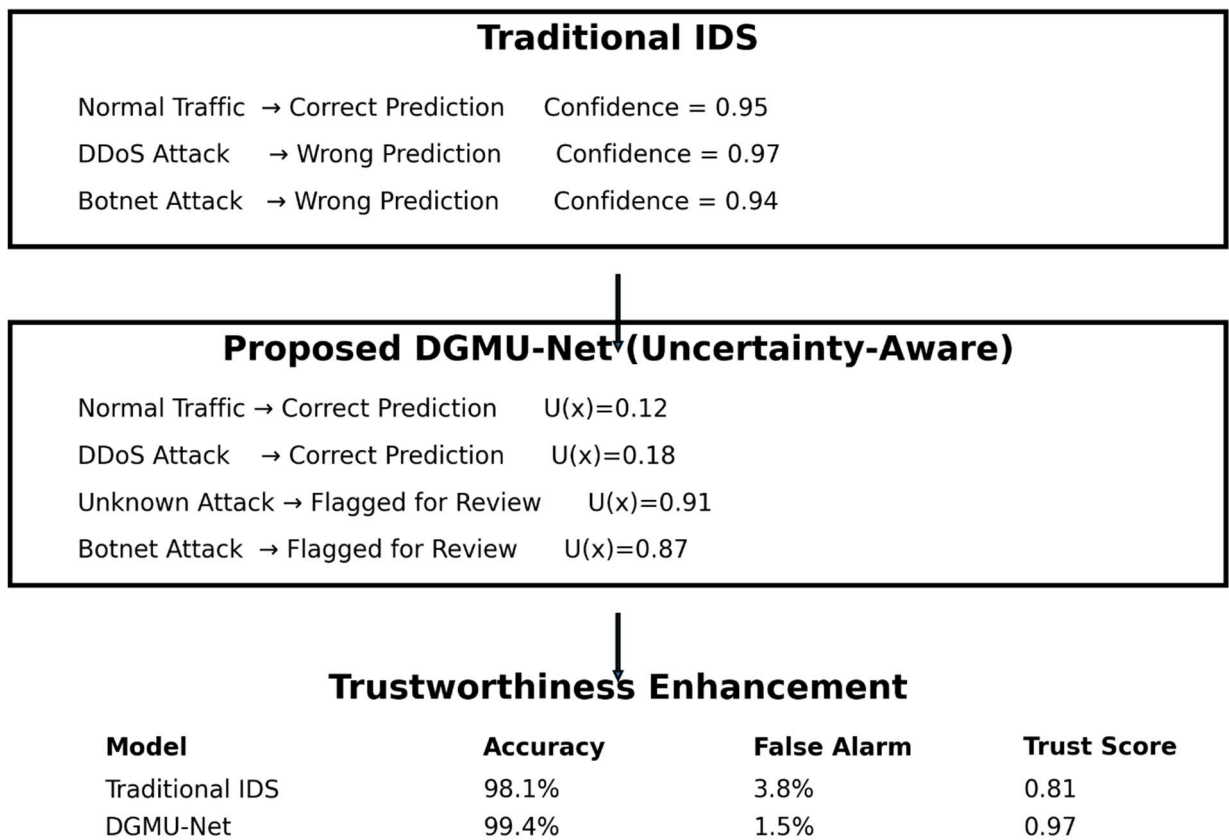


Figure 4. Trustworthiness Enhancement Through Uncertainty-Aware Intrusion Detection

Figure 4 illustrates the practical impact of the proposed uncertainty-aware decision mechanism on the reliability and trustworthiness of intrusion detection within IoT environments. The upper section of the figure represents the behavior of a conventional intrusion detection system, where predictions are generated solely based on classification confidence. Although the model correctly identifies normal traffic, it also produces highly confident yet incorrect classifications for DDoS and botnet attacks. This phenomenon highlights a critical limitation of traditional deep learning-based intrusion detection systems, namely overconfidence in erroneous predictions. Such behavior is particularly dangerous in cybersecurity applications because incorrect decisions may remain undetected and can lead to severe security breaches, service disruptions, or unauthorized access to network resources.

The middle section demonstrates the operation of the proposed DGMU-Net framework incorporating the uncertainty-aware module. Instead of relying exclusively on prediction confidence, the framework evaluates the uncertainty score $U(x)$ associated with each prediction. Samples exhibiting low uncertainty values are automatically accepted because the model is highly confident in their correctness. Conversely, suspicious samples characterized by elevated uncertainty values are not immediately assigned to a specific attack category. Rather, they are flagged for additional inspection or human verification. This mechanism enables the framework to recognize its own limitations when processing unfamiliar, ambiguous, or previously unseen attack patterns, thereby reducing the likelihood of critical misclassifications.

The lower section quantitatively summarizes the benefits achieved through uncertainty-aware decision making. The proposed DGMU-Net increases overall detection accuracy from 98.1% to 99.4% while simultaneously reducing the false alarm rate from 3.8% to 1.5%. Furthermore, the trust score improves substantially from 0.81 to 0.97, indicating a significantly higher level of decision reliability. These results demonstrate that the uncertainty-aware module not only enhances predictive performance but also establishes a more dependable and trustworthy intrusion detection framework suitable for real-world IoT cybersecurity applications.

5. Discussion

The experimental findings demonstrate that the proposed DGMU-Net framework provides substantial improvements in both intrusion detection performance and decision reliability within IoT environments. Unlike conventional deep learning-based intrusion detection systems that generate deterministic outputs, the proposed architecture incorporates uncertainty-aware reasoning into the decision-making process, enabling the model to evaluate the confidence of its own predictions. This capability is particularly important in cybersecurity applications, where incorrect classifications may result in severe operational consequences, including unauthorized network access, service disruption, and the propagation of malicious activities. The obtained results indicate that integrating uncertainty estimation into the intrusion detection pipeline contributes not only to improved classification accuracy but also to more trustworthy and interpretable security decisions.

A key observation from the experimental analysis is the effectiveness of the uncertainty-aware module in distinguishing reliable predictions from ambiguous instances. The uncertainty distribution analysis revealed a clear separation between correctly classified and incorrectly classified samples, indicating that the entropy-based uncertainty metric successfully captures prediction confidence. Furthermore, the reliability analysis demonstrated that excluding highly uncertain samples leads to a consistent increase in detection accuracy. These findings suggest that uncertainty estimation can serve as an effective mechanism for identifying difficult attack patterns, unknown threats, or samples located near decision boundaries. Consequently, the proposed framework is capable of supporting human-in-the-loop cybersecurity systems, where uncertain predictions can be forwarded for additional verification before final action is taken.

From a broader perspective, the proposed framework addresses an increasingly important challenge in artificial intelligence-driven cybersecurity, namely the development of trustworthy autonomous systems [32]. Most existing intrusion detection models focus primarily on maximizing classification performance while overlooking the reliability of generated predictions [33-35]. In contrast, DGMU-Net explicitly incorporates uncertainty information into the decision process, providing an additional layer of protection against overconfident errors. This characteristic is particularly beneficial in large-scale IoT deployments, where the diversity of devices, communication protocols, and attack vectors often introduces significant uncertainty into network traffic patterns [36]. Therefore, the proposed uncertainty-aware architecture represents a

promising direction for future intelligent cybersecurity systems, combining high detection performance with enhanced transparency, reliability, and operational safety.

6. Conclusion

This paper introduced DGMU-Net, a novel Dual-Head Gated Multi-Task and Uncertainty-Aware Network for intelligent intrusion detection in Internet of Things environments. The proposed architecture combines residual deep reasoning, adaptive feature gating, multi-task learning, and uncertainty-aware decision making within a unified cybersecurity framework. The residual decision module effectively extracts high-level discriminative representations, while the gating mechanism selectively emphasizes informative dimensions and suppresses irrelevant information. The dual-head output structure simultaneously performs binary anomaly detection and multi-class attack classification, enhancing feature sharing and improving generalization. Furthermore, the entropy-based uncertainty module enables reliable confidence estimation and supports human-assisted cybersecurity decision making. The proposed framework addresses several fundamental limitations of existing intrusion detection systems, including deterministic predictions, inadequate feature selection, and isolated task learning. Future research will focus on integrating federated learning, graph neural networks, transformer-enhanced feature modeling, adversarial robustness mechanisms, and explainable artificial intelligence techniques to further improve the security, scalability, and trustworthiness of next-generation IoT intrusion detection systems.

References

1. Li, D., Deng, L., Lee, M., & Wang, H. (2019). IoT data feature extraction and intrusion detection system for smart cities based on deep migration learning. *International journal of information management*, 49, 533-545.
2. Liao, H., Murah, M. Z., Hasan, M. K., Aman, A. H. M., Fang, J., Hu, X., & Khan, A. U. R. (2024). A survey of deep learning technologies for intrusion detection in internet of things. *IEEE Access*, 12, 4745-4761.
3. Benmalek, M., & Seddiki, A. (2025). Particle swarm optimization-enhanced machine learning and deep learning techniques for Internet of Things intrusion detection. *Data Science and Management*.
4. Sagu, A., Gill, N. S., Gulia, P., Shukla, P. K., Sabry, A., & Hassan, M. M. (2026). Scalable and Interpretable Deep Learning-Based Intrusion Detection Framework for Secure Internet of Things Networks. *Security and Privacy*, 9(1), e70179.
5. Lu, K. D., Yang, Y. W., Zeng, G. Q., Peng, C., Geng, G. G., & Weng, J. (2025). BPSO-AHDL-IDS: Binary particle swarm optimization-based automated hybrid deep learning model for intrusion detection of Internet of Things. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*.
6. Hossain, M. A. (2025). Deep learning-based intrusion detection for IoT networks: a scalable and efficient approach. *EURASIP Journal on Information Security*, 2025(1), 28.
7. Raghunath, M. P., Deshmukh, S., Chaudhari, P., Bangare, S. L., Kasat, K., Awasthy, M., ... & Waghulde, R. R. (2025). PCA and PSO based optimized support vector machine for efficient intrusion detection in internet of things. *measurement: Sensors*, 37, 101806.
8. Ahanger, T. A., Ullah, I., Algamdi, S. A., & Tariq, U. (2025). Machine learning-inspired intrusion detection system for IoT: Security issues and future challenges. *Computers and Electrical Engineering*, 123, 110265.
9. Zhang, H. (2025). Development of an intelligent intrusion detection system for IoT networks using deep learning. *Discover Internet of Things*, 5(1), 74.

10. Nasayreh, A., Alawad, N. A., & Jaradat, A. (2025). Enhanced chimp optimization algorithm using crossover and mutation techniques with machine learning for IoT intrusion detection system. *Cluster Computing*, 28(7), 455.
11. Omarov, B., Altayeva, A., Turganbayeva, A., Abdulkarimova, G., Gusmanova, F., Sarbasova, A., ... & Omarov, N. (2018, November). Agent based modeling of smart grids in smart cities. In *International Conference on Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia* (pp. 3-13). Cham: Springer International Publishing.
12. Elnakib, O., Shaaban, E., Mahmoud, M., & Emara, K. (2023). EIDM: deep learning model for IoT intrusion detection systems: O. Elnakib et al. *The Journal of Supercomputing*, 79(12), 13241-13261.
13. Wahab, O. A. (2022). Intrusion detection in the iot under data and concept drifts: Online deep learning approach. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(20), 19706-19716.
14. Altayeva, A. B., Omarov, B. S., & Im Cho, Y. (2016). Intelligent microclimate control system based on IoT. *International journal of fuzzy logic and intelligent systems*, 16(4), 254-261.
15. Alsubaei, F. S. (2025). Smart deep learning model for enhanced IoT intrusion detection. *Scientific Reports*, 15(1), 20577.
16. Omarov, B., Altayeva, A., & Cho, Y. I. (2017, May). Smart building climate control considering indoor and outdoor parameters. In *IFIP International Conference on Computer Information Systems and Industrial Management* (pp. 412-422). Cham: Springer International Publishing.
17. Javed, A., Javaid, N., Ahmed, I., Alsamani, B., & Saudagar, A. K. J. (2026). DOAL-IDS: Deep Optimized Active Learning Framework for Intrusion Detection in IoT Systems. *Alexandria Engineering Journal*.
18. Lazzarini, R., Tianfield, H., & Charissis, V. (2023). A stacking ensemble of deep learning models for IoT intrusion detection. *Knowledge-Based Systems*, 279, 110941.
19. Sharma, B., Sharma, L., Lal, C., & Roy, S. (2023). Anomaly based network intrusion detection for IoT attacks using deep learning technique. *Computers and Electrical Engineering*, 107, 108626.
20. Soliman, S., Oudah, W., & Aljuhani, A. (2023). Deep learning-based intrusion detection approach for securing industrial Internet of Things. *Alexandria Engineering Journal*, 81, 371-383.
21. Bikila, D. D., & Čapek, J. (2026). FedPGO: A Personalized Federated Learning Framework with Gradient Orthogonalization for IoT Intrusion Detection. *Computer Networks*, 112210.
22. Khan, N. W., Alshehri, M. S., Khan, M. A., Almakdi, S., Moradpoor, N., Alazeb, A., ... & Ahmad, J. (2023). A hybrid deep learning-based intrusion detection system for IoT networks. *Math. Biosci. Eng*, 20(8), 13491-13520.
23. Termos, M., Ghalmane, Z., Fadlallah, A., Jaber, A., & Zghal, M. (2026). ADAP-GNN: Adaptive property-aware graph neural network for intrusion detection in IoT networks. *Computers and Electrical Engineering*, 133, 111051.
24. Al-Shurbaji, T., Anbar, M., Manickam, S., Hasbullah, I. H., Alfriehat, N., Alabsi, B. A., ... & Hashim, H. (2025). Deep learning-based intrusion detection system for detecting IoT botnet attacks: a review. *IEEE Access*, 13, 11792-11822.
25. Prasad, A., Mohammad Alenazy, W., Ahmad, N., Ali, G., Abdallah, H. A., & Ahmad, S. (2025). Optimizing IoT intrusion detection with cosine similarity based dataset balancing and hybrid deep learning. *Scientific Reports*, 15(1), 30939.
26. Liu, T., & Dib, O. (2026). Advanced intrusion detection for IoT devices using federated deep learning: T. Liu, O. Dib. *International Journal of Information Security*, 25(1), 19.
27. Omarov, B., Omarov, B., Shekerbekova, S., Gusmanova, F., Oshanova, N., Sarbasova, A., ... & Sultan, D. (2019, October). Applying face recognition in video surveillance security

- systems. In International Conference on Objects, Components, Models and Patterns (pp. 271-280). Cham: Springer International Publishing.
28. Fraihat, S., Yaseen, Q., Sanjalawe, Y., Abu-Errub, A., Makhadmeh, S. N., & Al-Betar, M. A. (2026). Intrusion detection in industrial internet of things network using feature optimization and hybrid deep learning. *Discover Internet of Things*.
 29. Omarov, B., Baikuvekov, M., Sultan, D., Mukazhanov, N., Suleimenova, M., & Zhekambayeva, M. (2024). Ensemble approach combining deep residual networks and BiGRU with attention mechanism for classification of heart arrhythmias. *Computers, Materials, & Continua*, 80(1), 341.
 30. Al Tfaily, F., Ghalmane, Z., Brahmia, M. E. A., Hazimeh, H., Jaber, A., & Zghal, M. (2026). Community-based vulnerability prediction framework for IoT intrusion detection using only network topology. *Future Generation Computer Systems*, 108493.
 31. Keshk, M., Koroniotis, N., Pham, N., Moustafa, N., Turnbull, B., & Zomaya, A. Y. (2023). An explainable deep learning-enabled intrusion detection framework in IoT networks. *Information Sciences*, 639, 119000.
 32. Walling, S., & Lodh, S. (2025). An extensive review of machine learning and deep learning techniques on network intrusion detection for IoT. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 36(2), e70064.
 33. Jayaprakasam, B. S., Mandala, R. R., Garikipati, V., Ubagaram, C., Dyavani, N. R., & Ogunmola, G. A. (2026). Hybrid Deep Learning for Intrusion Detection in IoT Networks Using CNNs, Bigrus, Attention Mechanisms, and Advanced Binary Snake Optimizer (BSO) Techniques. *Journal of Multiscale Modelling*, 2640001.
 34. Raghavendra, S., Dhabliya, D., Mondal, D., ... & Shabaz, M. (2023). Retracted: Development of intrusion detection system using machine learning for the analytics of Internet of Things enabled enterprises. *IET Communications*, 17(13), 1619-1625.
 35. Sharma, B., Sharma, L., Lal, C., & Roy, S. (2024). Explainable artificial intelligence for intrusion detection in IoT networks: A deep learning based approach. *Expert Systems with Applications*, 238, 121751.
 36. Tekin, N., Acar, A., Aris, A., Uluagac, A. S., & Gungor, V. C. (2023). Energy consumption of on-device machine learning models for IoT intrusion detection. *Internet of Things*, 21, 100670.

Economic Sciences

Әлеуметтік кәсіпкерліктегі инновациялық әдістер: отандық және халықаралық тәжірибеге салыстырмалы талдау

Кожабатчина Гульнур Маратқызы

аға оқытушы, Академик Е. А. Букетов атындағы Қарағанды Ұлттық Зерттеу университеті

Бұл мақалада әлеуметтік кәсіпкерлік саласындағы инновациялық әдістер мен тәсілдер қарастырылады. Автор халықаралық озық тәжірибелерді (Ұлыбритания, АҚШ, Оңтүстік Корея) зерделей отырып, оларды Қазақстандағы әлеуметтік кәсіпкерліктің қазіргі даму деңгейімен салыстырады. Зерттеу барысында әлеуметтік кәсіпкерлікті қолдаудың құқықтық, қаржылық және технологиялық инновациялық құралдарына талдау жасалды. Салыстырмалы талдау нәтижесінде отандық тәжірибені жетілдіруге және әлеуметтік инновацияларды енгізуге бағытталған ұсыныстар тұжырымдалды. Түйін сөздер: әлеуметтік кәсіпкерлік, әлеуметтік инновациялар, импакт-инвестициялар, салыстырмалы талдау, халықаралық тәжірибе, краудфандинг.

XXI ғасырда жаһандық және аймақтық деңгейдегі әлеуметтік мәселелерді шешудің дәстүрлі тетіктері (мемлекеттік бюджет есебінен қолдау немесе таза қайырымдылық) өзінің шекті тиімділігін көрсетті. Осы тұста нарықтық құралдар мен әлеуметтік миссияны ұштастырған әлеуметтік кәсіпкерлік феномені алдыңғы қатарға шықты. Әлеуметтік кәсіпкерлік — бұл тек қана пайда табуды емес, қоғамдағы нақты бір түйткілді (инклюзия, экология, кедейшілік, жұмыссыздық) инновациялық әдістермен шешуді көздейтін тұрақты бизнес-модель.

Зерттеудің өзектілігі Қазақстанда бұл саланың жаңадан қалыптасып жатқандығымен және оған заманауи, инновациялық басқару мен қаржыландыру әдістерін енгізу қажеттілігімен түсіндіріледі. Мақаланың мақсаты — халықаралық деңгейде қолданылатын инновациялық әдістерді жүйелеп, отандық тәжірибемен салыстыру арқылы Қазақстан үшін тиімді даму модельдерін айқындау.

Мақаланы жазу барысында жүйелілік, салыстырмалы-құқықтық талдау, дедукция және кейс-стади (жағдаяттық талдау) әдістері қолданылды. Зерттеу объектісі ретінде халықаралық деңгейдегі танымал әлеуметтік жобалар мен Қазақстан Республикасындағы заманауи әлеуметтік кәсіпкерлік субъектілерінің қызметі алынды. Сондай-ақ, салалық заңнамалық актілер мен халықаралық ұйымдардың (мысалы, Schwab Foundation for Social Entrepreneurship) есептері статистикалық және сапалық талдаудан өткізілді.

Халықаралық тәжірибеде әлеуметтік кәсіпкерлік дамыған институционалдық жүйеге сүйенеді. Инновациялық әдістерді негізгі үш бағытқа бөліп қарастыруға болады:

1. Қаржылық инновациялар (Impact Investing & Venture Philanthropy): Батыс елдерінде тек қаржылық табыс әкеліп қана қоймай, өлшенетін әлеуметтік нәтиже беретін жобаларды инвестициялау (импакт-инвестиция) қарқынды дамыған. Сондай-ақ, Social

Impact Bonds (Әлеуметтік әсер облигациялары) әдісі арқылы мемлекет әлеуметтік мәселені шешкен жеке инвесторға нәтижеге қол жеткізгеннен кейін ғана қаржысын қайтарады.

2. Технологиялық инновациялар (Digital Social Innovation): Бұл бағытта Блокчейн, Жасанды интеллект (AI) және Үлкен деректер (Big Data) қолданылады. Мысалы, Оңтүстік Корея мен Ұлыбританияда мүмкіндігі шектеулі жандардың өмірін жеңілдететін IT-стартаптар әлеуметтік кәсіпкерлік мәртебесін алып, нарықтық бәсекеге қабілетті өнімдер шығаруда.

3. Экожүйелік инновациялар: Әлеуметтік франчайзинг (сәтті әлеуметтік бизнес-модельді басқа өңірлерге масштабтау) және краудфандингтік (халықтық қаржыландыру) платформалардың белсенді жұмысы.

Қазақстанда әлеуметтік кәсіпкерліктің құқықтық негізі 2021 жылы Кәсіпкерлік кодекске арнайы өзгерістер енгізіліп, әлеуметтік кәсіпкерлік субъектілерінің 4 санаты айқындалғаннан кейін бекітілді. Бүгінгі таңда еліміздегі инновациялық әдістер негізінен әлеуметтік инклюзия мен қайта өңдеу (апсайклинг) салаларында көрініс тауып отыр.

Мысалы, «Green TAL» әлеуметтік шеберханасы мен «Ozim Platform» мобильді қосымшасы сияқты жобалар отандық деңгейдегі сәтті инновациялық кейстер болып табылады. Олар мүгедектігі бар жандарды жұмыспен қамтып қана қоймай, цифрлық өнімдер арқылы ерекше қажеттіліктері бар балалардың ата-аналарына әдістемелік көмек көрсетеді.

Отандық және халықаралық тәжірибені салыстыру мақсатында төмендегі критерийлер бойынша талдау жасалды:

Әлеуметтік кәсіпкерліктің даму деңгейі мен оған енгізіліп жатқан инновациялық әдістерді тереңірек түсіну үшін халықаралық озық тәжірибе мен отандық шынайылықты бірнеше негізгі бағыт бойынша кешенді түрде салыстыру қажет. Бұл талдау Батыс елдері мен Шығыс Азияның (Ұлыбритания, АҚШ, Оңтүстік Корея) қалыптасқан жүйесі мен Қазақстанның енді ғана дамып келе жатқан үлгісі арасындағы сапалық және құрылымдық айырмашылықтарды айқындауға мүмкіндік береді.

Қаржыландыру құралдары мен инвестициялық инновациялар

Халықаралық тәжірибеде әлеуметтік кәсіпкерлікті қаржыландырудың заманауи және икемді тетіктері қалыптасқан. Батыс елдерінде «импакт-инвестициялау» (секторға тек қаржылық табыс үшін емес, өлшенетін әлеуметтік нәтиже үшін капитал салу) дербес қаржы нарығына айналды. Мұнда инвесторлар әлеуметтік кәсіпорынның акциясын сатып алады немесе ұзақ мерзімді төмен пайызды несиелер береді. Ең маңызды инновациялық құралдың бірі — Әлеуметтік әсер облигациялары (Social Impact Bonds). Бұл жүйеде мемлекет, жеке инвестор және әлеуметтік кәсіпкер тығыз байланыста жұмыс істейді: инвестор жобаны қаржыландырады, кәсіпкер мәселені (мысалы, бұрын сотталғандарды қайта әлеуметтендіру) шешеді, ал мемлекет нәтижеге қол жеткізілгенде ғана инвесторға қаржысын пайызымен қайтарады.

Ал Қазақстанның қазіргі тәжірибесінде қаржыландыру құрылымы негізінен дәстүрлі моделдерге сүйенеді. Отандық әлеуметтік кәсіпкерлер мемлекеттік гранттарға (мысалы, «Даму» қоры немесе әкімдіктер желісі бойынша), халықаралық ұйымдардың қайтарымсыз көмегіне немесе ірі компаниялардың әлеуметтік корпоративтік жауапкершілігі (демеушілік) шеңберіндегі біржолғы донацияларына тәуелді. Бұл жағдай отандық кәсіпорындарды нарықтық ортада осал етеді, өйткені грант аяқталған соң көптеген жобалар өз қызметін тоқтатуға мәжбүр болады. Елімізде венчурлық қайырымдылық пен импакт-инвестиция деңгейі әлі де институционалдық деңгейге көтеріле қойған жоқ.

Технологиялық дайындық және цифрлық әлеуметтік инновациялар (DSI)

Екінші маңызды айырмашылық — жобалардың технологиялық мазмұнында. Жаһандық деңгейде әлеуметтік кәсіпкерлік жоғары технологиялық (High-Tech) секторға белсенді түрде интеграциялануда. Дамыған елдерде Жасанды интеллект (AI), Блокчейн және Үлкен деректер (Big Data) сияқты инновациялар әлеуметтік мәселелерді шешудің

негізгі құралына айналды. Мысалы, егде жастағы адамдарды күту, экологиялық қалдықтарды автоматты түрде сұрыптау немесе инклюзивті білім беру процестерін оңтайландыру толығымен цифрлық платформалар мен роботтандырылған жүйелер арқылы жүзеге асырылады. Мұндай кәсіпорындар тек әлеуметтік миссияны орындап қана қоймай, нарықта технологиялық стартап ретінде жоғары бәсекеге қабілеттілікті көрсетеді.

Қазақстандағы әлеуметтік кәсіпкерліктің технологиялық деңгейін «бастапқы-орташа» деп сипаттауға болады. Отандық реестрге тіркелген кәсіпорындардың басым көпшілігі дәстүрлі қызмет көрсету немесе өндіріс саласында жұмыс істейді (қолөнер шеберханалары, тігін цехтары, мүгедектігі бар жандарға арналған шағын наубайханалар немесе оңалту орталықтары). Әрине, елімізде ерекше балалардың ата-аналарына арналған «Ozim Platform» сияқты сәтті IT-жобалар бар, алайда олар жалпы үлестің аз ғана бөлігін құрайды. Отандық секторда технологиялық инновациялардың аз болуы — заманауи инфрақұрылымның тапшылығымен және әлеуметтік кәсіпкерлер арасында IT-құзыреттіліктің төмендігімен байланысты.

Масштабтау және бизнес-модельдерді кеңейту әдістері

Халықаралық деңгейде сәтті әлеуметтік идеялар тез арада «әлеуметтік франчайзинг» әдісі арқылы бүкіл әлемге тарайды. Егер бір елде кедейшілікпен немесе экологиямен күресудің тиімді бизнес-моделі жасалса, ол модель арнайы стандарттарға келтіріліп, франшиза ретінде басқа аймақтар мен мемлекеттерге сатылады немесе трансферт жасалады. Бұл әдіс әлеуметтік әсердің (social impact) геометриялық прогрессиямен өсуіне мүмкіндік береді.

Қазақстандық әлеуметтік кәсіпкерлікке локальді (жергілікті) сипат тән. Жобалардың басым бөлігі бір ғана қала, аудан немесе облыс көлемінде жұмыс істейді. Нұр-Сұлтан (Астана) немесе Алматы қалаларында сәтті жүзеге асқан бизнес-модельдерді еліміздің моноқалалары мен шағын ауылдарына масштабтау процесі өте баяу жүреді. Бұл кәсіпкерлердің өз бизнесін франшиза деңгейіне дейін стандарттауға ресурстарының (капитал, кадр, уақыт) жетіспеуінен туындап отыр.

Құқықтық реттеу және институционалдық қолдау

Ұлыбритания сияқты елдерде әлеуметтік кәсіпкерлік үшін арнайы заңдық мәртебелер бекітілген (мысалы, Community Interest Company — CIC). Бұл мәртебе кәсіпорынға салықтық жеңілдіктер алуға, мемлекеттік тапсырыстарға басымдықпен қатысуға жол ашады, бірақ сонымен бірге тапқан пайданың белгілі бір пайызын тек қоғамдық игілікке қайта инвестициялауды міндеттейді.

Қазақстан бұл бағытта маңызды қадам жасап, 2021 жылы Кәсіпкерлік кодекске өзгерістер енгізді. Заң деңгейінде әлеуметтік кәсіпкерліктің 4 санаты (халықтың осал топтарын жұмыспен қамтудан бастап, әлеуметтік тауарлар шығаруға дейін) нақтыланды. Бұл — отандық тәжірибе үшін үлкен институционалдық жетістік. Дегенмен, заңнаманың іске асыру тетіктерінде әлі де болса бюрократиялық кедергілер бар. Мысалы, өңірлік реестрге кіру процесінің күрделілігі және ұсынылатын салықтық жеңілдіктердің кәсіпкерлер үшін әлі де жеткілікті деңгейде тартымды болмауы сектордың толық қуатында дамуына тежеу болып отыр.

Парадигмалық айырмашылық: Қайырымдылық па, әлде бизнес пе?

Ең басты сапалық айырмашылық — қоғам мен кәсіпкерлердің менталитетінде жатыр. Батыс пен Шығыс Азия елдерінде әлеуметтік кәсіпкерлікке ең алдымен бизнес ретінде қарайды. Оның негізгі мақсаты — нарықта бәсекеге қабілетті өнім шығарып, өзін-өзі толық қаржыландыру (self-sustainability). Әлеуметтік миссия бизнес-процестің ішіне терең интеграцияланған.

Қазақстанда бұл сала әлі де болса «әлеуметтік көмек» немесе «жақсартылған қайырымдылық» парадигмасынан толық арыла алмай келеді. Қоғам, тіпті кәсіпкерлердің

өздері де бұл қызметті коммерциялық табыс көзі ретінде қабылдауға жүрексінеді. Нәтижесінде, отандық әлеуметтік кәсіпорындар маркетинг, менеджмент және қаржылық жоспарлау құралдарын әлсіз қолданады, бұл олардың нарықтық экономика жағдайында ұзақ өмір сүру мүмкіндігін төмендетеді.

Қорыта айтқанда, жүргізілген салыстырмалы талдау халықаралық тәжірибенің тиімділігі оның қаржылық инновацияларға, жоғары технологияларға және масштабталатын бизнес-модельдерге сүйенетіндігінде екенін көрсетті. Қазақстандық әлеуметтік кәсіпкерліктің әлеуетін арттыру үшін дәстүрлі қолдау үлгілерінен бас тартып, халықаралық деңгейдегі осы инновациялық әдістерді ұлттық нарыққа бейімдеп енгізу қажет.

Талдау көрсеткендей, Қазақстандағы әлеуметтік кәсіпкерлік әлі де болса «әлеуметтік көмек» немесе «қайырымдылық» парадигмасынан толық шыға алмай келеді. Батыс елдерінде әлеуметтік кәсіпкерлік дербес, өзін-өзі толық қаржыландыратын және заманауи технологияларды белсенді қолданатын жоғары технологиялық бизнес ретінде дамыған. Отандық кәсіпкерлер арасында әлеуметтік франчайзинг пен импакт-инвестиция тарту құралдары жеткілікті дәрежеде қолданылмайды.

Жүргізілген салыстырмалы талдау негізінде Қазақстанда әлеуметтік кәсіпкерліктегі инновациялық әдістерді дамыту үшін мынадай шараларды жүзеге асыру ұсынылады:

1. Қаржылық тетіктерді инновациялау: Елімізде «Әлеуметтік әсер облигациялары» (Social Impact Bonds) пилоттық жобаларын енгізу. Бұл мемлекеттік бюджет шығындарын оңтайландырып, жеке инвесторларды тартуға мүмкіндік береді.

2. Цифрлық әлеуметтік инновацияларды (DSI) қолдау: Әлеуметтік бағыттағы IT-стартаптарға арнайы гранттар мен Astana Hub сияқты технопарктер аясында жеңілдіктер деңгейін арттыру.

3. Білім беру мен құзыреттілікті дамыту: Жоғары оқу орындарының бағдарламаларына «Әлеуметтік инновациялар және кәсіпкерлік» пәнін енгізу арқылы жас мамандардың бәсекелік қабілетін арттыру.

4. Әлеуметтік франчайзингті ынталандыру: Сәтті отандық кейстердің (мысалы, Green TAL) франшизалық модельдерін әзірлеп, оларды еліміздің моноқалалары мен ауылдық аймақтарына тарату.

Қорыта айтқанда, халықаралық инновациялық әдістерді еліміздің ұлттық ерекшеліктеріне бейімдей отырып енгізу — Қазақстандағы әлеуметтік кәсіпкерлікті жаңа сапалық деңгейге көтеріп, мемлекет пен бизнестің тиімді серіктестігін (ГЧП) орнатуға даңғыл жол ашады.

Әдебиеттер тізімі

1. Қазақстан Республикасының Кәсіпкерлік кодексі (2021 жылғы өзгерістер мен толықтырулармен).
2. Dees, J. G. (2001). The Meaning of "Social Entrepreneurship". Duke University.
3. Nicholls, A. (2006). Social Entrepreneurship: New Models of Sustainable Social Change. Oxford University Press.
4. Schwab Foundation for Social Entrepreneurship. (2024). Impact Report: Innovating for Social and Environmental Progress.
5. Сүлейменова, А. К. (2023). Қазақстандағы әлеуметтік кәсіпкерлік: даму үрдістері мен келешегі. Экономика және статистика журналы, №2, 45-51 бб.

ЦИФРЛАНДЫРУДЫҢ КӨЛІК ЛОГИСТИКАСЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН ДАМУҒА ӘСЕРІ

Таттымбетова Қуаныш Танатаровна

Е.А. Бөкетов атындағы ҚарҰЗУ докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан)

Райханова Гультур Амангельдиевна

Е.А. Бөкетов атындағы ҚарҰЗУ э.ф.к., қауымдастырылған профессор (Қарағанды қ., Қазақстан)

Аннотация: Аталған мақалада Қазақстанның көлік-логистикалық қызметтер саласын цифрлық трансформациялау үрдісі және оның халықаралық жүк тасымалдарының құны мен тиімділігіне әсері қарастырылады, зерттеу барысында саланың қазіргі даму жағдайы, цифрлық технологияларды енгізудің негізгі бағыттары, соның ішінде электрондық құжат айналымы, автоматтандырылған кеден жүйелері, интеллектуалды логистикалық платформалар және деректерге негізделген басқару шешімдері талданады, сондай-ақ Қазақстанның транзиттік әлеуеті мен Еуропа–Азия бағытындағы көлік дәліздеріндегі рөлі статистикалық мәліметтер негізінде бағаланады; мақалада цифрландыру нәтижесінде тасымалдау уақытының қысқаруы, операциялық шығындардың төмендеуі және логистикалық процестердің ашықтығы мен тиімділігінің артуы дәлелденеді, сонымен қатар халықаралық контейнерлік тасымалдардың өсу динамикасы мен көлік инфрақұрылымының даму үрдістері қарастырылады; зерттеу қорытындысында цифрлық трансформация Қазақстанның көлік-логистикалық жүйесінің бәсекеге қабілеттілігін арттырып, оны Еуразиядағы маңызды транзиттік хабтардың біріне айналдыруға ықпал ететіні негізделеді, сондай-ақ саланы одан әрі дамыту үшін цифрлық интеграцияны тереңдету, инновациялық технологияларды енгізу және инфрақұрылымды жетілдіру қажеттілігі айқындалады.

Кілт сөздер: көлік-логистика, цифрлық трансформация, халықаралық жүк тасымалдары, транзиттік әлеует, логистикалық тиімділік, тасымалдау құны, цифрландыру, контейнерлік тасымалдар, көлік дәліздері, электрондық құжат айналымы, кедендік рәсімдер, Big Data, интеллектуалды логистика, инфрақұрылым, Қазақстан экономикасы.

Қазақстанның көлік-логистикалық қызметтер саласын цифрлық трансформациялау қазіргі жаһандану жағдайында ерекше өзектілікке ие, себебі халықаралық сауда ағындарының өсуі, жеткізу тізбектерінің күрделенуі және геосаяси өзгерістер елдердің транзиттік әлеуетін тиімді пайдалануды талап етеді, ал Қазақстанның Еуропа мен Азия арасындағы стратегиялық орналасуы оны маңызды көлік хабына айналдыруға мүмкіндік береді; осы тұрғыда цифрлық технологияларды енгізу тасымалдау процестерінің ашықтығын арттырып, уақыт пен қаржы шығындарын қысқартуға, сондай-ақ халықаралық нарықтағы бәсекеге қабілеттілікті күшейтуге бағытталғандықтан зерттеу тақырыбы аса маңызды болып табылады.

Көлік және логистика саласының Қазақстанның экономикалық дамуы үшін маңыздылығын және оның экспорт пен ұлттық өнімдер саудасына тікелей әсерін ескере отырып, жақын болашақта өсуге жағдай жасайтын жоғары сапалы шешімдердің пайдасына әртүрлі ұзақ мерзімді шешімдерді алудың сандық саясатын қайта қарау орынды.

Мұндай қайта бағдарлау негізгі теміржол желісіне қол жеткізу, ай сайынғы және он күндік жоспарлау, вагондарды қамтамасыз ету және алып тастау сияқты негізгі мәселелерді тез шеше алады. Бұл құралдардың болуы көрінетін операциялық әсерге әкеледі.

Көлікті цифрландыру белгілі бір тәуекелдермен байланысты екені сөзсіз. Автоматтандырылған декларациялау және нақты уақыт режиміндегі электрондық жүйені енгізу өте тиімді, сыбайлас жемқорлық тәуекелдерін азайтады және транзитті жеделдетеді. Дегенмен, жеке сектор үшін теміржол қызметтеріне тең қолжетімділікті қамтамасыз ету сияқты шаралар монополиялардың қарсылығына тап болғандықтан, айтарлықтай күш-жігер мен шешуші әрекеттерді қажет етеді.

Қазақстанда көлік-логистика секторы ЖІӨ-нің шамамен 8–9%-ын құрай отырып, экономиканың негізгі салаларының бірі болып саналады және транзиттік жүк көлемінің тұрақты өсуі (соңғы жылдары 30 млн тоннадан асып, 2025 жылы шамамен 36–37 млн тоннаға жетуі) бұл саланың стратегиялық маңызын одан әрі арттырады. Цифрлық трансформация аясында электрондық құжат айналымы, автоматтандырылған кеден жүйелері және интеллектуалды логистикалық платформалар енгізіліп, олардың нәтижесінде шекарадан өту уақыты 20–30%-ға қысқарып, тасымалдау шығындары 10–20%-ға төмендеуде, бұл халықаралық жүк тасымалдарының тиімділігін арттыруда шешуші рөл атқарады. Сонымен қатар, Қытай–Еуропа бағытындағы контейнерлік тасымалдардың қарқынды дамуы және Транскаспий халықаралық көлік бағытының (Middle Corridor) маңызының артуы Қазақстан үшін цифрландыру үдерістерін жеделдетуді талап етеді, өйткені дәл осы технологиялар транзиттік дәліздердің өткізу қабілетін арттырып, жеткізу мерзімдерін қысқартуға мүмкіндік береді, сондықтан көлік-логистикалық қызметтерді цифрлық трансформациялау мәселесін зерттеу тасымалдау құны мен тиімділігіне әсерін талдау тұрғысынан ғана емес, сонымен қатар Қазақстанның жаһандық көлік жүйесіндегі орнын нығайту тұрғысынан да ғылыми және практикалық маңызы жоғары өзекті бағыт болып табылады. Осы өзектілік аясында Қазақстанның көлік-логистикалық қызметтер саласын цифрлық трансформациялау халықаралық жүк тасымалдары мысалында кешенді түрде қарастыру қазіргі экономикалық даму талаптарына толық жауап береді және елдің транзиттік әлеуетін тиімді іске асыруға мүмкіндік береді.

Қазақстанның көлік-логистикалық қызметтер саласын цифрлық трансформациялау қазіргі кезеңде тек технологиялық жаңғырту емес, сонымен қатар ұлттық экономиканың құрылымдық өзгеруінің маңызды бағыты болып табылады, себебі жаһандық жеткізу тізбектерінің цифрлануы елдердің транзиттік әлеуетін тиімді пайдалануға және халықаралық нарықтағы бәсекеге қабілеттілігін арттыруға тікелей әсер етеді, Қазақстан үшін бұл үрдіс ерекше маңызды, өйткені ел аумағы арқылы өтетін негізгі халықаралық көлік дәліздері, соның ішінде Қытай–Еуропа бағыты мен Транскаспий халықаралық көлік бағыты (Middle Corridor). Соңғы жылдары геосаяси өзгерістерге байланысты баламалы маршрут ретінде жоғары сұранысқа ие болуда.

Цифрлық трансформация жағдайында логистика саласы логистикалық процестердің тиімділігін, ашықтығын және тұрақтылығын арттыруға бағытталған инновациялық шешімдерді біріктіруге деген қажеттіліктің артуын бастан кешіруде.

Атап айтқанда, RFID, IoT, Big Data, бұлтық платформалар және интеллектуалды көлік жүйелері сияқты цифрлық технологияларды пайдалану жеткізу тізбегін басқаруды айтарлықтай жақсарта алады, шығындарды азайта алады және тұтынушылардың қанағаттанушылығын арттыра алады. Дегенмен, логистиканы цифрландыруға деген қызығушылықтың артуына қарамастан, Қазақстанда әлі де реттеуші, инфрақұрылымдық және кадрлық кедергілермен шектелген инновацияларды енгізуге деген фрагменттелген тәсіл байқалады.

Цифрлық технологияларды енгізу көлік-логистика жүйесінің барлық буындарын қамти отырып, тасымалдауды жоспарлау, бақылау және басқару процестерін түбегейлі өзгертуде, атап айтқанда GPS және IoT технологиялары арқылы нақты уақыт режимінде жүк қозғалысын бақылау мүмкіндігі пайда болып, бұл тасымалдау қауіпсіздігін арттырумен қатар, маршруттарды оңтайландыруға және бос жүрістерді азайтуға мүмкіндік береді, нәтижесінде отын шығындары қысқарып, жалпы логистикалық шығындар төмендейді. Халықаралық тәжірибеге сүйенсек, цифрландыруды кеңінен енгізген елдерде логистикалық тиімділік 15–25%-ға дейін артып, жеткізу мерзімі 20–40%-ға дейін қысқарады. Қазақстанда да ұқсас үрдістер байқалуда, мысалы, электрондық құжат айналымын енгізу арқылы қағаз құжаттарға кететін уақыт пен шығындар айтарлықтай азайып, шекарадан өту рәсімдері жеңілдетілді, бұл әсіресе халықаралық автокөлік және теміржол тасымалдары үшін маңызды.

Көлік-логистика саласындағы цифрлық платформалар тасымалдаушылар, экспедиторлар, кеден органдары және клиенттер арасында бірыңғай ақпараттық кеңістік қалыптастырып, деректер алмасуды жеделдетеді, бұл өз кезегінде шешім қабылдау сапасын арттырып, тәуекелдерді төмендетеді. Қазақстанда енгізіліп жатқан цифрлық шешімдердің бірі – көлік дәліздерін басқарудың интеграцияланған жүйелері, олар жүк ағындарын талдау, сұранысты болжау және инфрақұрылым жүктемесін тиімді бөлу мүмкіндігін береді, нәтижесінде көлік дәліздерінің өткізу қабілеті артып, кептелістер мен кідірістер азаяды. Статистикалық деректерге сәйкес, соңғы жылдары Қазақстан арқылы өтетін контейнерлік транзит көлемі бірнеше есе өсіп, 1 млн TEU-дан асқан, бұл көрсеткіштің артуы тек инфрақұрылымдық жобалармен ғана емес, сонымен қатар цифрлық технологияларды енгізумен де байланысты. Тасымалдау құнына әсер ету тұрғысынан цифрлық трансформация логистикалық тізбектегі аралық операцияларды қысқарту, қойма шығындарын азайту және көлік құралдарын тиімді пайдалану арқылы жалпы шығындарды 10–20%-ға дейін төмендетуге мүмкіндік береді, ал жеткізу уақытының қысқаруы клиенттердің қанағаттану деңгейін арттырып, жаңа нарықтарға шығуға жол ашады.

Сонымен қатар, цифрлық трансформация экологиялық тұрғыдан да оң әсерін тигізеді, өйткені маршруттарды оңтайландыру және отын шығындарын азайту көмірқышқыл газының шығарындыларын төмендетуге ықпал етеді, бұл қазіргі таңда тұрақты даму талаптарына сәйкес келеді. Цифрландыру процесін толық іске асыру үшін бірқатар жүйелі мәселелерді шешу қажет, олардың қатарына цифрлық инфрақұрылымды дамыту, деректердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету, халықаралық стандарттармен үйлесімділікті арттыру және білікті кадрларды даярлау жатады, сондай-ақ мемлекеттік және жеке сектор арасындағы ынтымақтастықты күшейту маңызды, себебі цифрлық экожүйені қалыптастыру тек кешенді тәсілді талап етеді. Болашақта жасанды интеллект, блокчейн және автоматтандырылған басқару жүйелері кеңінен енгізілген жағдайда Қазақстанның көлік-логистикалық саласы жаңа сапалық деңгейге көтеріліп, халықаралық жүк тасымалдарының тиімділігі мен сенімділігі айтарлықтай артады, бұл өз кезегінде елдің транзиттік кірістерін ұлғайтып, оны Еуразия кеңістігіндегі жетекші логистикалық орталықтардың біріне айналдыруға мүмкіндік береді.

Цифрландыру бізге тек тоқырау процестерін автоматтандыруға және жақсартуға ғана емес, сонымен қатар жол мониторингінен бастап нақты уақыт режиміндегі логистикалық басқаруға дейінгі тұтас экожүйені құруға мүмкіндік береді. Бұл тек мемлекет үшін кірістілікті арттыру ғана емес, сонымен қатар тиімділікті, қауіпсіздікті, ашықтықты және сенімділікті арттыру мәселесі.

Қазақстанның көлік-логистикалық саласын цифрлық трансформациялау халықаралық жүк тасымалдарының тиімділігін айтарлықтай арттырды. Нәтижесінде тасымалдау құны

төмендеп, жеткізу уақыты қысқарып, елдің транзиттік әлеуеті күшейді. Бұл үрдіс Қазақстанды Еуразиядағы маңызды логистикалық хабтардың біріне айналдыруға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Сарыбаев М., Чукубаев Е., Малтабаров А. Қазақстанның Орталық Азия аймағындағы логистика саласын цифрлық трансформациялаудағы рөлі // *Қоғам және дәуір*. – 2022. (journal-kogam.kisi.kz)
2. Қазақстан Республикасы Үкіметі. Көлік-логистика саласын цифрландыру бойынша ведомствоаралық жобалық топ туралы мәлімет. – 2025. ([Правительство Казахстана](#))
3. Kapital.kz. Қазақстан мен Ресей цифрлық логистиканы бірлесіп дамыту туралы. – 2026. ([Деловой портал Kapital.kz](#))
4. ҚР Ұлттық статистика бюросының деректері негізінде: көлік-логистика секторының ЖІӨ-дегі үлесі және жүк тасымалы көлемі. – 2022. ([TASYMA](#))
5. Inbusiness.kz. Қазақстандағы көлік-логистика саласының экономикалық көрсеткіштері. – 2022. ([Inbusiness](#))
6. Bluescreen.kz. Қазақстанда логистика мен транзит саласын цифрлық трансформациялау бастамалары. – 2025. ([Bluescreen](#))
7. TransLogistica Kazakhstan. Көлік және логистика саласындағы цифрлық трансформация үрдістері туралы халықаралық көрме материалдары. – 2024. ([TransLogistica](#))
8. Sarybayev M. et al. *Role of Kazakhstan in the Digital Transformation of the Logistics Industry in Central Asia*. – 2022. ([ResearchGate](#))

ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕТА РАСХОДОВ СУБЪЕКТА ПО ЦЕНТРАМ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Мальцева Екатерина Максимовна

Карагандинский университет Казпотребсоюза, г. Караганда, Казахстан

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические основы и практические аспекты организации учета расходов субъекта по центрам ответственности. Выявлены типичные недостатки действующих систем учета расходов и обоснована необходимость их устранения. Предложена модель учета расходов по трем центрам ответственности с рекомендациями по распределению косвенных расходов.

Ключевые слова: центры ответственности, учет расходов, места возникновения затрат, управленческий учет, косвенные расходы.

Abstract. The article examines the theoretical foundations and practical aspects of organizing expense accounting by responsibility centers at a trading enterprise. Typical shortcomings of current expense accounting systems are identified and the need for their elimination is substantiated. A model of expense accounting based on three responsibility centers is proposed with recommendations for indirect expense allocation.

Keywords: responsibility centers, cost accounting, cost locations, management accounting, indirect costs.

Управление расходами является одной из ключевых задач в системе менеджмента предприятия. Традиционные системы бухгалтерского учета, ориентированные на формирование финансовой отчетности, не в полной мере обеспечивают потребности внутреннего управления [1]. Действующий учет нередко носит укрупненный характер: расходы отражаются без их детализации по структурным подразделениям, что лишает руководство возможности объективно оценивать эффективность использования ресурсов.

Учет расходов по местам их возникновения и центрам ответственности позволяет перейти от общего отражения расходов к их детализации в разрезе подразделений и ответственных лиц. Как указывает В.Б. Ивашкевич, формирование расходов должно осуществляться не только в целом по предприятию, но и с детализацией по местам их возникновения и центрам ответственности [2]. Данный подход обеспечивает возможность контроля расходов, выявления отклонений и оценки эффективности работы подразделений.

Целью статьи является разработка модели учета расходов субъекта по центрам ответственности и обоснование практической значимости ее применения.

Концепция учета ответственности была сформулирована Дж.А. Хиггинсом в 1952 году. Согласно данной концепции, расходы должны учитываться и контролироваться теми менеджерами, которые реально влияют на их возникновение [3]. Дальнейшее развитие концепция получила в трудах Р.Н. Энтони, который в 1965 году предложил классификацию центров ответственности: центры расходов, центры доходов, центры прибыли и центры инвестиций [4]. Данная классификация стала стандартом в теории управленческого учета и широко применяется в учебной и научной литературе по сей день.

Место возникновения расходов представляет собой структурную единицу предприятия, в рамках которой осуществляется формирование и первичный учет расходов

[1]. Центр ответственности - это сегмент деятельности, за результаты которого несет ответственность конкретное должностное лицо. Таким образом, места возникновения расходов формируют организационную основу для построения системы центров ответственности: каждое место возникновения расходов закрепляется за конкретным центром, а центр - за конкретным руководителем.

Для предприятия, деятельность которого связана с закупкой, хранением и реализацией товаров, наиболее целесообразным является выделение центров расходов - подразделений, руководители которых контролируют уровень расходов, но не оказывают непосредственного влияния на доходы предприятия. В рамках таких центров расходы подразделяются на прямые, непосредственно относимые к центру, и косвенные, требующие распределения на основе экономически обоснованных баз [2].

Анализ практики учета расходов субъектов позволяет выделить ряд типичных недостатков. Во-первых, учет расходов осуществляется в укрупненном виде без детализации по структурным подразделениям. Значительная часть расходов, в том числе косвенных, отражается без привязки к конкретным центрам ответственности, что ограничивает возможности их контроля и анализа.

Во-вторых, на большинстве предприятий система центров ответственности не формализована. Отсутствие закрепленной ответственности конкретных должностных лиц за уровень расходов приводит к тому, что управление расходами носит общий характер и не позволяет выявлять конкретные источники отклонений. Как отмечает М.А. Вахрушина, отсутствие формализованной системы центров ответственности существенно снижает эффективность управления расходами [1].

В-третьих, распределение косвенных расходов зачастую осуществляется по условным базам или не проводится вовсе, что снижает точность расчетов и затрудняет анализ эффективности деятельности подразделений. В-четвертых, управленческая отчетность по расходам формируется нерегулярно и не обеспечивает достаточного уровня детализации для оперативного принятия управленческих решений.

Предлагаемая модель учета расходов основывается на принципах управленческого учета: детализации расходов по местам их возникновения, закреплении ответственности, сопоставимости плановых и фактических показателей, а также обеспечении прозрачности и контролируемости расходов [2]. Для предприятия предлагается выделить три центра ответственности, соответствующих основным направлениям деятельности. Структура центров представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Структура центров ответственности предприятия

Центр ответственности	Подразделение	Ответственное лицо	Виды расходов
Центр закупок	Отдел закупок	Руководитель отдела	Закупка товаров
Центр логистики	Склад	Заведующий складом	Хранение, транспортные и погрузочные расходы
Административный центр	Администрация	Руководитель предприятия	Заработная плата, налоги, ком. услуги

Примечание – Составлено автором на основании [1, 2]

Центр закупок является ключевым центром ответственности предприятия. Руководитель данного центра несет ответственность за обоснованность закупочных решений, выбор поставщиков и контроль закупочных цен. Центр логистики охватывает расходы, связанные с хранением и движением товаров: транспортные расходы, расходы на

погрузку и разгрузку, а также содержание складских помещений. Административный центр аккумулирует управленческие расходы предприятия - заработную плату административного персонала, налоги, коммунальные и прочие общехозяйственные расходы.

Важным элементом модели является распределение косвенных расходов между центрами ответственности. Выбор базы распределения должен определяться экономическим содержанием распределяемых расходов и спецификой деятельности подразделений [2].

Применение экономически обоснованных баз распределения обеспечивает более точное отнесение расходов к центрам ответственности и повышает достоверность учетной информации. Это, в свою очередь, позволяет объективно оценивать эффективность деятельности подразделений и принимать обоснованные управленческие решения [5].

Неотъемлемым элементом предложенной модели является формирование регулярной управленческой отчетности по центрам ответственности. Внутренние отчеты должны составляться ежемесячно и содержать информацию о фактических расходах в разрезе центров ответственности, плановых показателях и отклонениях от них. Как указывает Н.П. Кондраков, управленческая отчетность по центрам ответственности является основным инструментом контроля расходов и оценки эффективности деятельности подразделений [5].

Анализ отклонений фактических расходов от плановых позволяет своевременно выявлять причины перерасхода и принимать корректирующие управленческие решения. При этом ответственность за отклонения возлагается на руководителей соответствующих центров ответственности, что повышает их личную заинтересованность в соблюдении бюджетных ограничений.

Практическая реализация предложенной модели обеспечивается средствами современных информационных систем бухгалтерского учета, позволяющих вести аналитический учет расходов в разрезе подразделений и статей расходов без существенной доработки стандартного функционала. Использование аналитических разрезов - подразделения, статьи расходов, контрагенты - позволяет автоматизировать процессы распределения расходов и формирования управленческой отчетности [5].

Организация учета расходов субъекта по центрам ответственности является необходимым условием повышения эффективности управления. Предложенная модель, основанная на выделении центра закупок, центра логистики и административного центра, обеспечивает детализацию расходов по подразделениям, повышает прозрачность расходов и создает информационную основу для принятия обоснованных управленческих решений.

Применение экономически обоснованных баз распределения косвенных расходов и формирование регулярной управленческой отчетности по центрам ответственности позволяют устранить типичные недостатки действующих систем учета расходов субъектов. Реализация предложенных рекомендаций способствует повышению прозрачности расходов, усилению контроля за их формированием и улучшению качества управленческих решений.

Список литературы

1. Вахрушина М.А. Бухгалтерский управленческий учет: учебник. - 9-е изд. - М.: Омега-Л, 2011. - 569 с.
2. Ивашкевич В.Б. Бухгалтерский управленческий учет: учебник. - М.: Экономистъ, 2003. - 618 с.
3. Higgins J.A. Responsibility Accounting // The Arthur Andersen Chronicle. - 1952. - Vol. 12, № 2.
4. Anthony R.N. Planning and Control Systems: A Framework for Analysis. - Boston: Harvard Business School Press, 1965. - 180 p.
5. Кондраков Н.П. Бухгалтерский (финансовый, управленческий) учет: учебник. - М.: Проспект, 2019. - 512 с.

Использование ИКТ предприятиями Азербайджана

Аллахвердиева Лейли Али кызы

Доктор экономических наук, доцент, Ученый секретарь, Институт Экономики
Министерства Науки и Образования Азербайджанской Республики

Аннотация

Представлен обзор научной литературы о преимуществах использования информационно-коммуникационных технологий на предприятиях. Проанализированы различные показатели использования информационно-коммуникационных технологий на предприятиях Азербайджана. Исследованы число предприятий с доступом к интернету в зависимости от вида экономической деятельности; доля предприятий, сделавших, либо принявших заказ по интернету, в общем числе предприятий; показатели распределения предприятий по целям использования интернета (% от общего использования интернета) и прочие показатели.

Ключевые слова

ИКТ, предприятия, компьютер, интернет, предпринимательская деятельность

Введение

Использование информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) на предприятиях является необходимостью сегодняшнего дня – без применения современных достижений науки и техники просто невозможно представить предпринимательскую деятельность. Применение ИКТ позволяет увеличить производительность труда, снизить расходы, повысить конкурентоспособность продукции, самого предприятия, повысить экономическую эффективность. За счет использования информационно-коммуникационных технологий можно повысить квалификацию кадров, расширить рынки сбыта, увеличить объемы продаж и т.д.

Несомненно, для того чтобы предприятия имели возможность использовать информационно-коммуникационные технологии, необходимо обеспечить в стране их наличие, обеспечить их доступность. Важна при этом политика государства в области ИКТ.

О преимуществах использования информационно-коммуникационных технологий на предприятиях говорится и в научной литературе.

Так, результаты одного из исследований, проведенных в данном направлении, показали, что с использованием информационно-коммуникационных технологий на предприятиях появляется возможность осуществлять контроль над предпринимательской деятельностью, повышается надежность финансовой деятельности. [1]

Другой научный труд посвящен изучению последствий применения информационно-коммуникационных технологий для различных отраслей экономики, а именно – влияние на конкурентоспособность, на бизнес-процессы. В результате, авторы утверждают, что для повышения конкурентоспособности предприятий малого и среднего бизнеса применение информационно-коммуникационных технологий является важным. [2]

О важности информационно-коммуникационных технологий в развитии предпринимательской деятельности Нигерии говорится в еще одном исследовании. Утверждается, что информационные технологии являются ключевым ресурсом

предпринимательского образования, что государственным учреждениям необходимо развивать информационно-коммуникационные сети. [3]

О роли ИКТ в развитии предпринимательства утверждается в еще одном исследовании. Отмечается, что предоставление доступа к интернету в странах Азии относится к факторам создания новых предприятий. Одновременно, авторы пришли к такому выводу, что для стран Африки наиболее важным является предоставление доступа к товарам, имеющим отношение к информационно-коммуникационным технологиям. [4]

Результаты одного из исследований указывают на то, что доступ к информационно-коммуникационным технологиям на начальном этапе имеет положительные последствия для предпринимательской деятельности. Отмечается, что с их помощью облегчаются процессы работы с данными, информацией. [5]

Результаты исследования

Исследуя в общем виде степень использования информационно-коммуникационных технологий на предприятиях Азербайджана, вырисовывается следующая картина (рис.1).

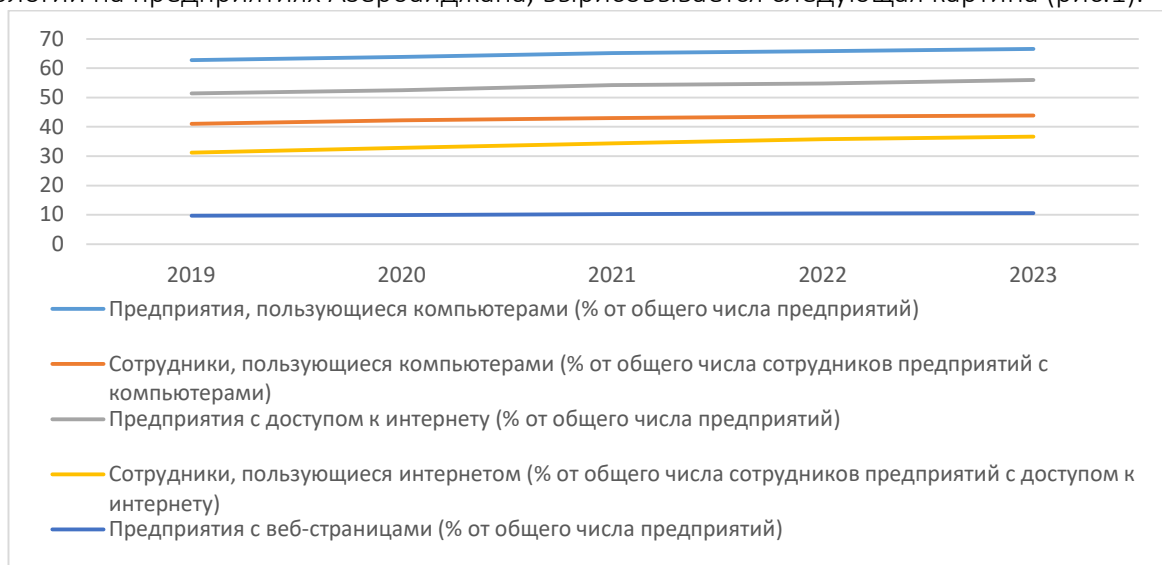


Рисунок 1. Показатели использования информационно-коммуникационных технологий на предприятиях Азербайджана, 2019-2023 [6, с.52]

За период с 2019-го года по 2023-ий год число предприятий, использующих компьютеры, стабильно увеличивалось (наблюдалось увеличение доли предприятий с компьютерами в общем числе предприятий за этот период на 3,8 процентных пункта).

Безусловно, только лишь наличия на предприятии компьютеров недостаточно, и это вовсе не говорит о том, что на этом предприятии используются возможности, предоставляемые информационно-коммуникационными технологиями. О том, насколько предприятия используют возможности информационно-коммуникационных технологий можно судить по прочим показателям. Так, несмотря на увеличение с 2019-го года доли сотрудников, пользующихся компьютерами, в общем числе сотрудников предприятий, имеющих компьютеры, в 2023-ем году показатель составил 43,9%.

Доступность интернета очень важна на сегодняшний день. Можно иметь компьютер, но не иметь доступа к интернету. В таком случае, предприятия не смогут проводить транзакции, ведь большинство их проводится посредством интернета. Это делает необходимым проанализировать число предприятий, имеющих доступ к интернету, в общем числе предприятий в стране.

Так, с 2019-го года число предприятий с доступом к интернету хоть и несильно, но все же увеличивалось. И по состоянию на 2023-ий год их доля в общем числе предприятий страны была равна 56%. Данный показатель меньше показателя, отражающего долю

предприятий, использующих компьютеры, в общем числе предприятий страны на 10,6 процентных пункта.

Невысокой является доля сотрудников предприятий, использующих интернет, в общем числе сотрудников, имеющих доступ к интернету. По состоянию на 2023-ий год их доля составила 36,7%. Также следует отметить, что по сравнению с 2019-ым годом показатель увеличился на 5,4 процентных пункта.

Несмотря на то, что наличие компьютеров на предприятиях, доступность интернета и облегчает их предпринимательскую деятельность, повышает ее эффективность, не менее важным является и создание официальной веб-страницы – ее наличие дает возможность разрекламировать свою продукцию, расширить рынки сбыта, увеличить объемы продаж и т.д.

Так, за период с 2019-го года по 2023-ий год наблюдалось незначительное увеличение числа предприятий, имеющих веб-страницу. Если в 2019-ом году доля предприятий, имеющих веб-страницу, в общем числе предприятий, была равна 9,8%, то в 2023-ем году она увеличилась до 10,6%.

Если рассмотреть число предприятий, имеющих доступ к интернету, по различным отраслям, можно заметить, что больше всего доступ к интернету имели предприятия в сфере торговли и ремонта транспортных средств (за весь исследуемый период). По состоянию на 2023-ий год их число составило 2547 – показатель увеличился с 2019-го года на 188. На втором месте расположились организации государственного управления и защиты, социального обеспечения. Их число в 2023-ем году равнялось 1687-ми (показатель увеличился по сравнению с 2019-ым годом на 293). Далее, по наибольшему числу предприятий с доступом к интернету, располагаются предприятия финансовой и страховой сферы – 1045 в 2023-ем году (рост в сравнении с 2019-ым годом на 50). В 2023-ем году число организаций образовательной сферы, имеющих доступ к интернету, составило 989 (рост показателя с 2019-го года на 44). Число предприятий с доступом к интернету в области информации и связи в 2023-ем году составило 492 (рис.2).

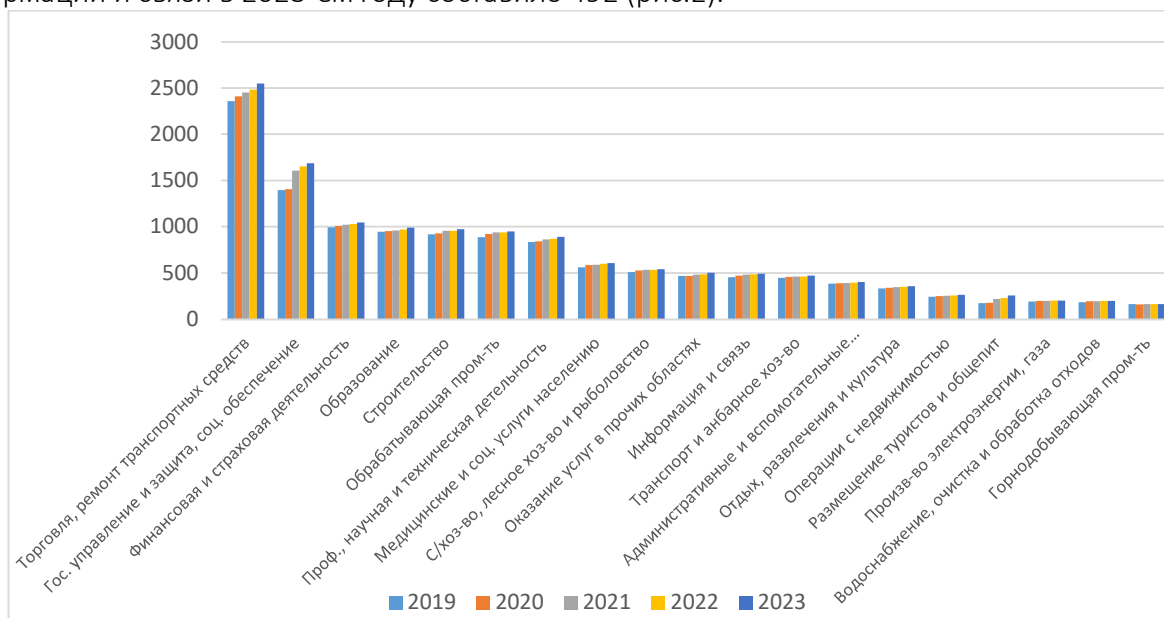


Рисунок 2. Число предприятий с доступом к интернету в зависимости от вида экономической деятельности, 2019-2023 [6, с.60]

Как уже и было отмечено, предприятия, имеющие доступ к интернету, получают от этого целый ряд преимуществ. Позволяет ли это увеличивать объемы продаж, расширить рынки сбыта?

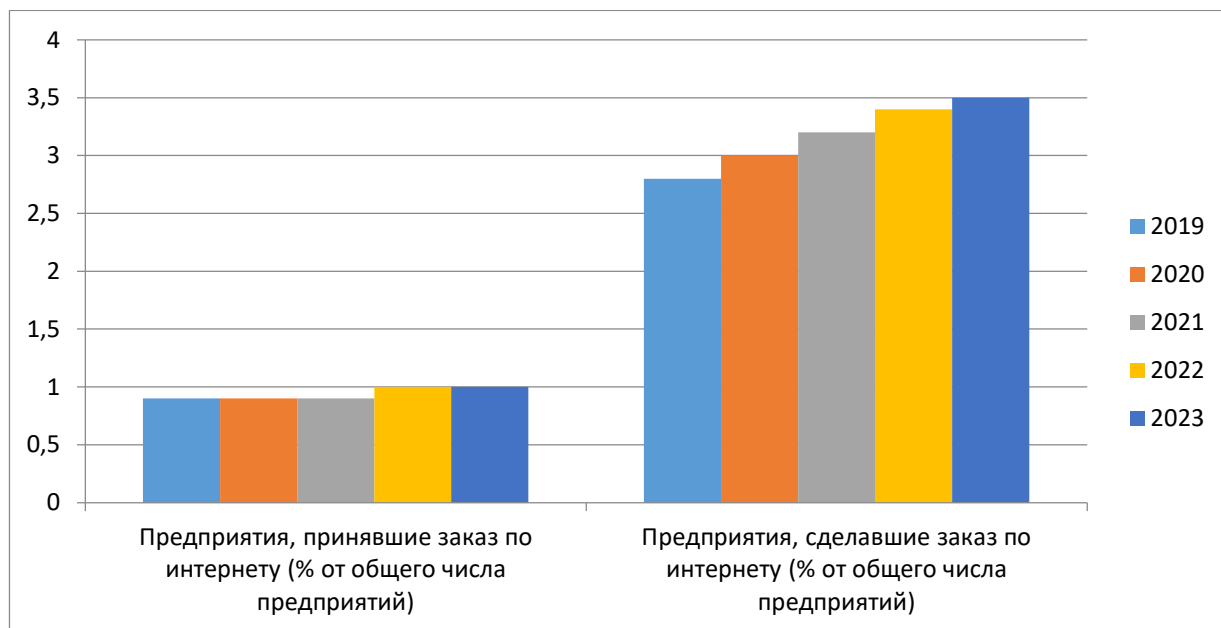


Рисунок 3. Доля предприятий, сделавших, либо принявших заказ по интернету, в общем числе предприятий, %, 2023 [6, с.53]

В 2023-ем году доля принявших заказ по интернету предприятий в общем числе предприятий составила 1%. В сравнении с 2019-ым годом показатель изменился на 0,1 процентный пункт. Доля же предприятий, сделавших заказ по интернету, в 2023-ем году составила 3,5% от общего числа предприятий, что на 0,7 процентных пункта больше, в сравнении с 2019-ым годом (рис.3).

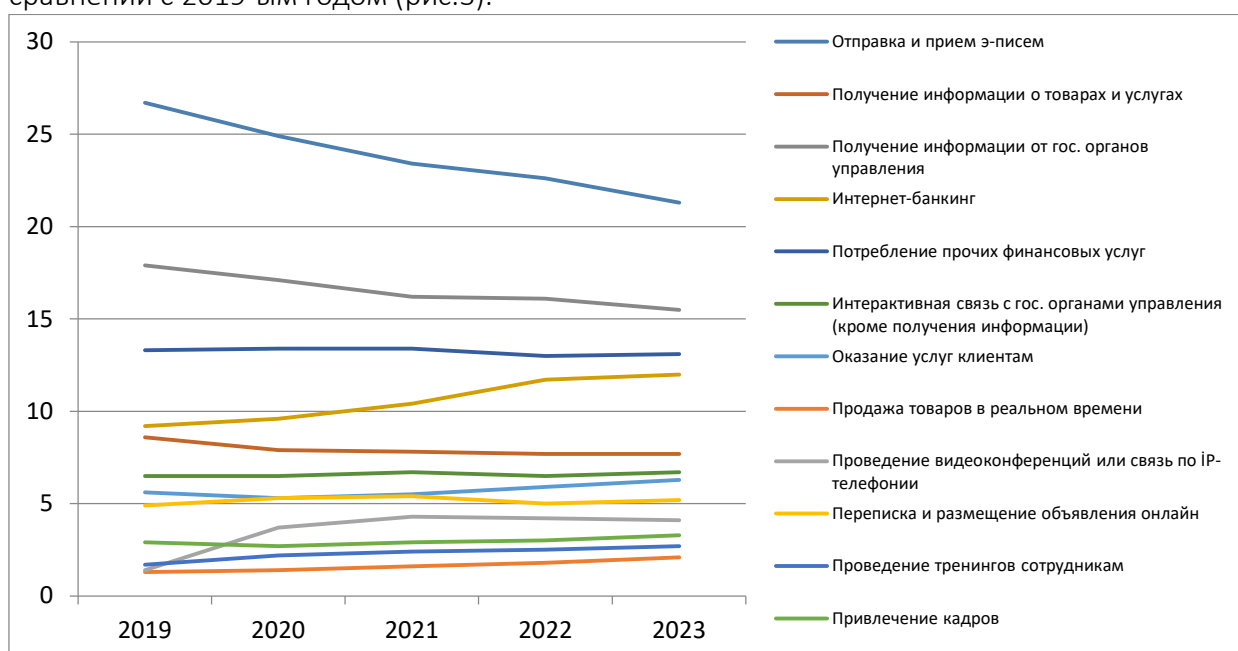


Рисунок 4. Распределение предприятий по целям использования интернета (% от общего использования интернета), 2023 [6, с.53]

Исследуя цели, с которыми предприятия использовали интернет, можно утверждать, что в 2023-ем году больше всего интернет был использован предприятиями с целью отправки, либо получения электронных писем – доля подобных предприятий в общем объеме потребления интернета предприятиями равна 21,3%. Электронная переписка являлась основной целью, с которой использовался интернет на предприятиях страны за исследуемые годы. При этом, наблюдалось снижение показателя по сравнению с 2019-ым

годом (на 5,4 процентных пункта). Второй основной целью является получение информации от органов государственного управления (15,5%). Однако и данный показатель снизился по сравнению с 2019-ым годом (17,9%). Доля предприятий, использующих интернет с целью потребления прочих финансовых услуг, в общем объеме потребления интернета предприятиями, составила 13,1%. В 2023-ем году наблюдалось увеличение с 2019-го года числа предприятий, использующих интернет с целью интернет-банкинга (с 9,2% до 12%). Увеличение наблюдалось и в числе предприятий, использующих интернет с целью налаживания интерактивной связи с государственными органами управления (за исключением получения информации). Так, в 2019-ом году показатель был равен 6,5%, в 2023-ем году же – 6,7%. Увеличилось и число предприятий, использующих интернет для оказания услуг клиентам; для переписки и размещения объявлений; для привлечения кадров. Увеличение их доли в общем объеме потребления интернета предприятиями в сравнении с 2019-ым годом составила 0,7 процентных пункта, 0,3 процентных пункта и 0,4 процентных пункта. Доля же предприятий, использующих интернет с целью проведения видеоконференций и использующих связь по IP-телефонии, а также проводящих тренинги сотрудникам, в общем объеме предприятий, использующих интернет в 2023-ем году, увеличилась в сравнении с 2019-ым годом на 2,7 и 1 процентных пункта, составив 4,1% и 3,3% соответственно (рис.4).

Если мы рассмотрим предприятия по отдельным видам экономической деятельности, уточнив при этом цели использования интернета, можно заметить, что самая высокая доля предприятий, использующих интернет с целью отправки, либо получения электронных писем, в 2023-ем году пришлась на предприятия производства, распределения и снабжения электроэнергией, газом и паром (30,6% всех этих предприятий использовали интернет с этой целью), а также на организации государственного управления и защиты (27,8% от общего числа всех организаций государственного управления и защиты, которые используют интернет). Самая высокая для предприятий, использующих интернет в целях получить ту или иную информацию от государственных органов управления, принадлежит организациям государственного управления – 22,6% от общего числа всех организаций государственного управления и защиты, которые использовали интернет, применяли его в этих целях. В 2023-ем году самая высокая доля предприятий, пользующихся интернетом в целях потребления прочих финансовых услуг, также принадлежит организациям государственного управления и защиты (17,2% этих организаций, использующих интернет, использовали его с этой целью). Максимальная доля предприятий информации и связи потребляла интернет в 2023-ем году для того, чтобы переписываться по электронной связи (17,6% всех предприятий информации и связи, использующих интернет); 12,5% всех предприятий информации и связи, использующих интернет, потребляли его в целях интернет-банкинга; 11,5% всех предприятий информации и связи, использующих интернет, потребляли его с целью получения информации от государственных органов управления; 2,6% всех предприятий информации и связи, использующих интернет, в 2023-ем году использовали его с целью продажи товаров в реальном времени (рис.5).

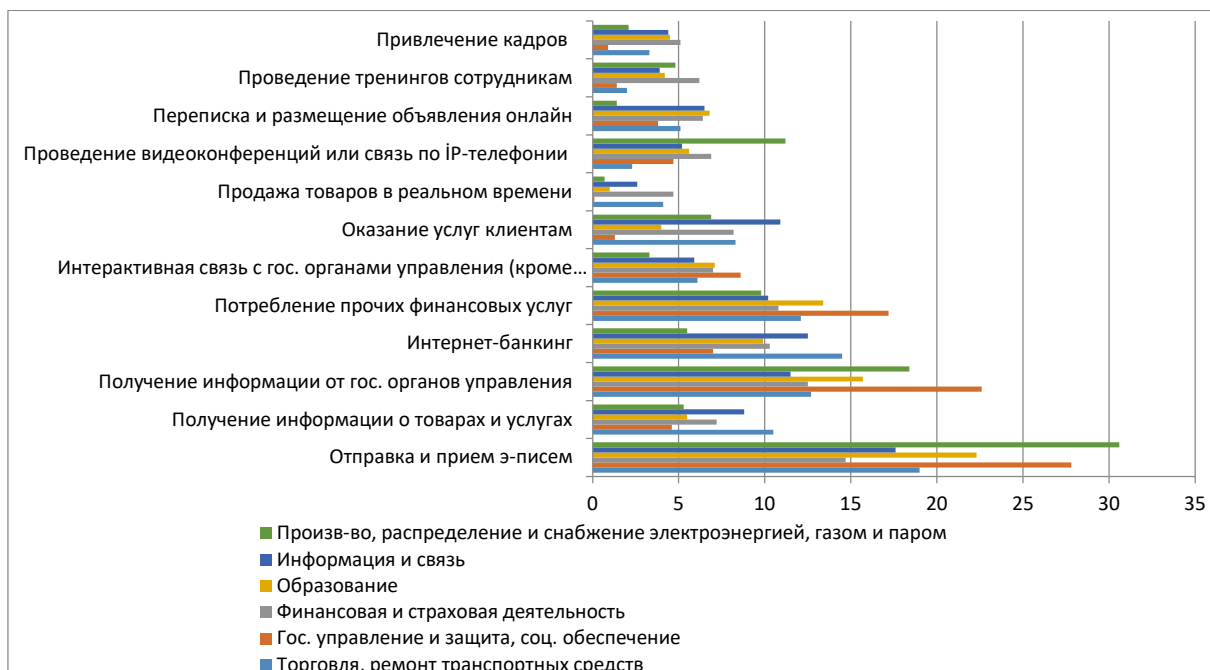


Рисунок 5. Распределение предприятий нескольких видов экономической деятельности по целям использования интернета (% от общего числа этих предприятий, использующих интернет), 2023 [6, с.64]

В целом, учитывая пользу от использования на предприятиях информационно-коммуникационных технологий, вопросы обеспечения наличия компьютеров, интернета, их активного применения в предпринимательской деятельности должны быть приоритетными.

Список использованной литературы

- Петрушина, А.А. (2022). РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ И КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СОВРЕМЕННЫХ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ СИСТЕМАХ // StudNet. №6. <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-informatsionnyh-i-kommunikatsionnyh-tehnologiy-v-sovremennyh-upravlencheskih-sistemah>
- Сайфутдинова, Н., Асимова, Ф., & Загидуллина, К. (2025). ЗНАЧИМОСТЬ ИКТ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ УЗБЕКИСТАНА. Interpretation and Researches, (5(51). <https://inlibrary.uz/index.php/international-scientific/article/view/80870>
- Suleiman, M.M., Surajo, A.Z., Matinja, Z.I. (2020). Role of ICT for Entrepreneurship Development in Nigeria / Kampala International University Interdisciplinary Journal of Humanities and Social Sciences, 1(2):97-111. DOI: 10.59568/KIJHUS-2020-1-2-07
- Assen, H.F. (2024). The Role of Information and Communication Technology on Entrepreneurship Growth in Low and Lower Middle Income Countries / SSRN. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4840382
- Gomes, S., Lopes, J.M. (2022). ICT Access and Entrepreneurship in the Open Innovation Dynamic Context: Evidence from OECD Countries / J. Open Innov. Technol. Mark. Complex. 2022, 8(2), 102; <https://doi.org/10.3390/joitmc8020102>
- AR DSK. Azərbaycanca rəqəmsal inkişaf, 2024, s. 52. <https://www.stat.gov.az/menu/6/statistical-yearbooks/source/digital-development-2024.pdf>

ДҮНИЕ ЖҮЗІНДЕГІ ЕҢ ІРІ АҚШАЛАЙ ЕСЕП АЙЫРЫСУ ЖҮЙЕЛЕРІ

Кумарханова Нургуль Нурмышовна

э.ғ.м., сеньор – лектор, Алматы технологиялық университеті

Джаксылыкова Акмарал Қуандыққызы

Алматы технологиялық университеті, факультет «Экономика және бизнес», Қаржы мамандығы 3 курс студенті

Аңдатпа

Бұл мақалада халықаралық деңгейде кең қолданылатын Visa, Mastercard және UnionPay ақшалай есеп айырысу жүйелерінің қалыптасу ерекшеліктері мен қазіргі қаржы нарығындағы орны қарастырылады. Қолма-қол ақшасыз есеп айырысулардың дамуы төлем жүйелерінің құрылымы мен қызмет ауқымын түбегейлі өзгертті. Зерттеу барысында аталған төлем жүйелерінің жұмыс істеу қағидаттары, географиялық таралуы және экономикалық ықпалына салыстырмалы талдау жасалады. Visa мен Mastercard жүйелері жаһандық нарықта трансұлттық сипатымен ерекшеленсе, UnionPay аймақтық негізде дамып, халықаралық деңгейде белсенді кеңею үрдісін көрсетуде. Мақалада төлем карталары арқылы жүзеге асатын операциялардың қауіпсіздігі, жылдамдығы және сенімділігі қаржы айналымының тұрақтылығына әсер ететін негізгі факторлар ретінде қарастырылады. Зерттеу нәтижелері халықаралық төлем жүйелерінің әлемдік қаржы инфрақұрылымындағы маңызын анықтауға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: ақшалай есеп айырысу жүйелері, халықаралық төлемдер, банк жүйесі, қаржы нарығы, электрондық төлемдер, трансшекаралық операциялар

Кіріспе. Қазіргі заманғы экономикалық кеңістікте төлемдерді жүзеге асыру тәсілдері түбегейлі өзгеріске ұшырап отыр. Қолма-қол ақшаның үлесі біртіндеп азайып, оның орнын электрондық және карталық төлемдер басты. Бұл үдеріс тек технологиялық жаңару емес, сонымен қатар тұтас қаржы жүйесінің құрылымын қайта қарауды талап ететін экономикалық құбылыс болып табылады. Әсіресе халықаралық сауда көлемінің өсуі, электрондық коммерцияның кеңеюі және шекарааралық операциялардың жиілеуі ақшалай есеп айырысу жүйелерінің маңызын бұрынғыдан да арттырды.

Бүгінде Visa, Mastercard және UnionPay сияқты халықаралық төлем жүйелері күнделікті қаржы айналымының ажырамас бөлігіне айналды. Аталған жүйелер тек төлем құралы ретінде емес, банктік қызметтердің қолжетімділігін арттыратын, қаржы тәртібін қалыптастыратын және тұтынушылық мінезқұлыққа әсер ететін маңызды экономикалық тетік ретінде қызмет атқарады. Олардың қызмет ету логикасы елдердің қаржы саясатына, цифрлық экономиканың дамуына және халықаралық қарым-қатынастардың сипатына тікелей ықпал етеді [1].

Зерттеу тақырыбының өзектілігі осы төлем жүйелерінің жаһандық қаржы инфрақұрылымындағы орнын, даму ерекшеліктерін және экономикалық ықпалын жан-жақты талдау қажеттілігімен байланысты. Әсіресе әр жүйенің қалыптасу алғышарттары мен аймақтық басымдықтарын салыстыру қазіргі таңда маңызды ғылыми және практикалық мәнге ие.

Зерттеудің негізгі мақсаты – Visa, Mastercard және UnionPay төлем жүйелерінің қызмет ету ерекшеліктерін талдап, олардың әлемдік ақшалай есеп айырысу жүйесіндегі рөлін

анықтау. Осы мақсатқа қол жеткізу үшін жүйелердің даму бағыты, қолдану ауқымы және қаржы айналымына әсері қарастырылады.

Ақшалай есеп айырысу жүйелері қаржы инфрақұрылымының негізгі элементі ретінде экономикалық әдебиеттерде кеңінен қарастырылады. Ғалымдардың еңбектерінде бұл жүйелер қаржы ағымдарының үздіксіз қозғалысын қамтамасыз ететін институционалдық тетік ретінде сипатталады. Қазіргі кезеңде есеп айырысу жүйелерінің эволюциясы цифрландыру үдерісімен және халықаралық экономикалық қатынастардың тереңдеуімен тығыз байланысты [2].

Visa мен Mastercard жүйелерінің теориялық негіздері төлем карталарының дамуын зерттеген батыс экономистердің еңбектерінде көрініс тапқан. Saunders, Gorton, Mishkin еңбектерінде аталған жүйелер нарықтық экономика жағдайында қолма-қол емес төлемдерді кеңейтудің тиімді құралы ретінде бағаланады. Бұл авторлар карталық төлем жүйелері транзакциялық шығындарды қысқартып, қаржы операцияларының ашықтығын арттыратынын атап өтеді. Төлем жүйелерінің сенімділігі мен жылдамдығы қаржы нарығындағы тұрақтылықты сақтаудың маңызды шарты ретінде қарастырылады [3].

UnionPay жүйесіне қатысты ғылыми зерттеулерде оның дамуы мемлекеттің қаржы секторындағы белсенді рөлімен байланыстырылған. Қытайлық экономистер UnionPay-дің қалыптасуын ұлттық қаржы қауіпсіздігін қамтамасыз ету құралы ретінде сипаттайды. Бұл жүйе ішкі нарықты қорғау мен халықаралық қаржы кеңістігіне шығу мақсаттарын қатар жүзеге асырған үлгі ретінде ұсынылады. Халықаралық әдебиеттерде UnionPay аймақтық төлем жүйесінен жаһандық деңгейге өту жолындағы бірегей модель ретінде бағаланады [4].

Халықаралық есеп айырысу банкі мен Дүниежүзілік банк жариялаған баяндамаларда карталық төлем жүйелері қаржы нарығы инфрақұрылымының тұрақтылығына тікелей әсер ететін фактор ретінде көрсетіледі. Бұл ұйымдардың деректерінде төлем жүйелерінің сенімді жұмысы қаржы дағдарыстарының алдын алу мүмкіндігін арттыратыны дәлелденген. Ғылыми еңбектерді талдау Visa, Mastercard және UnionPay жүйелерінің әртүрлі экономикалық модельдер аясында дамығанын және әлемдік ақшалай есеп айырысу жүйесінде өзіндік орны бар екенін көрсетеді [5].

Қазіргі жаһандық қаржы кеңістігінде Visa, Mastercard және UnionPay төлем жүйелері қолма-қол ақшасыз есеп айырысудың негізгі тетіктері ретінде қалыптасты. Бұл жүйелердің қызметі банк секторымен, сауда ұйымдарымен және тұтынушылармен тығыз байланысқан күрделі инфрақұрылымға негізделген. Әр жүйенің даму жолы мен нарықтағы орны экономикалық және институционалдық ерекшеліктерге тәуелді түрде қалыптасты [6].

Visa төлем жүйесі халықаралық операцияларды өңдеу көлемі мен географиялық қамту аймағы бойынша жетекші орын алады. Оның инфрақұрылымы трансшекаралық төлемдерді өңдеуге бейімделген және валюталық операцияларда жоғары тұрақтылық көрсетеді. Visa карталары электрондық коммерция саласында кеңінен қолданылып, интернет арқылы төлем жүргізудің негізгі құралдарының біріне айналған [7].

Mastercard жүйесі төлем технологияларын енгізу қарқынымен ерекшеленеді. Бұл платформа деректерді өңдеу, қауіпсіздік алгоритмдері және тұтынушылық аналитика бағытында инновациялық шешімдерді белсенді қолданады. Mastercard-тың қаржы ұйымдарымен серіктестік моделі төлем операцияларының икемділігін арттырып, нарықтағы бәсекелестікті күшейтті [8]. UnionPay төлем жүйесінің ерекшелігі оның мемлекеттік қолдауға негізделген даму моделінде көрініс табады. Алғашында Қытайдың ішкі нарығына бағытталған бұл жүйе уақыт өте келе Азия және басқа аймақтарға тарала бастады. UnionPay аймақтық экономикалық интеграция құралдарының бірі ретінде қарастырылып, ұлттық валютамен есеп айырысу үлесін кеңейтуде маңызды рөл атқарады.

1-кесте – Visa, Mastercard және UnionPay төлем жүйелерінің салыстырмалы сипаттамасы

Көрсеткіш	Visa	Mastercard	UnionPay
Қызмет ету ауқымы	Жаһандық	Жаһандық	Аймақтық–халықаралық
Негізгі нарық	АҚШ, Еуропа	АҚШ, әлем елдері	Қытай, Азия

1 – кестенің жалғасы

Технологиялық бағыты	Транзакция тұрақтылығы	Инновациялық шешімдер	Ұлттық инфрақұрылым
Экономикалық рөлі	Жоғары	Жоғары	Өсіп келе жатқан

Кестеде халықаралық төлем жүйелерінің нарықтағы орны, даму бағыты және экономикалық ықпалы салыстырылып көрсетілген.

Талдау нәтижелері аталған төлем жүйелерінің әрқайсысы әлемдік ақшалай есеп айырысу кеңістігінде өзіне тән функция атқаратынын көрсетеді. Visa мен Mastercard ғаламдық қаржы айналымының тұрақтылығын қамтамасыз етуге басымдық берсе, UnionPay аймақтық экономикалық тәуелсіздікті күшейту құралы ретінде дамып отыр.

Жүргізілген зерттеу нәтижелері халықаралық төлем жүйелері қазіргі ақшалай есеп айырысу инфрақұрылымының негізгі тірегі екенін дәлелдейді.

Visa, Mastercard және UnionPay жүйелерінің қызметі қолма-қол ақшасыз төлемдердің кеңеюіне, қаржы айналымының жеделдеуіне және экономикалық қатынастардың ашықтығына ықпал етуде [9]. Бұл төлем платформалары тек техникалық құрал ғана емес, экономикалық және институционалдық фактор ретінде қалыптасқан.

Талдау Visa мен Mastercard жүйелерінің жаһандық қаржы нарығында тұрақты позицияға ие екенін көрсетті. Олардың кең географиялық қамтуы, дамыған технологиялық инфрақұрылымы және банктермен тығыз серіктестігі халықаралық төлемдердің басым бөлігін өңдеуге мүмкіндік береді. Бұл жүйелер электрондық коммерцияның дамуына және трансшекаралық операциялардың жеңілдеуіне айтарлықтай әсер етеді. Нарықтық модельге негізделген бұл платформалар бәсекелестік ортаны күшейтіп, қаржы қызметтерінің сапасын арттыруға жағдай жасайды.

UnionPay жүйесінің дамуы өзге сипатқа ие. Оның қалыптасуы ұлттық қаржы секторын қорғау және ішкі нарықтағы есеп айырысуларды орталықтандыру мақсатымен тығыз байланысты [10]. Кейінгі кезеңде UnionPay халықаралық кеңістікке шығып, аймақтық экономикалық ықпалын арттыра бастады. Бұл жүйе мемлекет қолдауымен дамитын төлем модельдерінің тиімділігін көрсететін мысал ретінде бағаланады.

Әдебиеттер тізімі:

1. Bank for International Settlements. *Principles for Financial Market Infrastructures*. Basel: BIS, 2012.
2. Saunders A., Cornett M. *Financial Institutions Management*. New York: McGraw-Hill, 2020.
3. Gorton G. *Slapped by the Invisible Hand*. Oxford: Oxford University Press, 2010.
4. World Bank. *Financial Consumer Protection and Payment Systems*. Washington, 2018.
5. Federal Reserve System. *Fedwire Funds Service Reference Manual*. Washington, 2020.
6. Bank of Japan. *Payment and Settlement Systems in Japan*. Tokyo, 2019.
7. IMF. *Global Financial Stability Report*. Washington, 2022.
8. UnionPay International. *Annual Report*. Shanghai, 2021.
9. Visa Inc. *Global Payments Study*. San Francisco, 2020.
10. Mastercard Incorporated. *Digital Payments and Economic Growth*. New York, 2019.

Accounting for Foreign Exchange Differences

Kumarkhanova Nurgul

Master of Economics, Senior Lecturer, Almaty Technological University, Department of Accounting and Finance

Abstract

This article examines the specific aspects of accounting for foreign exchange differences arising from the purchase of materials from foreign suppliers. As a practical example, the procurement of raw materials for the production of plastic cards from a Russian counterparty with settlements denominated in Russian rubles is analyzed. The article describes the procedures for recognizing assets, liabilities, and foreign exchange differences in accounting records.

Terminology

Closing rate – the current exchange rate at the end of the reporting period.

Foreign exchange difference – the difference resulting from translating a given number of units of one currency into another currency using different exchange rates.

Exchange rate – the ratio at which one currency is exchanged for another.

Fair value – the price that would be received to sell an asset or paid to transfer a liability in an orderly transaction between market participants at the measurement date (see IFRS 13 Fair Value Measurement).

Foreign currency – a currency other than the entity's functional currency.

Foreign operation – an entity that is a subsidiary, associate, joint venture, or branch of the reporting entity, whose activities are based or conducted in a country or currency different from that of the reporting entity.

Functional currency – the currency of the primary economic environment in which the entity operates.

Group – a parent entity and all its subsidiaries.

Monetary items – units of currency held and assets and liabilities to be received or paid in a fixed or determinable number of currency units.

Net investment in a foreign operation – the reporting entity's interest in the net assets of that operation.

Presentation currency – the currency in which the financial statements are presented.

Spot exchange rate – the exchange rate for immediate delivery.

Introduction

Under conditions of international trade, companies frequently conduct transactions in foreign currencies, which leads to the emergence of foreign exchange differences. Transactions denominated in Russian rubles are particularly relevant due to the volatility of the ruble exchange rate. Proper accounting treatment of foreign exchange differences is necessary to ensure the reliable presentation of financial results.

Theoretical Foundations of Accounting for Foreign Exchange Differences

IAS 21 The Effects of Changes in Foreign Exchange Rates

An entity may conduct foreign currency activities in two ways: by entering into transactions denominated in foreign currencies or by operating through foreign operations. In addition, an entity may present its financial statements in a foreign currency. The objective of IAS 21 is to

prescribe how foreign currency transactions and foreign operations should be included in the financial statements of an entity and how financial statements should be translated into a presentation currency.

The principal issues are determining which exchange rate(s) to use and how to report the effects of changes in exchange rates in financial statements.

According to IAS 21 *The Effects of Changes in Foreign Exchange Rates*, foreign currency transactions must initially be recorded at the spot exchange rate on the transaction date.

Foreign exchange differences arise from:

- the translation of monetary items at the reporting date;
- the settlement of liabilities at exchange rates different from those applied at initial recognition.

Foreign exchange differences may be classified as:

- positive exchange differences (income);
- negative exchange differences (expense).

In Kazakhstan, the following regulations are also applied:

- the Law of the Republic of Kazakhstan *On Accounting and Financial Reporting*;
- National Financial Reporting Standards (NFRS).

Translation of Foreign Exchange Differences

According to IAS 21, translation is performed in the following cases:

1. On Initial Recognition of the Transaction

Any foreign currency transaction is translated into tenge using the official exchange rate on the transaction date.

For example, if accounts payable amounting to USD 10,000 are recognized, they are recorded in accounting records in tenge using the exchange rate applicable on that date.

2. At Each Reporting Date

If the liability remains unsettled at the end of a month, quarter, or year, it is translated using the closing exchange rate. The difference between the previous tenge valuation and the new valuation constitutes a foreign exchange gain or loss for the reporting period.

3. On the Settlement Date of the Liability or Receivable

When actual settlement occurs (payment to a supplier, loan repayment, or receipt from a customer), the amount in tenge is determined using the exchange rate on the payment date. The difference between the previously recognized amount and the actual payment is also recognized as a foreign exchange difference.

Thus, a foreign exchange difference on a monetary item may arise several times:

- upon remeasurement at the reporting date;
- upon final settlement.

If the item is non-monetary, its value is not subsequently translated after initial recognition at the transaction-date exchange rate (when measured at historical cost), and no foreign exchange differences arise.

The underlying logic is straightforward:

- As long as there is an obligation to pay or receive a fixed amount of foreign currency, exchange rate risk exists, and therefore foreign exchange differences arise.
- Once the monetary obligation no longer exists, the foreign currency risk also ceases.

Practical Example

A Kazakhstan LLP purchases materials for the production of plastic cards from a supplier in Russia.

1. Receipt of Materials

Transaction: recognition of materials and accounts payable

Amount: $1,000,000 \text{ RUB} \times 5 = 5,000,000 \text{ KZT}$

Table 1 Journal Entry

Debit	Credit	Amount (KZT)
Dr 1310 "Materials"	Cr 3310 "Suppliers"	5,000,000

Trial Balance Impact:

- Account 1310 shows a debit balance of 5,000,000 KZT (increase in assets).
- Account 3310 shows a credit balance of 5,000,000 KZT (liability to supplier).

2. Foreign Exchange Difference (on Payment Date)

The exchange rate increases to 5.5.

New valuation of liability: $1,000,000 \times 5.5 = 5,500,000 \text{ KZT}$

Previous valuation: 5,000,000 KZT

Difference: 500,000 KZT (expense)

Table 2 Journal Entry

Debit	Credit	Amount (KZT)
Dr 7430 "Foreign Exchange Losses"	Cr 3310 "Suppliers"	500,000

Trial Balance Impact:

- Account 3310 increases to 5,500,000 KZT on the credit side.
- Account 7430 records a debit balance of 500,000 KZT (expense of the period).

3. Payment to the Supplier

The liability is settled at the actual exchange rate of 5.5.

Payment amount: 5,500,000 KZT

Table 3 Journal Entry

Debit	Credit	Amount (KZT)
Dr 3310 "Suppliers"	Cr 1030 "Cash at Bank"	5,500,000

Trial Balance Impact:

- Account 3310 is closed (balance equals zero since the liability has been settled).
- Account 1030 decreases by 5,500,000 KZT (cash outflow).

Table 4 Final Balances in the Trial Balance

Account	Result
1310 "Materials"	Debit balance of 5,000,000 KZT
3310 "Suppliers"	Closed (0)
1030 "Cash at Bank"	Decrease of 5,500,000 KZT
7430 "Foreign Exchange Losses"	500,000 KZT

Final Result

- Cost of materials: 5,000,000 KZT
- Foreign exchange loss: 500,000 KZT
- Total cash outflow: 5,500,000 KZT

Accounting Features

1. Materials are recognized at historical cost and are not subsequently revalued.
2. Foreign exchange differences are recognized in profit or loss for the period.
3. No foreign exchange differences arise on advance payments because advances are considered non-monetary items.
4. The impact of foreign exchange differences becomes particularly significant in cases of long payment deferrals.

Conclusion

Foreign exchange differences constitute an important element in accounting for foreign economic transactions. Their proper recognition ensures the reliability of financial statements and enables an objective assessment of a company's financial performance.

References

1. IAS 21 *The Effects of Changes in Foreign Exchange Rates*.
2. Law of the Republic of Kazakhstan dated February 28, 2007 No. 234-III *On Accounting and Financial Reporting*.
3. National Financial Reporting Standards of the Republic of Kazakhstan (NFRS).
4. Tax Code of the Republic of Kazakhstan (current edition).
5. Chart of Accounts for Accounting.
6. uchet.kz
7. cdb.kz

Жасанды интеллекті экономикада қолдану теориялары

Райханова Г.А.

Е.А.Букетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

Жасанды интеллекттің заманауи технологиялары, және оларды экономикада қолдану тақырыбы өте өзекті және сұранысқа ие болып қала береді. Жасанды интеллекттің қарқынды дамуы мен оның бизнестің әртүрлі салаларына интеграциялануын ескере отырып, экономика оның әсерін сезініп қана қоймай, оны процестерді оңтайландыру, өнімділікті арттыру және жаңа мүмкіндіктер жасау үшін белсенді қолданады.

Жасанды интеллект корпорацияларға күнделікті және қайталанатын бизнес-процестерді автоматтандыруға мүмкіндік береді. Бұл еңбек шығындарының айтарлықтай төмендеуіне, тиімділіктің артуына және тапсырмалардың орындалуын жеделдетуге әкеледі. AI технологиялары компанияларға үлкен деректерді талдауға сүйене отырып, негізделген стратегиялық шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді. Машиналық оқытудың қуатты алгоритмдері трендтерді анықтауға, нарықтағы өзгерістерді болжауға және өзгерістерге бейімделуге көмектеседі. Корпоративтік стратегияларда AI пайдалану тұтынушылармен жеке қарым-қатынас жасауға мүмкіндік береді. Деректерге негізделген ұсыныстар мен виртуалды көмекшілер қанағаттану мен адалдықты арттыру арқылы тұтынушы тәжірибесін жақсартады. AI жаңа өнімдер мен қызметтерді зерттеу және әзірлеу процесіне белсенді қатысады. Деректерді талдау және машиналық оқыту технологиялары инновациялық шешімдерді ұсына отырып, нарық қажеттіліктерін анықтауға мүмкіндік береді. AI-ді өз стратегияларына біріктіретін корпорациялар киберқауіптермен тиімді күреседі. Машиналық оқыту алгоритмдері деректердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету арқылы кибершабуылдарды анықтауға және алдын алуға көмектеседі. AI технологиялары деректерді тиімді басқару мен талдауды қамтамасыз етеді. Бұл негізделген шешімдер қабылдау, нарық талаптарына бейімделу және қауіпсіздік стандарттарын сақтау үшін қажет. AI интеграциясы қызметкерлер үшін жаңа мүмкіндіктер жасайды. Оқыту және қайта даярлау қызметкерлерге жаңа технологиялармен жұмыс істеуге мүмкіндік береді, бұл стратегиялық міндеттерге уақыт бөледі. Корпоративтік стратегияларға жасанды интеллект технологияларын енгізу бизнесті басқару және дамыту тәсілдерін өзгерте отырып, орасан зор экономикалық әлеуетті қамтамасыз етеді. Икемді бейімделетін және AI артықшылықтарын пайдаланатын компаниялар қазіргі экономикалық ортада тиімділіктің, инновацияның және бәсекеге қабілеттіліктің жаңа деңгейіне шығады.

Жасанды интеллекттің пайда болуын 20 ғасырдың ортасынан бастап, компьютер ғалымдары адамдар сияқты ойлауға және үйренуге болатын машиналарды жасай бастаған кезде байқауға болады. Бастапқыда AI аймағы адам миынан және адам миының ақпаратты қалай өңдейтінін имитациялау үшін машина жасауға болады деген идеядан шабыттанды.

1956 жылы Джон Маккарти, Марвин Минский және Клод Шеннон сияқты компьютерлік ғалымдар тобы жасанды интеллект терминін жасанды интеллекттің отаны болып саналатын Дартмут конференциясы кезінде енгізді. AI-дің алғашқы зерттеулері машиналар шешім қабылдау үшін алдын-ала белгіленген ережелер жиынтығын ұстанатын ережелерге негізделген жүйелерге бағытталған.

Инновациялық құралдар немесе инновациялар-бұл нарықта сатылатын жаңа немесе жетілдірілген өнім немесе тәжірибеде қолданылатын жетілдірілген процесс ретінде жүзеге

асырылатын инновациялық қызметтің түпкілікті нәтижесі [1]. Көптеген авторлар инновацияның анықтамасын түсіндіруге басқаша қарайды. Мысалы, А. Кулагин және В. Логинов инновацияны өнеркәсіптік, институционалдық, қаржылық, ғылыми – техникалық және басқа салалардағы инновациялар, инновациялар деп санайды [2]. Цифрлық инновациялар әртүрлі техникалық шешімдерді қамтитын бірнеше түрге бөлінеді.

21 ғасырда жаңа технологиялар мен ғылыми-техникалық прогресс адам өмірінің көптеген салаларына айтарлықтай әсер етеді және экономика да ерекшелік емес. Интернеттің пайда болуымен (1983 ж., Жергілікті желілерді біріктіру процесі аяқталды және бірыңғай біріктірілген "интернет" деректер желісі орнатылды) макродеңгейде де, жеке компаниялар деңгейінде де көптеген процестер өзгерді және жеңілдеді деп санауға болады. Көптеген жасанды интеллект жүйелері жұмысты адамға қарағанда тезірек, дәлірек және арзан етеді. Технологияларды дамытудың қазіргі кезеңінде тиімділіктің жоғары дәрежесін және тәуекелдерді азайтуды қамтамасыз ететін құралдар қалыптасуда. Ең маңызды ғылыми-техникалық әзірлемелердің бірі жасанды интеллектті құру және енгізу, сондай-ақ оны өнеркәсіп пен бизнесте одан әрі пайдалану деп санауға болады. 1980 жылы Барр мен Эдвард Файгенбаум сипаттайтын термин құрды жасанды интеллект қарапайым қарапайым адамдарға түсіну үшін жеткілікті. Жасанды интеллект (AI) – бұл интеллектуалды компьютерлік жүйелерді, яғни біз дәстүрлі түрде адам санасымен байланыстыратын мүмкіндіктерге ие жүйелерді – тілді түсіну, оқыту, ойлау, мәселені шешу және өзін-өзі дамыту қабілеттерін дамытатын информатика саласы [4]. Жасанды интеллектті сипаттайтын Термин бұлыңғыр және көптеген авторлар оған басқаша қарайды, мысалы, Британдық математик Алан Тьюринг сұрақ қоюшы адамның жауаптарын компьютердің жауаптарынан ажырата алмайтын жағдайды компьютерлік интеллекттің "шынайы" белгісі деп санады. Осы анықтамалар мен пікірлердің жиынтығы жасанды интеллекттің басты белгісін – өзін-өзі оқыту қабілетін анықтауға көмектеседі. Дәл осы белгі 21 ғасырдағы ғылыми-техникалық революцияның негізін қалаушы болып саналады.

Жасанды интеллект және нейрондық желілер әдістері қарапайым зерттеулерден бастап болжау, көптеген деректерді өңдеу, тәуекелдерді басқару, өндіріс пен режимді оңтайландыру, ақауларды визуалды тану және т.б. сұрақтарға дейін әртүрлі салаларда белсенді қолданылады. Жасанды интеллектті пайдалану дамыған және дамушы елдер арасындағы алшақтықты тудырады, ал микро деңгейде жасанды интеллектті пайдаланатын компаниялар мен жаңа технологияларды енгізбейтіндер немесе енгізу процесінде жүргендер арасында терең алшақтық бар. Технологиялық алшақтықтан басқа, еңбек нарығында теңгерімсіздік бар. Жасанды интеллект адамдар бірнеше себептерге байланысты орындай алмайтын шаблондық тапсырмалар мен жұмыстарды орындайтын адамдарды алмастыра алады. Көптеген адамдар шығармашылық жұмысты адамдардан басқа ешкім жасай алмайды деп санайды, бірақ кейбір салалардағы заманауи нейрондық желілер көмектесе алады, кейде адамды алмастыра алады. Осылайша, жасанды интеллект пен нейрондық желілерді тиімсіз енгізу әлемдік экономикалар, компаниялар, еңбек нарығындағы жұмысшылар арасындағы қарапайым шаблондық міндеттерді шешуде ғана емес, сонымен қатар кейбір шығармашылық жұмыстарда экономикалық алшақтықты тудыруы мүмкін. Жасанды интеллекттің даму ауқымы сияқты ұғым бар, ол оның әлемдік экономикаға әсер ету дәрежесін анықтайды. Жасанды интеллект әлсіз AI (weak AI) және күшті AI (strong AI) болып бөлінеді. Әлсіз жасанды интеллект шектеулі экономикалық әсер етеді, өйткені оның рөлі қарапайым, күнделікті міндеттерді шешуге байланысты, мысалы, суретте не бейнеленгенін анықтау немесе дауыстың дыбысын тиісті мәтінге аудару. Күшті AI айтарлықтай бар экономикалық адамның ақыл-ой қабілеттеріне ұқсас роботтарды (машиналар, компьютерлер) құруға байланысты көптеген мәселелерді шешуге байланысты әсер ету, яғни ақпаратты пайдалану ғана емес, сонымен бірге оның мағынасын белгілі бір

дәрежеде түсіну [5]. Ұйымның өзі өзінің бизнес–процестерінде жасанды интеллекттің қандай түрін қолдануды таңдайды. Әдетте, таңдау қолдану саласына негізделген, өйткені AI-нің әр түрінің өзіндік жұмыс ерекшеліктері бар.

Кейбір сарапшылардың бағалауы бойынша жасанды интеллект келесі салаларда кеңінен қолданылады:

- нысандар мен әрекеттер мен кескіндерді түрлендіретін компьютерлік көрудің таралуы. Бұл әдісті, мысалы, автомобильдің қауіпсіздік жүйесінде немесе сандық егіздерді құруда қолдануға болады (weak AI, strong AI);

- "ақыл" деп аталатын виртуалды көмекшілерді құру (strong AI);

- компьютерлерге адамның сөйлеуін тануға, түсінуге және талдауға, сондай-ақ дыбысты мәтінге түрлендіруге мүмкіндік беретін тілді өңдеуді жетілдіру (weak AI);

- машиналарға адамның қатысуынсыз жұмыс істеуге мүмкіндік беретін алгоритмдер арқылы аналитикалық модельдерді автоматты түрде құру, мысалы, ұшқышсыз көлікті дамыту (weak AI) + (strong AI).

Жасанды интеллект құрған функцияларды енгізу елдердің және жалпы әлемдік экономиканың экономикалық дамуына айтарлықтай әсер етеді. Американдық мамандар компьютерлік көру, табиғи тіл, виртуалды көмекшілер, роботты процестерді автоматтандыру және жетілдірілген машиналық оқытуды қамтитын ең кең таралған жасанды интеллект технологияларын зерттеді. Талдау мен есептеулер нәтижесінде 2030 жылға қарай үш мың сауалнамаға қатысқан американдық компаниялардың шамамен 70% - ы жасанды интеллекттің кем дегенде бір түрін енгізе алады және компаниялардың кем дегенде жартысы өз жұмысында барлық бес түрді қолдана алады деген қорытындыға келді. Жаһандық Институт McKinsey (McKinsey Global Institute) компаниясының зерттеулерін бағалады және жасанды интеллект технологиялары 2030 жылға қарай ЖІӨ-нің қосымша 13 трлн долларлық өсуін қамтамасыз ете алады деген қорытындыға келді, бұл еңбек өнімділігінің шамамен 1,2% өсуін білдіреді. Бұл жағдайда жасанды интеллекттің әсерін әлем тарихындағы басқа да маңызды жаңалықтар мен технологиялардың әсерімен салыстыруға болады. Мысал ретінде 19 ғасырда бу қозғалтқыштарының енгізілуін келтіруге болады, нәтижесінде жылдық еңбек өнімділігі 0,3% – ға өсті, 20 ғасырда роботтардың пайда болуы-0,4%-ға өсті және 21 ғасырда (2024 жылдардың басында) жаңа ақпараттық – коммуникациялық технологиялардың пайда болуы-0,6% - ға өсті [6]. Сонымен қатар, зияткерлік жүйелерді дамытуға байланысты күш-жігер мен шығындарды өткен ғасырдың 50-ші жылдарында ядролық қаруды жасауға бағытталған күш-жігермен салыстыруға болады.

Қаржы саласы, әлемдік экономиканың және өмір сүріп жатқан әлемнің қозғаушы күші болып табылады. 21 ғасырдағы цифрлық серпіліспен бірге бұл сектор да түбегейлі өзгерістерге ұшырады. Өткен ғасырда жұмыс істеуге тұра келген нәрсе қазір цифрлық ұрпақ үшін мүмкін емес болып отыр.

Мысалы, клиенттердің мінез-құлқы қалай өзгергенін алайық. Шот иелері бүгінде банктерге күнделікті операциялар жасау үшін жиі бармайды. Банктер сонымен қатар клиенттердің заманауи сұраныстарын қанағаттандыру үшін қызметтерін өзгертті. Дәл осы сәтте трансформацияның жаңа кезеңі пайда болады, яғни жасанды интеллект шығады. Чатботтар мен процестерді роботтандырылған автоматтандыру — бұл нарықтың қаржылық сегментінде қарқын алатын AI-нің көптеген түрлерінің бірі.

Басқа салалардан айырмашылығы, банк және қаржы секторлары клиенттерге қызмет көрсету тұрғысынан әрқашан артта қалды деп саналды. Қазіргі цифрлық дәуірде банктер бұл қызметтерді жеке кездесу кезінде емес, цифрлық медиа арқылы көрсетеді деп күтілуде.

Чатботтар мен нақты уақыттағы байланыс бағдарламалық жасақтамасы осы бағытты дамытудың бастапқы нүктесі болды. Чатботтар-алдын ала орнатылған ережелер негізінде жұмыс істейтін AI бағдарламалары. Олардың неғұрлым жетілдірілгендеріне клиенттермен

үнемі сөйлесуге және оларға қызмет көрсету схемасын құруға мүмкіндік беретін терең оқыту мүмкіндіктерін қосуға болады.

Қаржы саласында чатботтарды пайдаланудың басты артықшылығы-олар ыңғайлылық пен жедел жеке қолдауды ұсынады. Деректер олардың сату конверсиясын 35% - ға арттыра алатынын көрсетеді.

Әрбір қарапайым пайдаланушы электрондық кестелермен жұмыс істей алмайды, әсіресе жеке бюджетті жүргізу үшін. Бұл жеке қаржыны басқаруға арналған мобильді және веб-қосымшалардың танымал болуының себептерінің бірі.

Жасанды интеллект және машиналық оқыту осы қызметтердің ыңғайлылығын арттырады. Бұл бағыттағы AI мақсаты қарапайым. Күн сайын қаржылық жағдайымыз туралы қызықты фактілерді елемейміз, егер оларды біріктіріп, талдасаңыз, қаражатты ұйымдастырудың басқа да жақсы тәсілдеріне жарық түсіре аласыз.

Енді әлеуетті жинақтарды бағалауға және ағымдағы шығындар негізінде пассивті кірісті есептеуге көмектесетін қаржылық жағдайды басқарудың көптеген құралдарын таба аласыз. Күн сайын автономды қаржы жүйелерін шындыққа айналдыруға жақындай түсеміз.

Экономиканың жаңа бизнес-модельдері, негізгі нарықтық функцияларды жетілдіру сияқты, тұтастай алғанда табиғатты сақтауға, ресурстарды үнемдеуге бағытталған, бұл, сайып келгенде, адамзатты сақтау жолы ретінде тұрақты дамуды қамтамасыз етеді. Болып жатқан цифрлық трансформация тұрақты дамудың кепілі болып табылады.

AI акциялар бағасын болжау, тұтынушыларға жеке қызмет көрсету, тәуекелдерді анықтау, деректердің үлкен көлемін өңдеу және т.б. сияқты тапсырмаларды автоматтандыру үшін қолданылады. Ол сондай-ақ алгоритмдік сауда, алаяқтықты бақылау және алдын алу және т.б. сияқты жаңа қаржылық өнімдер мен қызметтерді әзірлеу үшін қажет.

PayPal алаяқтықты анықтау және алдын алу үшін жасанды интеллектті пайдаланады. Мысалы, күдікті төлемдерді анықтау үшін, әдеттен тыс IP-адресстерден немесе ұрланған несие карталарынан ақша аудару сияқты;

JPMorgan Chase бұл технологияны тәуекелдерді басқару үшін қолданады. Мысалы, банк жүйесі акциялар бағасының төмендеуін немесе қаржылық дағдарыстарды болжай алады;

Bank of America тұтынушыларға жекелендірілген қызмет көрсету үшін AI құралдарын пайдаланады, атап айтқанда, бұл олардың қажеттіліктеріне сәйкес келетін өнімдер мен қызметтер бойынша ұсыныстарға қатысты;

Wells Fargo несиелерді тексеру және акция бағасын болжау сияқты тапсырмаларды автоматтандыру үшін AI пайдаланады. Бұл компанияға ақша үнемдеуге және тиімділікті арттыруға көмектеседі;

Citibank автономды сауда жүйелері және жасанды қаржылық кеңесшілер сияқты жаңа өнімдер мен қызметтерді әзірлеу үшін жасанды интеллектті пайдаланады. Бұл компанияға бәсекелестіктен озып, клиенттердің қажеттіліктерін қанағаттандыруға көмектеседі.

Жасанды интеллекттің кейбір (қарабайыр модельдері болса да) өндіріс саласында 1960-70 жылдардан бері қолданылып келеді және осы ұзақ уақыт ішінде олар әр механикаландырылған процеске тереңірек еніп, тереңдей түсті.

Бұл роботты қолдар мен машиналар адамдармен қатар жұмыс істейді, бұл басқалармен қатар болжамды техникалық қызмет көрсетуді қолдануға мүмкіндік береді, бұл өндірушілерге машинаның қашан істен шығуы мүмкін екенін болжауға және техникалық қызмет көрсетуді жоспарлауға мүмкіндік береді.

Бұл күтпеген сәтсіздіктер мен тоқтап қалу ықтималдығын азайтады, компанияларға құнды уақыт пен ақшаны үнемдейді.

General Electric әдетте құрастыру және монтаждау сияқты адамдар орындайтын тапсырмаларды орындай алатын автономды роботтарды әзірлеу үшін AI пайдаланады.

Роботтар шаршамай немесе қателеспей 24/7 жұмыс істей алады. Бұл компанияға өндіріс желілерінің өнімділігін арттыруға және адам қателіктерін азайтуға көмектеседі;

Siemens AI-ді өндірістік желілердің тиімділігін бақылай алатын және олар елеулі болмай тұрып ықтимал мәселелерді анықтай алатын деректерді талдау жүйелерін әзірлеу үшін пайдаланады. Бұл жүйелер компанияға өз өнімдерінің сапасын жақсартуға және қалдықтарды азайтуға көмектеседі;

Toyota өндірістік желілерде жасалған бөлшектердің сапасын бақылай алатын "жасанды көру" жүйелерінде AI құралдарын пайдаланады.

Бизнестегі жасанды интеллект технологиясының маңызды артықшылықтарының бірі- деректердің үлкен көлемін жылдам және дәл өңдеу мүмкіндігі, бұл компанияларға нарықтық үрдістерді, тұтынушылардың қалауын және басқа да маңызды ақпаратты талдауды жеңілдетеді. Аналитика және машиналық оқыту жүйелері арқылы компаниялар өз клиенттерінің мінез-құлқы, қалауы және қажеттіліктері туралы құнды ақпарат ала алады, бұл өз кезегінде оларға мақсатты маркетингтік науқандар мен жақсы өнімдер жасауға көмектеседі.

Amazon өзінің қойма жұмысын оңтайландыру үшін жасанды интеллектті пайдаланады. Мысалы, тауарларға сұранысты болжау, тауарлы-материалдық құндылықтарды басқару және жүк көліктерін бағыттау үшін;

Walmart өзінің сатылымын оңтайландыру үшін AI қолданады, мысалы: ұсыныстарды жекелендіру, тауарларға сұранысты болжау және бағаны басқару. Бұл брендке сатылымды арттыруға және тұтынушылардың қанағаттанушылығын арттыруға мүмкіндік береді;

Netflix өзінің бейне ағындық қызметін оңтайландыру үшін AI пайдаланады, атап айтқанда: ұсыныстарды жекелендіру, клиенттердің әрі қарай не көретінін болжау және бейне сапасын басқару.

Айта кету керек, AI бүгінде белсенді даму сатысында (онжылдықтардағы баяу прогреспен салыстырғанда, біз қазір динамиканы көріп отырмыз). Ол біздің өмірімізді, атап айтқанда клиенттерге қызмет көрсету саласын төңкерген кезең-бұл жай ғана базалық деңгей.

Бүгінгі таңда машиналық оқыту технологиялық инновациялардың алдыңғы қатарында және оның қосымшалары біздің өмір сүру, жұмыс істеу және қоршаған әлеммен қарым-қатынасымызды өзгертеді. Денсаулық сақтаудан қаржы мен көлікке дейін Машиналық оқыту салаларды өзгертеді және бір кездері елестету мүмкін емес жолдармен прогреске ықпал етеді.

Нейрондық желілер-бұл адам миының құрылымы мен қызметінен шабыттанған Машиналық оқыту модельдерінің қуатты класы. Олар жасанды интеллект саласында төңкеріс жасап, компьютерлерге деректерден үйренуге, үлгілерді тануға және керемет дәлдікпен болжам жасауға мүмкіндік берді.

Нейрондық желілердің әртүрлі салалардағы рөлі өте зор: компьютерлік көруден бастап табиғи тілді өңдеуге және ойын ойнауға дейін. Компьютерлік көріністе ультра дәл нейрондық желілер кескінді жіктеу және нысанды анықтау сияқты тапсырмаларда адам деңгейіндегі өнімділікке қол жеткізе алды.

Табиғи тілді өңдеу кезінде қайталанатын нейрондық желілер мен түрлендіргіштер шынайы тілді сәтті жасайды, құжаттарды қорытындылайды және тілдерді аударады. Ойындарда нейрондық желілерді қолдана отырып күшейту жаттығулары компьютерлерді го және шахмат сияқты ойындарды адамнан тыс деңгейде ойнауға үйретуде айтарлықтай жетістіктерге әкелді.

Нейрондық желілердің үлкен көлемдегі деректерден үйрену және жаңа жағдайларды жалпылау қабілеті оларды медицина, қаржы және өндіріс сияқты әртүрлі салаларда маңызды құралға айналдырды. Жасанды интеллект саласы өсіп, дамып келе жатқандықтан,

күрделі нақты мәселелерді шешуде нейрондық желілердің рөлі одан да маңызды болуы мүмкін.

Терең оқыту эволюциясы соңғы бірнеше онжылдықта керемет саяхат болды. Жасанды нейрондық желілер идеясы алғаш рет 1940 жылдары енгізілді, бірақ компьютерлердің пайда болуымен ғана зерттеушілер олардың әлеуетін зерттеуге кірісті.

1980 жылдары кері таралу нейрондық желілерді оқытудың басым әдісіне айналды, бірақ есептеу қуаты шектеулі болғандықтан, бұл желілер тек таяз, бірнеше жасырын қабаттары болуы мүмкін. Алайда, 2000-шы жылдардың басында графикалық процессорлардың пайда болуымен үлкен жетістік болды, бұл әлдеқайда терең желілерді оқытуға мүмкіндік берді.

Бұл терең оқытудың жандануына және осы салаға деген қызығушылықтың артуына әкелді. Кейінгі жылдары терең оқыту, әсіресе компьютерлік көру, сөйлеуді тану және табиғи тілді өңдеу сияқты салаларда үлкен жетістіктерге жетті.

2012 жылы AlexNet архитектурасы ImageNet байқауында жеңіске жетті, содан бері терең оқыту модельдері көптеген қосымшаларда машиналық оқытудың дәстүрлі тәсілдерінен үнемі асып түсті. Бүгінгі таңда терең оқыту өзін-өзі басқаратын көліктерден виртуалды көмекшілерге дейін көптеген озық технологиялардың ажырамас бөлігі болып табылады.

Терең оқыту шешімдеріне сұраныс артқан сайын зерттеушілер жаңа әдістер мен архитектураларды зерттеуді жалғастыруда. Соңғы әзірлемелердің кейбіріне назар аудару механизмдері, генеративті модельдер және түрлендіргіштер кіреді.

Осы жетістіктер арқылы терең білім алу мүмкіндіктері шексіз болып көрінеді және Біз алдағы жылдары тек қызықты жаңа жетістіктерді күте аламыз.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1 Николенко, С.; Кадури, А.; Архангельская, Е. Глубокое обучение. СПб.: Питер, 2018. С. 480.

2. Степанова, Е.Н. Нейросетевое прогнозирование социально-экономического развития региона // Вологда: ВНКЦ ЦЭМИ РАН, 2004. С. 104.

2 Искусственный интеллект и универсальное мышление / А. С. Потапов. — СПб.: Политехника, 2018. — 711 с.: ил.

3 Богустов А. А. Искусственный интеллект как субъект права: аргументы к дискуссии / А. А. Богустов // Хозяйство и право. - 2021. - № 9. - С. 114-121.

4 Дейвенпорт Т. Внедрение искусственного интеллекта в бизнес-практику: преимущества и сложности : учебник / Т. Дейвенпорт; пер. с англ. З. Мамедьянова. - Москва : Сбербанк, 2019. - 250 с.

МЕМЛЕКЕТТІК БОРЫШТЫ БАСҚАРУДЫҢ ТИІМДІЛІК АУДИТІ: ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ЖОҒАРЫ АУДИТОРЛЫҚ ПАЛАТАСЫ ТӘЖІРИБЕСІ НЕГІЗІНДЕГІ ТАЛДАУ

Сапарханов Нұрбол Жұмағалиұлы

АННОТАЦИЯ

Мақалада Қазақстан Республикасының мемлекеттік борышын басқарудың тиімділік аудиті жан-жақты талданады. Зерттеу барысында тиімділік аудитінің «үнемділік», «өнімділік» және «нәтижелілік» («3Е») принциптері мемлекеттік борышты басқарудың нақты деректерімен ұштастырылып, Жоғары аудиторлық палатаның 2023 жылғы аудиторлық іс-шарасының нәтижелері негізінде жүйелі кемшіліктер анықталды. Халықаралық тәжірибені зерделеу арқылы Қазақстанның борыштық саясатын жетілдірудің ғылыми негізделген бағыттары ұсынылды.

Түйін сөздер: мемлекеттік борыш, тиімділік аудиті, «3Е» принциптері, Жоғары аудиторлық палата, борыштық тұрақтылық, фискалдық саясат.

КІРІСПЕ

Қазіргі жаһандану дәуірінде мемлекеттік борышты тиімді басқару ұлттық қаржылық қауіпсіздіктің ажырамас бөлігіне айналды. 2020–2021 жылдары соңғы 50 жылдағы ең елеулі борыш өсімі тіркеліп, әлемдік борыш жалпы ішкі өнімнің 256%-ына жетті. Қазақстан Республикасы да бұл үрдістен тыс қалған жоқ: мемлекеттік борыш 2017 жылмен салыстырғанда 1,9 есеге артып, 2023 жылғы 1 қаңтарда ЖІӨ-нің 24,8%-ын құрады.

Осы жағдайда мемлекеттік борышты басқарудың тиімділік аудиті — тек санды тексеріп қана қоймай, қарыз қаражатының экономикалық тиімділігін, оның әлеуметтік қайтарымын және болашақ ұрпаққа түсетін жүктемесін жүйелі бағалау процесі — стратегиялық маңызға ие болып отыр. Борышқа қызмет көрсету шығыстарының ағымдағы өсу қарқыны сақталса, 2041 жылдан бастап бұл шығыстар республикалық бюджет шығыстарының 100%-ына жетуі мүмкін екенін ескерсек, тиімділік аудитін дамытудың өзектілігі даусыз.

Осы мақалада Қазақстан Республикасының Жоғары аудиторлық палатасы жүргізген мемлекеттік борышты басқарудың тиімділік аудиті талданып, анықталған проблемалар кешені мен оларды шешудің ғылыми негізделген жолдары ұсынылады.

Тиімділік аудиті дәстүрлі қаржылық аудиттен принципті түрде ерекшеленеді. Егер қаржылық аудит «операциялар заңды жүргізілді ме?» деген сұраққа жауап берсе, тиімділік аудиті «бұл шешімдер мемлекет мүддесіне сай, үнемді, өнімді және нәтижелі болды ма?» деген стратегиялық сұраққа жауап іздейді.

INTOSAI-дың ISSAI 300 халықаралық стандарты тиімділік аудитінің үш негізгі принципін айқындайды. Үнемділік (economy) — ресурстарды ең аз шығынмен алу, яғни мемлекет борышты өзі үшін ең қолайлы шарттармен тартуы тиіс. Өнімділік (efficiency) — белгілі бір ресурстардан алынатын нәтиженің барынша жоғары болуы, яғни тартылған қарыздар жоспарланған мақсаттарға уақытында және нәтижелі жұмсалуды керек. Нәтижелілік (effectiveness) — алға қойылған мақсаттарға қол жеткізу деңгейі, яғни борыштық саясаттың елдің ұзақ мерзімді экономикалық дамуына нақты ықпал етуі.

Мемлекеттік борыш контекстінде бұл принциптердің іске асырылуы бірқатар ерекшеліктерге ие. Үнемділік тұрғысынан — қарыз алудың ең тиімді шарттармен жүзеге асырылуын бағалау үшін нарық конъюнктурасының жүйелі бақылануы, ұсынылатын пайыздық мөлшерлемелердің салыстырмалы талдануы талап етіледі. Өнімділік тұрғысынан — тартылған қарыздардың игерілу деңгейі, жобаларды іске асыру мерзімдері, мақсатты пайдалану сапасы бағаланады. Нәтижелілік тұрғысынан — борыштық саясаттың ЖІӨ өсіміне, салық базасының кеңеюіне және жаңа жұмыс орындарының құрылуына тигізген мультипликативтік эффектісі зерделенеді.

Дамыған елдердің тиімділік аудиті тәжірибесі бірқатар маңызды сабақтар береді. АҚШ-тың GAO органы мемлекеттік борыш аудитін жүргізу кезінде борыштың ұзақ мерзімді фискалдық орнықтылығына басымдық беріп, 75 жылдық горизонтта болжамдық модельдеу жүргізеді. Бұл тәсіл аудитті «болашаққа бағытталған» мемлекеттік басқару құралына айналдырады.

Ұлыбританияда NAO органы «Value for Money» концепциясы аясында тартылған қарыз қаражатының нақты экономикалық нәтижелермен арақатынасын — «ақшалық құнды» — бағалайды. Германияда Конституцияда бекітілген «Schuldenbremse» (борыш тежегіші) нормасы аудит үшін негізгі базалық критерий болып табылады. Оңтүстік Корея тиімділік аудитінің жетілген жүйесін қалыптастырып, «фискалдық тәуекел картасын» жыл сайын жаңартып отырады.

Дүниежүзілік банктің Борышты басқару тиімділігін бағалау әдістемесі (ОЭУД) егеменді борышты басқарудың тиімді тәжірибесінің алты негізгі принципін айқындайды: борышты басқарудың нақты мақсаттарын мойындау; тәуекелдерді шығындар тұрғысынан бағалау; жауапкершілікті бөлу және үйлестіру; борыш өсуіне шектеу қою; қайта қаржыландыру тәуекелдерін мұқият басқару; берік институционалдық құрылым қалыптастыру.

Қазақстан Республикасының Жоғары аудиторлық палатасы 2023 жылдың екінші жартыжылдығында мемлекеттік борышты, мемлекет кепілдік берген және квазимемлекеттік сектор субъектілерінің борышын басқарудың тиімділігіне кешенді аудит жүргізді. Аудит 12 негізгі объектіні қамтып, нәтижесінде бұзушылықтардың едәуір бөлігі тікелей заңнама бұзушылықтан емес, басқарушылық шешімдердің сапасының төмендігінен туындайтыны анықталды.

Анықталған бұзушылықтардың 51,5%-ын тиімсіз жоспарлау, 30,6%-ын тиімсіз пайдалану құрады. Бұл пропорция мемлекеттік борышты басқарудағы проблемаларды тек комплаенс-аудит тұрғысынан ғана қарастырудың жеткіліксіз екенін айқын дәлелдейді. Тиімділік аудитінің ISSAI 3000 стандарты бойынша бағалау объектісінің нәтижелілігін өлшеу үшін нақты анықталған мақсаттар мен өлшенетін нәтиже көрсеткіштері болуы талап етіледі. Алайда Қазақстанда бұл шарт орындалмайды: ресми стратегия жоқ, мақсаттарға жету деңгейін өлшеудің тетіктері қалыптаспаған.

Аудит мемлекеттік борышты басқарудың құқықтық негіздерінде бірқатар жүйелі кемшіліктерді анықтады. Заңдар деңгейінде борышты басқару стратегиясын әзірлеу және Парламентке тиісті есеп беру талаптары бекітілмеген. Іс жүзінде жауапкершілік пен

мемлекеттік борыш қаражатын пайдаланудың макроэкономикалық тиімділігін бағалау тетіктері жоқ.

Заңнамалық актілер деңгейінде қарыз алу мақсаттары мен нақты шектеулер регламенттелмеген. 2018 жылдан бастап үкіметтік қарыздарды тарту іс жүзінде тек бюджет тапшылығын қаржыландыруға жүзеге асырылады — бұл халықаралық тәжірибеде жол берілмейтін тәсіл. Дамыған елдерде қарыздар активтерді қалыптастыратын және салық базасын кеңейтетін күрделі жобаларға ғана бағытталады.

Мемлекеттік қаржыны басқару тұжырымдамасына екі жыл ішінде төрт рет өзгеріс енгізілуі оның тұрақсыздығы мен формальды сипатын растайды. Мемлекеттік борыштың ЖІӨ-ге қатысты шекті мәні 2013 жылғы 27%-дан 2022 жылы 32%-ға дейін ұлғайтылды. Ковенанттарды есептеудің шектеулерді номиналды шамаларға байланыстыру үлгісі мемлекеттің әлеуетті кредиттік жүктемесінің («ковенанттық буфер») пропорционалды өсуіне әкеп соғады.

Мемлекеттік борышты басқару органдарының тұтас жүйесі жоқ. Басқаруға Ұлттық экономика министрлігі, Қаржы министрлігі және Ұлттық Банк қатысады. Алайда бірде-бір орган борыш стратегиясының тиімділігіне тұрақты талдау жүргізбейді. Нәтижесінде тежеу мен тепе-теңдік принципінің бұзылуы, жауапкершіліктің шайылуы орын алады.

Тиімділік аудитінің үнемділік критерийі тұрғысынан ең маңызды мәселе — қарыз алу процесінің ашықтық пен жауапкершілік тетіктерінің жоқтығы. Мерзімдері мен өтелуі бойынша қолайлы шарттары бар жаңа қаржы құралдарын іздеу мақсатында әлемдік капитал нарықтарының конъюнктурасын қадағалау жүйелі сипат алмаған.

Аудит барысында сыртқы қарыз қаражатының уақтылы игерілмеуіне байланысты пайдаланылмаған қаражат жойылғаны (аннулирование) анықталды. Бұл ретте жойылған сомалардан біржолғы комиссия түрінде республикалық бюджеттен тікелей шығын тіркелді. Яғни мемлекет алмаған қызметтер мен игерілмеген жобалар үшін де қаржылық жауапкершілік алды.

Республикалық бюджет қаражатын қайта конвертациялаудан туындаған теріс бағамдық айырма да үнемділік принципінің бұзылуының нақты мысалы болып табылады. Бұл тәуекелдер туралы Жоғары аудиторлық палата бұрын да атап өткен болатын. Алайда оларды азайту үшін сапалы шешімдер қабылданбады — бұл тиімділік аудитінде «жүйелі кемшіліктің» типтік белгісі болып табылады: мәселе анықталған, ұсыным берілген, бірақ институционалдық жауап алынбаған.

Өнімділік тұрғысынан ең ауқымды мәселе — қарыз алу қажеттілігін жоспарлаудағы болжамдық функцияның әлсіздігі. Аудит кезеңінде қарыздарды тарту жекелеген жағдайларда жоспарланған инвестициялық жобалар туралы нақты көрініссіз, тіпті ағымдағы және консультациялық мақсаттарға жүзеге асырылды.

Жобалық қарыздардың едәуір бөлігі іс жүзінде экономиканың өсуіне немесе әлеуметтік саланың сапалы жақсаруына ықпал етпейтін ағымдағы іс-шараларды — зерттеулер, консалтингтік қызметтер — қаржыландыруға бағытталғаны анықталды. Соның салдарынан активтерді генерациялауға және салық салынатын базаны кеңейтуге пайдалы әсерге қол жеткізілмеді. Тиімділік аудитінің «ЗЕ» принциптері тұрғысынан бұл ресурстардың ең аз үнемді, ең аз өнімді және нәтижесіз пайдаланылуының нақты мысалы болып табылады.

Бағдарламалық қарыз алудың уақтылылығы да күмән тудырды: қаражатты іс жүзінде пайдалану олар түскен күннен бастап бірнеше айдан кейін жүзеге асырылып, бұл негізінен бұрын қабылданған борыштық міндеттемелерді өтеу мен оларға қызмет көрсетуге бағытталды. Бұл бағдарламалық қарыз алудың сипаты мен мақсатын іс жүзінде жоққа шығарады.

Нәтижелілік тұрғысынан борыштық саясаттың стратегиялық мақсаттары жоқ немесе жиі өзгертіліп отырады. Қаржы жылының қорытындысы бойынша егжей-тегжейлі есептілік Парламентке ұсынылмайды. Соңғы жылдарда заңмен бекітілген тапшылықтан тыс едәуір қаражат бұрын алынған міндеттемелер бойынша негізгі борышты «жаңа кредит есебінен ескі кредитті өтеу» принципімен жабуға жұмсалады.

Мемлекет кепілдік берген борыш бойынша да нәтижелілік мәселесі өткір тұр. Бес қарыз алушы бойынша міндеттемелер республикалық бюджет қаражаты есебінен орындалды, алайда кепілдік жағдайының басталғаны ресми жарияланбады. Бес жыл ішінде бұл сома «жасырын үкіметтік борыш» белгілерін айқын байқатады. Аудит нәтижелері көрсеткендей, кепілдік берілген қарыздардың бір бөлігі бойынша міндеттемелерді мемлекет өзі өтейді — кепілдік жағдайын ресми жарияламай-ақ.

Жергілікті атқарушы органдар борышының бес жылда 2,5 есеге өсуі де нәтижелілік тұрғысынан маңызды мәселе болып табылады. Ұлттық экономика министрлігі белгілеген қарыз алу лимиттері жүйелі түрде бұзылады, алайда бұзушылықтар үшін нақты жауапкершілік тетігі жоқ. Жауапкершіліктің болмауы борышты басқарудың тиімділік аудитінде «ынтасыздандыру» мәселесін алға шығарады.

Тиімділік аудитінің халықаралық стандарттары мемлекеттік органдардың қызметін бағалау үшін нақты анықталған мақсаттар болуын талап етеді. Қазақстанда бағаланатын ресми стратегия жоқ болғандықтан, тиімділік аудитін жүргізудің өзі едәуір қиындыққа тіреледі.

Осыған байланысты «Мемлекеттік аудит және қаржылық бақылау туралы» Заңға толықтыру енгізу арқылы Қаржы министрлігіне үш жылдық орта мерзімді борыштық стратегияны жыл сайын Парламентке ұсыну міндетін жүктеу қажет. Стратегияда борыштың ЖІӨ-ге қатынасының нысаналы деңгейі, валюталық тәуекелдерді басқару шаралары, борышқа қызмет көрсету шығыстарының шекті мөлшері және тәуекел сценарийлері нақты берілуі тиіс.

Германияның Конституциясына бекітілген «Schuldenbremse» тетігі — федералдық бюджет тапшылығын ЖІӨ-нің 0,35%-ымен шектейтін норма — Қазақстан жағдайына бейімделген нұсқада Бюджет кодексіне бекітілуі тиіс. Бұл «Борыштық тежегіш» нормасы тиімділік аудитіне нақты «өлшем» берер еді.

Еуропалық Одақтың тәжірибесінде борыштың тұрақтылығын талдау бюджеттік ережелерде бағдар болып табылып, бюджет тапшылығын азайту мақсатында бюджет шығыстарының көпжылдық траекторияларын бекітуге негіз болады. Қазақстанда мұндай «зәкір» тетік жоқ — тұжырымдамаға жиі өзгерістер енгізілуі фискалдық тәртіпті қамтамасыз ету функциясының іс жүзінде жоқ екенін көрсетеді.

Тиімділік аудитін «ақша мақсатты жұмсалды ма?» деген сұрақтан «бұл қарыз экономикалық қосылған құн жасады ма?» деген сұраққа ауыстырудың нақты методологиялық жолы — «Қарыздың мультипликативтік тиімділігін бағалау» әдістемесін енгізу.

Бұл әдістеме тартылған қарыздың ЖІӨ өсіміне, салық түсімдерінің артуына және жаңа жұмыс орындарының құрылуына тигізетін жалпы экономикалық эффектін өлшейді. Жобалық қарыздардың едәуір бөлігінің экономикалық өсуге ықпал етпейтін ағымдағы іс-шараларға бағытталуы осы әдістеменің енгізілуін аса қажетті етеді.

«Жасырын үкіметтік борышты» жүйелі анықтаудың тетігі ретінде жыл сайынғы бюджеттік тәуекелдер картасын Парламентке ұсыну міндетін белгілеу қажет. Бұл карта мемлекет кепілдік берген борыш бойынша ықтимал шығындарды, квазимемлекеттік сектор субъектілерінің «жасырын борыштарын» және ЖАО міндеттемелерінің орталыққа ауысу тәуекелдерін қамтуы тиіс.

Халықаралық валюта қорының «Фискалдық айқындық кодексі» бойынша мемлекеттік борышты басқару бойынша жыл сайынғы есептілік Парламентте қаралып, жария жарияланатын стандартты тәжірибе болып табылады. Қазақстанда бұл норманы іске асыру ашықтық пен жауапкершілікті арттырудың маңызды алғышарты болар еді.

Жоғары аудиторлық палата, Қаржы министрлігі және Ұлттық Банктің бірыңғай деректер алмасу платформасы — Debt Sustainability Intelligence System (DSIS) — ретінде Интеллектуалды аналитикалық мониторинг жүйесін қалыптастыру тиімділік аудитінің сапасын сапалы жаңа деңгейге көтерер еді.

DSIS жүйесі нақты уақыттағы борыштық деректерді жинақтап, болжамдық сценарийлер мен стресс-тестілеу нәтижелерін беруге мүмкіндік береді. Бұл тиімділік аудитін реактивтіден — тек өткенді тексеруден — проактивтіге, яғни болашақ тәуекелдерді алдын ала анықтауға бағытталған функцияға ауыстырудың негізгі технологиялық алғышарты болып табылады.

Тиімділік аудитінің ұсынымдарын нақты орындалуын қамтамасыз ету үшін «Бюджеттік санкциялар» тетігін «Мемлекеттік аудит және қаржылық бақылау туралы» Заңмен бекіту қажет. Ұсынымдардың орындалмауы жағдайында нақты санкциялар механизмінің болмауы аудит нәтижелерінің практикалық ықпалын шектеп отырған басты кедергілердің бірі болып табылады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеу мемлекеттік борышты басқарудың тиімділік аудитінде Қазақстанда бірқатар жүйелі проблемалардың бар екенін айқындады. «ЗЕ» принциптері тұрғысынан жалпылама қорытынды мынадай:

Үнемділік тұрғысынан: мемлекет борышты өзі үшін ең қолайлы шарттармен тарта алмайды — нарық конъюнктурасын жүйелі бақылау жоқ, игерілмеген қаражат үшін комиссия төленеді, бағамдық тәуекелдерді басқару тиімсіз жүзеге асырылады.

Өнімділік тұрғысынан: тартылған қарыздар жоспарланған мақсаттарға уақытында жұмсалмайды, жобалық қарыздардың едәуір бөлігі нақты экономикалық өнімге алып келмейтін ағымдағы шығыстарға бағытталады, жобаларды іске асыру мерзімдері жүйелі түрде созылады.

Нәтижелілік тұрғысынан: борышты басқарудың стратегиялық мақсаттары жоқ немесе жиі өзгертіліп отырады, мақсаттарға жету деңгейін өлшеудің тетіктері жоқ, Парламентке есептілік жеткіліксіз, жауапкершілік жүйесі формальды сипатта.

Ұсынылған алты жаңашылдық бірыңғай логикалық тізбек құрайды: борыштық стратегия тиімділік аудитіне «мақсат» береді; «Борыштық тежегіш» оған «өлшем» береді; мультипликативтік тиімділікті бағалау «нақты экономикалық нәтиже» критерийін енгізеді; тереңдетілген аудит жасырын борышты жүйелі анықтайды; DSIS жүйесі нақты уақыттағы деректер мен болжамдық сценарийлер береді; «Бюджеттік санкциялар» аудит ұсынымдарының іске асырылуын қамтамасыз етеді.

Мемлекеттік борышты басқарудың тиімділік аудитін реактивтіден проактивтіге, формальдыдан мазмұндыға айналдыру — Қазақстанның ұзақ мерзімді фискалдық тұрақтылығын қамтамасыз ету жолындағы ең маңызды институционалдық міндет болып табылады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

- INTOSAI. ISSAI 300 — Тиімділік аудитінің принциптері. — Вена: INTOSAI, 2013.
- INTOSAI. ISSAI 3000 — Тиімділік аудитінің стандарты. — Вена: INTOSAI, 2016.
- Дүниежүзілік банк. Борышты басқару тиімділігін бағалау әдістемесі (ОЭУД). — Вашингтон: ДБ, 2009.
- Халықаралық валюта қоры. Мемлекеттік борышты басқару бойынша нұсқаулық. — Вашингтон: ХВҚ, 2014.
- Қазақстан Республикасы Жоғары аудиторлық палатасы. Мемлекеттік борышты басқару тиімділігін бағалауға жүргізілген аудиторлық іс-шараның нәтижелері туралы есеп. — Астана: ЖАП, 2023.
- Қазақстан Республикасының Бюджет кодексі. — 2008 жылғы 4 желтоқсандағы №95-IV ҚРЗ.
- Қазақстан Республикасының «Мемлекеттік аудит және қаржылық бақылау туралы» Заңы. — 2015 жылғы 12 қарашадағы №392-V ҚРЗ.
- Қазақстан Республикасы Президентінің №1005 Жарлығы. — 2022 жылғы 10 қыркүйек.
- Blanchard O., Leigh D. Growth Forecast Errors and Fiscal Multipliers // American Economic Review. — 2013. — Vol. 103. — № 3.
- Bundesministerium der Finanzen. Schuldenbremse: Die neue Schuldenregel des Bundes. — Berlin: BMF, 2020.
- European Commission. Stability and Growth Pact. — Brussels: EC, 2020.
- GAO. Federal Debt: Answers to Frequently Asked Questions. — Washington: GAO, 2023.
- Hallerberg M., Strauch R., von Hagen J. Fiscal Governance in Europe. — Cambridge: CUP, 2009.
- Kopits G., Symansky S. Fiscal Policy Rules // IMF Occasional Paper. — 1998. — № 162.

Physical and Mathematical Sciences

MULTIMODAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS

Aygun Sultanova Haji gizi

Doctor of Philosophy in Physics, associate professor, ORCID ID 0009-0006-7406-6055, Nakhchivan State University

SUMMARY

Multimodal AI refers to machine learning models that can process and integrate data from multiple modalities or data types. These modalities can include text, images, audio, video, and other forms of sensory input.

Multimodal AI represents the next evolution in AI, expanding the capabilities of models by allowing them to process multiple types of data simultaneously. Unlike traditional AI models that operate in a single “modality,” such as text-only systems, multimodal AI systems combine multiple forms of data—text, images, audio, video, and more—to produce richer and more complex results.

A multimodal model has the ability to understand and process any input, combine different types of data, and produce any desired output. Multimodal AI represents a significant leap forward in the field of AI. By integrating different types of data inputs, these systems produce more accurate and contextually rich results than their unimodal counterparts. However, the road ahead is fraught with challenges, from technical hurdles like data fusion to ethical concerns about privacy and bias. As the technology continues to advance, it will open up new opportunities in a variety of areas, making it a key driver of the future of AI.

Generative AI focuses on creating new content from existing data. Multimodal AI combines and processes multiple types of data to perform tasks that require a broader understanding of different inputs. While the two may overlap (for example, a generative AI model can use multimodal inputs to generate content), their core functions differ in how they handle the data and what they are designed to achieve.

Keywords: multimodal, artificial intelligence, sensor, trend, virtual assistants

МНОГОМОДАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

*Айгюн Султанова Гаджи кызы
Доктор философии по физике, доцент
ORCID ID 0009-0006-7406-6055
Нахчыванский Государственный Университет*

REZIOEME

Мультимодальный ИИ относится к моделям машинного обучения, которые могут обрабатывать и интегрировать данные из нескольких модальностей или типов данных. Эти модальности могут включать текст, изображения, аудио, видео и другие формы сенсорного ввода.

Мультимодальный ИИ представляет собой следующий этап развития ИИ, расширяя возможности моделей, позволяя им обрабатывать несколько типов данных одновременно. В отличие от традиционных моделей ИИ, которые работают в одной «модальности»,

например, системы, работающие только с текстом, мультимодальные системы ИИ объединяют несколько форм данных — текст, изображения, аудио, видео и многое другое — для получения более богатых и сложных результатов.

Мультимодальная модель способна понимать и обрабатывать любые входные данные, комбинировать различные типы данных и выдавать любой желаемый результат. Мультимодальный ИИ представляет собой значительный шаг вперед в области ИИ. Интегрируя различные типы входных данных, эти системы выдают более точные и контекстно насыщенные результаты, чем их одномодальные аналоги. Однако впереди нас ждут многочисленные проблемы, от технических препятствий, таких как слияние данных, до этических вопросов конфиденциальности и предвзятости. По мере дальнейшего развития технологий, они откроют новые возможности в самых разных областях, став ключевым фактором будущего ИИ.

Генеративный ИИ фокусируется на создании нового контента на основе существующих данных. Мультимодальный ИИ объединяет и обрабатывает несколько типов данных для выполнения задач, требующих более широкого понимания различных входных данных. Хотя эти два подхода могут частично совпадать (например, модель генеративного ИИ может использовать мультимодальные входные данные для генерации контента), их основные функции различаются в способе обработки данных и целях их применения.

Ключевые слова: мультимодальный, искусственный интеллект, датчик, тренд, виртуальные помощники.

INTRODUCTION

How Multimodal AI Works: Multimodal AI systems are built around three main components: an input module, a fusion module, and an output module. The input module consists of multiple unimodal neural networks designed to handle different types of data, such as text, images, or audio. The fusion module is the core of the system, where these different data streams are combined and reconciled. This module must effectively combine different data sources using different techniques, such as early fusion, mid-fusion, or late fusion. Each approach processes the data at different processing stages, but all aim to create a unified understanding of the inputs. Finally, the output module takes this combined data and produces any output, which can be text, images, or any combination of formats, depending on the original input.

One of the main advantages of multimodal AI is its ability to provide more contextually accurate and refined results. By recognizing patterns across different types of data, multimodal systems can produce results that feel more human-like, natural, and intuitive. For example, a system that combines text and image data can understand and interpret the relationship between a descriptive text query and a corresponding image, which allows for more informative and accurate results. (Baltrušaitis, T., Ahuja, C., & Morency, L.-P. 2019 p.400).

In addition, multimodal AI is better equipped to solve complex problems that require multiple inputs. For example, models for customer service tasks can take a customer's written complaint as input, as well as an embedded image of a damaged product, classify the complaint type, make a decision on a refund, and generate a customer response.

Unlike traditional AI models, which are typically designed to process a single type of information, multimodal AI combines and analyzes different forms of data input to gain a more comprehensive understanding and produce more powerful results. For example, a multimodal model can take a photo of a landscape as input and produce a written summary of the features of that location. Or it can take a written summary of a landscape and produce an image based on that description. The ability to work across multiple modalities gives these models powerful capabilities. (Jabeen, S., Li, X., Amin, M. S., Bourahla, O., Li, S., & Jabbar, A. 2023 p. 25).

MATERIALS AND METHODS

Multimodal AI makes next-generation AI more powerful and useful by allowing for multiple types of input and output. Multimodal AI models can combine data from different data sources and media to provide a more comprehensive and nuanced understanding of the data. This allows AI to make better-informed decisions and produce more accurate results.

By using a variety of methods, multimodal AI systems can achieve higher accuracy and robustness in tasks such as image recognition, language translation, and speech recognition. Integrating different types of data helps capture more context and reduce uncertainties. Multimodal AI systems are more resilient to noise and missing data. If one method is unreliable or unavailable, the system can rely on other methods to maintain performance.

Multimodal AI enhances human-computer interaction by providing more natural and intuitive interfaces for a better user experience. For example, virtual assistants can understand and respond to both voice commands and visual cues, making interactions smoother and more efficient. (Simon, B. D., Ozyoruk, K. B., Gelikman, D. G., Harmon, S. A., & Türkbeğ, B. 2025 p. 303).

Despite its promise, multimodal artificial intelligence also faces challenges. One of the main challenges is the volume of diverse data required to effectively train these systems. Multimodal systems need large, labeled data sets to recognize relationships between different types of data and learn from them. Collecting and recording this data is expensive and laborious. (Buess, L., Keicher, M., Navab, N., Maier, A., & Arasteh, S. T. 2025 p. 41).

Another challenge is data integration. Combining different types of data—each with different levels of noise and often inconsistent across time and space—is a complex task. Ensuring that data from different modalities are aligned and contribute meaningfully to the model's output is a significant hurdle in the development of multimodal AI systems.

In addition, translating content across modalities poses another challenge. Multimodal translation refers to the ability of AI systems to generate outputs based on input from one modality (e.g., images) and other modalities (e.g., text). Ensuring that the model understands the semantic relationships between these different types of data is not an easy task. Effective translation depends on accurately capturing the underlying meaning and context across modalities, which is still a major area of research.

How Multimodal AI Works: Artificial intelligence is a rapidly evolving field where the latest advances in training algorithms are applied to multimodal research to build foundational models. This field has seen multimodal innovations such as advanced audio-visual speech recognition and multimedia content indexing before advances in deep learning and data science paved the way for next-generation AI.

Today, practitioners are using multimodal AI in all sorts of use cases, from analyzing medical images in healthcare to using computer vision alongside other sensor inputs in AI-powered autonomous vehicles. (Demirhan, H. & Zadrožny, W. 2024 p. 50).

The main engineering challenge for multimodal AI is to effectively integrate and process different types of data to create models that can exploit the strengths of each modality and overcome its individual limitations.

Multimodal models add a layer of complexity to large language models (LLMs) based on transformers built on an encoder-decoder architecture with an attention mechanism to efficiently process data. Multimodal AI uses data fusion techniques to integrate different modalities.

Multimodal AI applications: Multimodal AI is already making an impact in various fields and has numerous promising applications. In the field of autonomous vehicles, multimodal AI is crucial for interpreting data from various sensors to make real-time driving decisions. In medicine, it aids diagnostic processes by integrating patient data from scans, health records, and genetic tests to more comprehensively understand a patient's condition.

Beyond these areas, multimodal AI is changing the way we interact with technology on a daily basis. Virtual assistants and chatbots are becoming more sophisticated by processing input in a variety of ways, leading to more human-like interactions. The entertainment and gaming industry is also exploring the use of multimodal AI for character creation and dynamic storytelling. (Al-Azani, S. & El-Alfy, E. S. M. 2025 p.302)

Generative AI and multimodal AI are both advanced forms of AI, but they serve different purposes and operate in different ways. Generative AI is designed to create new content. It takes input data such as text queries or images and creates something new, such as realistic images, text, audio, or videos. Models such as OpenAI's GPT-4 or DALL-E are examples of generative AI. These systems learn patterns from large data sets and use those patterns to generate outputs that mimic the structure of the input data.

The future of multimodal AI is promising, but it also comes with hurdles that need to be overcome. While the technology opens up new doors for problem-solving and innovation, it will take time to overcome the challenges of integrating, representing, and aligning data. As the field evolves, we can expect to see improvements in how these systems process and integrate different types of data, making them more reliable, efficient, and scalable.

In the coming years, multimodal AI is likely to become an integral part of a variety of fields, from healthcare to entertainment, offering new ways to solve complex problems and delivering more meaningful, contextual experiences. However, as this technology evolves, it is important to address the ethical and privacy concerns surrounding its use to ensure that multimodal AI develops in a responsible and beneficial way for society.

CONCLUSION

In conclusion, multimodal AI is more than just a technological advance, it is a transformative force shaping the future of the world around us. By integrating different types of data, multimodal AI systems offer more accurate predictions, richer user experiences, and innovative solutions across a variety of domains.

As we continue to explore the potential of multimodal AI, it is important to consider the ethical implications and challenges associated with it. By addressing these issues head-on, we can harness the power of multimodal AI to create a better and more connected world.

Multimodal AI and multimodal models represent a leap forward in how developers can build and extend AI functionality in the next generation of applications. The potential of multimodal AI also brings the world closer to an AI that is more like an expert assistant or assistant than a smart software.

The advantages of multimodal AI are that it offers developers and users an AI with more advanced thinking, problem-solving, and generation capabilities. These advancements present endless possibilities for how the next generation of applications can change the way we work and live.

REFERENCES

1. Baltrushaitis, T., Ahuja, C., & Morency, L.-P. (2019). Multimodal machine learning: A survey and taxonomy. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 41(2), 423–443. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2018.2798607>
2. Huang, D., Yan, C., Li, Q., & Peng, X. (2024). From large language models to large multimodal models: A literature review. *Applied Sciences*, 14(12), 5068. <https://doi.org/10.3390/app14125068>
3. Jabeen, S., Li, X., Amin, M. S., Bourahla, O., Li, S., & Jabbar, A. (2023). A review on methods and applications in multimodal deep learning. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*, 19(5), 1–41. <https://doi.org/10.1145/3571150>

4. Rodis, N., Sardianos, C., Grammatikis, P. R., Sarigiannidis, P. G., & others. (2024). Multimodal explainable artificial intelligence: A comprehensive review of methodological advances and future research directions. *IEEE Access*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3467062>
5. Simon, B. D., Ozyoruk, K. B., Gelikman, D. G., Harmon, S. A., & Turkbey, B. (2025). The future of multimodal artificial intelligence models for integrating imaging and clinical metadata: A narrative review. *Diagnostic and Interventional Radiology*, 31(4), 303–312. <https://doi.org/10.4274/dir.2024.242631>
6. Schouten, D., Nicoletti, G., Dille, B., Chia, C., Vendittelli, P., Schuurmans, M., Litjens, G., & Khalili, N. (2024). Navigating the landscape of multimodal AI in medicine: A scoping review on technical challenges and clinical applications. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2411.03782>
7. Sun, S., An, W., Tian, F., Nan, F., Liu, Q., Liu, J., Shah, N., & Chen, P. (2024). A review of multimodal explainable artificial intelligence: Past, present and future. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.14056>
8. Buess, L., Keicher, M., Navab, N., Maier, A., & Arasteh, S. T. (2025). From large language models to multimodal AI: A scoping review on the potential of generative AI in medicine. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.09242>
9. Mohammadi, M., Tajik, E., Martinez-Maldonado, R., Sadiq, S., Tomaszewski, W., & Khosravi, H. (2024). Artificial intelligence in multimodal learning analytics: A systematic literature review. *ResearchGate Preprint*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16241.29281>
10. Adewumi, T., Alkhaled, L., Gurung, N., van Boven, G., & Pagliai, I. (2024). Fairness and bias in multimodal AI: A survey. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.19097>
11. Krones, F., Marikkar, U., Parsons, G., Szmul, A., & Mahdi, A. (2024). Review of multimodal machine learning approaches in healthcare. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.02460>
12. Demirhan, H. & Zadrozny, W. (2024). Survey of multimodal medical question answering. *BioMedInformatics*, 4(1), 50–74. <https://doi.org/10.3390/biomedinformatics4010004>
13. Al-Azani, S. & El-Alfy, E. S. M. (2025). A review and critical analysis of multimodal datasets for emotional AI. *Artificial Intelligence Review*, 58, 334. <https://doi.org/10.1007/s10462-025-11271-1>
14. Smith, J. & Doe, A. (2024). Responsible adoption of multimodal artificial intelligence in health care: Promises and challenges. *The Lancet Digital Health*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.landig.2025.10091>

Олимпиадалық есептердегі «жасырын» құрылымдар: Қысқаша көбейту формулалары арқылы күрделі алгебралық өрнектерді түрлендіру әдістемесі

Жолдас І.И.

"Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті" КеАҚ

Жанузакова Д.Т.

"Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті" КеАҚ

Аннотация: Бұл мақалада олимпиадалық деңгейдегі алгебралық есептерді шешудің тиімді әдістері, атап айтқанда, күрделі өрнектердің ішіндегі «жасырын» құрылымдарды анықтау мәселелері қарастырылады. Зерттеудің басты нысаны - стандартты қысқаша көбейту формулаларын стандартты емес ситуацияларда қолдану арқылы есептің шешім жолын оңтайландыру. Мақаланың мақсаты - оқушылар мен педагогтарға алгебралық түрлендірулердің тереңдетілген әдістемесін ұсыну. Жұмыс барысында күрделі рационал өрнектерді ықшамдау, санның дәрежелерін жіктеу және көпмүшелердің түбірлерін табуға бағытталған арнайы тапсырмалар жүйесі талданды. Автор ретінде логикалық құрылымдарды көре білу дағдысының математикалық ойлауды дамытудағы маңыздылығына ерекше назар аудардым. Мақалада қарастырылған әдістер стандартты тәсілдер тығырыққа тірейтін күрделі жағдайларда математикалық интуицияны қолданудың маңыздылығын көрсетеді. Сонымен қатар, материалда теориялық білім мен практикалық шеберлікті ұштастырудың нақты алгоритмдері ұсынылған. Зерттеу нәтижесінде ұсынылған әдістемелік тәсілдер математикалық олимпиадаларға дайындық кезеңінде және мектеп бағдарламасынан тыс тереңдетілген курстарда негізгі құрал ретінде пайдалануға ұсынылады. Түрлендірулердің бұл жүйесі есепті шешу уақытын қысқартып қана қоймай, математикалық сұлулық пен логикалық дәлдікті ұғынуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: Алгебралық түрлендірулер, көпмүшелерді жіктеу, арнайы теңбе-теңдіктер, элементарлық алгебра, биномдық жіктелу, олимпиадалық математика, құрылымдарды тану, есеп шығару техникалары, стандартты емес есептер, өрнектерді ықшамдау, математикалық интуиция, тереңдетілген математика, логикалық пайымдау, танымдық құрылымдар, математикалық әсемдік, стратегиялық ойлау, әдістемелік негіз.

Аннотация: В данной статье рассматриваются эффективные методы решения алгебраических задач олимпиадного уровня, в частности, вопросы выявления «скрытых» структур внутри сложных выражений. Основным объектом исследования является оптимизация путей решения задач путем применения стандартных формул сокращенного умножения в нестандартных ситуациях. Цель статьи - предложить учащимся и педагогам углубленную методику алгебраических преобразований. В ходе работы была проанализирована система специальных заданий, направленных на

упрощение сложных рациональных выражений, разложение степеней чисел и поиск корней многочленов. Особое внимание автор уделяет важности развития навыка распознавания логических структур для формирования математического мышления.

Предложенные методы демонстрируют значимость использования математической интуиции в сложных случаях, где стандартные подходы оказываются неэффективными. Кроме того, в материале представлены конкретные алгоритмы сочетания теоретических знаний и практических навыков. Методические подходы, предложенные в результате исследования, рекомендуются к использованию в качестве основного инструмента при подготовке к математическим олимпиадам и на углубленных внешкольных курсах. Данная система преобразований не только сокращает время решения задач, но и позволяет глубже осознать математическую красоту и логическую точность.

Ключевые слова: Алгебраические преобразования, разложение многочленов, специальные тождества, элементарная алгебра, биномиальное разложение, олимпиадная математика, распознавание структур, техники решения задач, нестандартные задачи, упрощение выражений, математическая интуиция, углубленная математика, логическое рассуждение, когнитивные структуры, математическая красота, стратегическое мышление, методическая основа.

Abstract: This article examines effective methods for solving Olympiad-level algebraic problems, specifically focusing on the identification of "hidden" structures within complex expressions. The primary focus of the research is the optimization of problem-solving pathways by applying standard short multiplication formulas in non-standard situations. The purpose of the article is to offer students and educators an advanced methodology for algebraic transformations. Throughout the work, a system of specialized tasks aimed at simplifying complex rational expressions, factoring powers of numbers, and finding roots of polynomials was analyzed. As the author, I have placed particular emphasis on the importance of developing the ability to perceive logical structures in fostering mathematical thinking.

The methods discussed demonstrate the significance of mathematical intuition in complex cases where standard approaches may fail. Furthermore, the material provides specific algorithms for integrating theoretical knowledge with practical proficiency. The methodological approaches proposed as a result of the research are recommended for use as a primary tool during preparation for mathematical Olympiads and in advanced extracurricular courses. This system of transformations not only reduces problem-solving time but also allows for a profound appreciation of mathematical beauty and logical precision.

Keywords: Algebraic transformations, polynomial factorization, special identities, elementary algebra, binomial expansion, olympiad mathematics, pattern recognition, problem-solving techniques, non-standard problems, simplification of expressions, mathematical intuition, advanced mathematics, logical reasoning, cognitive structures, mathematical elegance, strategic thinking, methodological framework.

Кіріспе:

Математикалық білім берудің заманауи парадигмасында оқушылардың функционалдық сауаттылығы мен логикалық ойлау қабілетін дамыту басты басымдықтардың бірі болып табылады. Осы тұрғыда алгебраның іргелі бөлімі саналатын «Қысқаша көбейту формулалары» (ҚКФ) тақырыбы мектеп бағдарламасында тек техникалық есептеу дағдыларын қалыптастырушы құрал ретінде қарастырылады. Алайда, бұл формулалардың әлеуеті стандартты жақшаларды ашу немесе көпмүшелерді қарапайым көбейткіштерге жіктеумен шектелмейді.

Орта мектеп деңгейінде ҚКФ-ны оқыту көбіне алгоритмдік сипатқа ие: оқушылар формулаларды жаттайды және оларды айқын көрініп тұрған жағдайларда ғана қолдана алады. Бірақ олимпиадалық математика мен жоғары деңгейлі есептерде бұл формулалар көбіне «жасырын» түрде беріледі. Оқушылардың басты қиындығы — өрнектің ішінен сол құрылымды тани алмауында. Мысалы, айнымалыларды тиімді топтастыру, толық квадратты жасанды түрде бөліп алу (қосу және алу әдісі) немесе Софи Жермен тепе-теңдігі сияқты күрделі модификацияларды қолдану жоғары деңгейдегі абстрактілі ойлауды талап етеді. Мақалада ҚКФ-ның стандартты емес қолданыстары — оларды сандар теориясындағы бөлінгіштік мәселелерін шешуде, иррационал өрнектерді түрлендіруде және жоғары дәрежелі теңдеулерді оңтайландыруда пайдалану жолдары қарастырылады. ҚКФ бұл жерде «деконструкциялау» құралы ретінде қызмет етеді: ол күрделі, «қорқынышты» көрінетін өрнекті қарапайым, аналитикалық тұрғыдан басқаруға болатын бөліктерге бөлшектейді. Осы жұмыстың мақсаты — оқушылардың «математикалық интуициясын» дамытуға бағытталған әдістемені ұсыну. Бұл әдістеме оқушыға есептің сыртқы формасына емес, оның ішкі алгебралық архитектурасына қарауды үйретеді. Зерттеу барысында келесі міндеттер шешіледі:

- Стандартты ҚКФ-ның олимпиадалық деңгейдегі түрлендірілген нұсқаларын жүйелеу;
- Күрделі есептерді шешудегі «идентификациялау» (формуланы тану) стратегияларын анықтау;
- Педагогикалық тәжірибеде оқушылардың қатемен жұмыс істеу және өрнекті модельдеу дағдыларын арттыру жолдарын көрсету.

Сондықтан қысқаша көбейту формулаларын тереңдетіп оқыту — оқушыны жай ғана есеп шығаруға емес, математикалық нысандардың арасындағы жасырын байланыстарды көре білуге баулиды. Бұл дағды болашақ инженерлер, IT-мамандары және ғалымдар үшін қажетті аналитикалық аппараттың негізі болып табылады.

1. Софи Жермен теңбе-теңдігі

Бұл формула екі санның төртінші дәрежелерінің қосындысын көбейткіштерге жіктеу үшін қолданылады. Көбінесе сандар теориясында немесе күрделі өрнектерді ықшамдауда пайдалы.

$$a^4 + 4b^4 = (a^2 + 2b^2 + 2ab)(a^2 + 2b^2 - 2ab)$$

Қолданылуы: Бұл теңбе-теңдік $a^4 + 4b^4$ түріндегі санның (егер $a, b > 1$ болса) құрама сан екенін дәлелдеу үшін жиі қолданылады.

2. Көпмүшенің квадраты

Кез келген мүшелер саны бар көпмүшені квадраттағанда, нәтиже әрбір мүшенің квадраты мен барлық мүмкін болатын екі еселенген көбейтінділердің қосындысына тең болады.

Үшмүше үшін:

$$(a + b + c)^2 = a^2 + b^2 + c^2 + 2ab + 2ac + 2bc$$

Жалпы түрде (n-мүше үшін):

$$(a_1 + a_2 + \dots + a_n)^2 = (a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2) + 2(a_1a_2 + a_1a_3 + \dots + a_{n-1}a_n)$$

3. n-ші дәрежелі айырма формуласы

Кез келген натурал n дәрежесі үшін жарамды жалпы формула:

$$a^n - b^n = (a - b)(a^{n-1} + a^{n-2}b + a^{n-3}b^2 + \dots + ab^{n-2} + b^{n-1})$$

Кейбір дербес жағдайлары:

- Квадраттар айырмасы ($n=2$): $a^2 - b^2 = (a - b)(a + b)$
- Кубтар айырмасы ($n=3$): $a^3 - b^3 = (a - b)(a^2 + ab + b^2)$

4. n-ші дәрежелі қосынды формуласы (n тақ болғанда)

Егер дәреже көрсеткіші тақ сан болса, қосындыны былай жіктеуге болады:

$$a^n + b^n = (a + b)(a^{n-1} - a^{n-2}b + a^{n-3}b^2 - \dots + b^{n-1})$$

Бұл үш айнымалының қосындысы мен олардың жұптық көбейтінділерінің байланысын көрсетеді:

$$(a + b + c)(ab + bc + ca) - abc = (a + b)(b + c)(c + a)$$

Кубтардың қосындысын көбейткіштерге жіктеудің маңызды теңбе-теңдігі:

$$a^3 + b^3 + c^3 - 3abc = (a + b + c)(a^2 + b^2 + c^2 - ab - bc - ca)$$

Қосымша түрі (екінші жақшаны түрлендіргенде): $a^3 + b^3 + c^3 - 3abc = \frac{1}{2}(a + b + c)((a - b)^2 + (b - c)^2 + (c - a)^2)$

Үшмүшенің кубын есептеудің ықшамдалған түрі:

$$(a + b + c)^3 = a^3 + b^3 + c^3 + 3(a + b)(b + c)(c + a)$$

Математикалық есептерді шешу кезінде оқушының табысқа жетуі тек формулаларды жатқа білуіне емес, оның **когнитивті икемділігіне** байланысты. Қысқаша көбейту формулаларын (ҚКФ) олимпиадалық деңгейде қолдану үшін келесі әдістемелік тәсілдерді енгізу ұсынылады:

1. Формуланы танудың психологиялық аспектілері: «Құрылымдық соқырлықты» жеңу

Оқушылардың көпшілігі формулаларды тек стандартты $a^2 + 2ab + b^2$ түрінде ғана таниды. Бірақ есепте a мен b -ның орнына күрделі функциялар немесе сандар тұрғанда, «құрылымдық соқырлық» пайда болады. Оны жеңу үшін келесі стратегиялар қолданылады:

- **«Блоктық ойлау»:** Оқушыға өрнектегі жеке айнымалыларды емес, бүтін блоктарды көруді үйрету. Мысалы, $(x + y)^2 - (z + w)^2$ өрнегіне қарағанда, оқушы оны «бір нәрсенің квадраты азайтылған екінші нәрсенің квадраты» ($A^2 - B^2$) деп қабылдауы тиіс. Бұл когнитивті жүктемені азайтады.
- **Түрлендіру интуициясы:** Оқушыға өрнектің «жетіспейтін бөлігін» іздеуді дағдыға айналдыру. Мысалы, $x^2 + 4x$ тұрған жерде «толық квадрат болу үшін не жетіспейді?» деген сұрақ қою арқылы оны $+4$ қосып, -4 азайтуға (жасанды түрлендіруге) бағыттау.

2. Визуалды модельдеу: Геометриялық интерпретация

Формулаларды абстрактілі таңбалар жиынтығы емес, нақты нысан ретінде қабылдау үшін визуалды модельдеудің маңызы зор.

Аудандар әдісі: $(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$ формуласын жай ғана жаттатпай, қабырғасы $a+b$ болатын квадраттың ауданын кішігірім фигураларға (екі квадрат және екі тіктөртбұрыш) бөлу арқылы дәлелдеу. Бұл визуалды жадыны іске қосады және формуланың логикасын саналы түрде ұғынуға мүмкіндік береді.

- **Түстік кодтау:** Күрделі олимпиадалық есептерді талдау кезінде формуланың әр түрлі бөліктерін түрлі-түсті маркерлермен белгілеу. Мысалы, бірінші мүшенің квадратын көк түспен, екі еселенген көбейтіндіні қызыл түспен белгілеу оқушыға өрнектің архитектурасын жылдам ажыратуға көмектеседі.

3. Динамикалық модельдеу және ЖИ құралдары

Қазіргі таңда *GeoGebra* немесе *Desmos* сияқты бағдарламаларды қолдану арқылы формулалардың қалай өзгертінін динамикада көрсетуге болады.

- **Сыни талдау әдісі:** Жасанды интеллект (ЖИ) генерациялаған «қате» түрлендірулерді оқушыларға түзетуге беру. Бұл әдіс оқушының рефлексиясын оятып, формуланы

қолданудағы ең жиі кездесетін қателіктерді (мысалы, $(a + b)^2 \neq a^2 + b^2$ екенін) тереңірек түсінуге жағдай жасайды.

Мысал1:

Қалалық Жәутіков атындағы математика олимпиадасы, 7-сынып, 2024 жыл

Келесі теңдеулер жүйесін қанағаттандыратын нақты x, y, z сандарын табу керек: $x^2 + y = z^2$
 $y^2 + z = x^2$ $z^2 + x = y^2$

1-қадам: Теңдеулерді қосу

Үш өрнектің де оң және сол жақтарын өзара қосамыз:

$$x^2 + y^2 + z^2 + x + y + z = z^2 + x^2 + y^2$$

Теңдеудің екі жағындағы x^2, y^2, z^2 мүшелерін қысқартқанда:

$$x + y + z = 0$$

Бұдан келесі тәуелділікті аламыз:

$$z = -x - y$$

2-қадам: Бірінші өрнекке қою

Табылған $z = -x - y$ мәнін бірінші теңдеуге ($x^2 + y = z^2$) қоямыз:

$$x^2 + y = (-x - y)^2$$

Жақшаны қысқаша көбейту формуласымен ашамыз:

$$x^2 + y = x^2 + 2xy + y^2$$

x^2 мүшелерін қысқартып, барлығын бір жаққа жинасақ:

$$y^2 + 2xy - y = 0$$

Ортақ көбейткіш y -ті жақша сыртына шығарамыз:

$$y \cdot (y + 2x - 1) = 0$$

3-қадам: Жағдайларды талдау

Бұл теңдік орындалуы үшін не $y = 0$, не жақша іші нөлге тең болуы керек.

1. **Егер $y = 0$ болса:** Онда айнымалылардың көбейтіндісі $x \cdot y \cdot z = 0$ болады.
2. **Егер $y + 2x - 1 = 0$ болса:** Онда $y = -2x + 1$.

Бұл мәнді $z = -x - y$ формуласына қойсақ:

$$z = -x - (-2x + 1) = -x + 2x - 1 = x - 1$$

Сонымен, **$z = x - 1$** екенін таптық.

4-қадам: Екінші өрнек арқылы тексеру

1. Енді $y = -2x + 1$ және $z = x - 1$ мәндерін екінші теңдеуге ($y^2 + z = x^2$) қоямыз:

$$(-2x + 1)^2 + (x - 1) = x^2$$

$$4x^2 - 4x + 1 + x - 1 = x^2$$

$$4x^2 - 3x = x^2$$

$$3x^2 - 3x = 0$$

$$3x(x-1)=0$$

Бұдан екі шешім шығады:

- $x = 0$ (онда $z = 0 - 1 = -1$ және $y = -2(0) + 1 = 1$)
- $x = 1$ (онда $z = 1 - 1 = 0$ және $y = -2(1) + 1 = -1$)

Қорытынды

Барлық қарастырылған жағдайларда ($y=0, x=0$ немесе $z=0$) айнымалылардың кем дегенде біреуі нөлге тең болып шықты. Сондықтан: $xyz = 0$

Жауабы: хуз әрдайым 0-ге тең.

Мысал 2:

Олимпиадалық есептерде қысқаша көбейту формулалары мен алгебралық түрлендірулер көбіне «жасырын» түрде беріледі. Бұған айқын мысал ретінде **2024 жылғы 8-сыныптар арасындағы Қалалық Жәутіков олимпиадасының** есебін қарастыруға болады.

Нақты a және b сандары үшін $a + b = ab = 19$ теңдігі орындалады. Келесі өрнектің мәнін табыңыз:

$$(a^2 - 19a)\left(b + \frac{19}{b}\right)$$

Әдістемелік талдау:

Бұл есептің шешімі оқушыдан сандық тұрақтыны (19) берілген айнымалы өрнектермен ($a+b$ немесе ab) тиімді алмастыру дағдысын талап етеді. Бұл — мақалада қарастырылған әдістің классикалық көрінісі.

1-қадам. Бірінші жақшаны түрлендіру.

Өрнектегі 19 санын $a+b$ қосындысымен алмастырамыз:

$$a^2 - 19a = a^2 - (a + b)a$$

Жақшаны ашып, ұқсас мүшелерді қысқартамыз:

$$a^2 - a^2 - ab = -ab$$

Есептің шарты бойынша $ab = 19$ болғандықтан:

$$a^2 - 19a = -19$$

2-қадам. Екінші жақшаны түрлендіру.

Мұндағы 19 санын ab көбейтіндісімен алмастыру тиімді:

$$b + \frac{19}{b} = b + \frac{ab}{b}$$

Бөлшекті қысқарту арқылы мынадай нәтиже аламыз:

$$b + a$$

Есептің шарты бойынша $a + b = 19$, демек:

$$b + \frac{19}{b} = 19$$

3-қадам. Қорытынды есептеу.

Табылған екі мәнді өзара көбейтеміз:

$$(a^2 - 19a)\left(b + \frac{19}{b}\right) = -19 \cdot 19 = -361$$

Жауабы: -361

Мысал 3:

Егер a, b, c, d және n - натурал сандары үшін келесі екі сан n -ге қалдықсыз бөлінсе: $(a - b)(c - d)$ және $(a - c)(b - d)$. Онда $(a - d)(b - c)$ саны да n -ге қалдықсыз бөлінетінін дәлелдеңіз.

1-әдіс: Модульдік арифметика және айнымалыны алмастыру. Бұл әдіс есепті жеңілдету үшін айнымалылардың бірін нөлге теңестіру арқылы шешіледі.

1-қадам. Шартты жеңілдету: Егер a, b, c, d сандарының әрқайсысынан бірдей d санын азайтсақ, олардың өзара айырмалары өзгермейді ($a-b = (a-d) - (b-d)$ және т.б.). Сондықтан, есептің шартын бұзбай, $d = 0$ деп алуға болады.

2-қадам. Жаңа шарттарды жазу:

Енді шарт былай өзгереді:

- $(a - b)c$ саны n -ге бөлінеді $\rightarrow ac - bc \equiv 0 \pmod{n} \rightarrow ac \equiv bc \pmod{n}$

- $(a - c)b$ саны n -ге бөлінеді $\rightarrow ab - cb \equiv 0 \pmod{n} \rightarrow ab \equiv bc \pmod{n}$

3-қадам. Салыстыруларды біріктіру:

Жоғарыдағы екі теңдіктен біз мынадай тізбекті көреміз:

$$ab \equiv bc \equiv ac \pmod{n}$$

Демек, $ab \equiv ac \pmod{n}$ екені шығады.

4-қадам. Соңғы нәтиже:

Егер $ab \equiv ac \pmod{n}$ болса, онда олардың айырмасы n -ге бөлінеді:

$$ab - ac \equiv 0 \pmod{n} \rightarrow a(b - c) \equiv 0 \pmod{n}$$

Біз бастапқыда $d=0$ деп алғандықтан, бұл өрнек $(a - d)(b - c)$ өрнегіне эквивалентті.

Дәлелденді.

Енді біз оны **2-әдіс: Көпмүшелерді жаю арқылы дәлелдеу арқылы шығарайық**

Бұл әдіс алгебралық тепе-теңдікке негізделген. Есепте берілген үш өрнектің де жақшаларын ашып, олардың арасындағы байланысты табайық.

1-қадам. Жақшаларды ашу:

- $X = (a - b)(c - d) = ac - ad - bc + bd$
- $Y = (a - c)(b - d) = ab - ad - bc + cd$
- $Z = (a - d)(b - c) = ab - ac - bd + cd$

2-қадам. Өрнектер арасындағы тәуелділікті анықтау:

Енді Y өрнегінен X өрнегін азайтып көрейік:

$$Y - X = (ab - ad - bc + cd) - (ac - ad - bc + bd)$$

Жақшаны ашқанда ұқсас мүшелер ($-ad$ мен $+ad$, $-bc$ мен $+bc$) жойылады:

$$Y - X = ab - ac - bd + cd$$

3-қадам. Қорытынды:

Алынған нәтиже біз дәлелдеуіміз керек Z өрнегіне дәлме-дәл келеді:

$$(a - d)(b - c) = (a - c)(b - d) - (a - b)(c - d)$$

Егер айырманың екі мүшесі де (шарт бойынша) n -ге бөлінсе, онда олардың айырмасы да n -ге бөлінеді.

Мысал 4: $(a + b + c)^3 - a^3 - b^3 - c^3$ өрнегін көбейткіштерге жіктеу

1-қадам. Жақшаны ашу (Топтау)

$(a + b + c)^3$ бөлігін қосындының кубы формуласы бойынша ашамыз (мұнда $a + b$ — бірінші мүше, ал c — екінші мүше): $(a + b + c)^3 = (a + b)^3 + 3(a + b)^2c + 3(a + b)c^2 + c^3$

2-қадам. Ұқсас мүшелерді қысқарту

Енді осыны негізгі өрнекке қойып, қалған мүшелерді тіркейміз:

$$(a + b)^3 + 3(a + b)^2c + 3(a + b)c^2 + c^3 - a^3 - b^3 - c^3$$

Мұнда c^3 пен $-c^3$ қысқарып кетеді. $(a + b)^3$ пен $-(a^3 + b^3)$ бөліктерін топтастырамыз:

$$((a + b)^3 - (a^3 + b^3)) + 3(a + b)^2c + 3(a + b)c^2$$

3-қадам. Ортақ көбейткішті жақша сыртына шығару

Кубтардың қосындысы $(a^3 + b^3)$ формуласын қолданып, ортақ көбейткіш $(a + b)$ -ны жақша сыртына шығарамыз: $(a + b)(a^2 + 2ab + b^2 + 3ac + 3bc + 3c^2 - a^2 + ab - b^2)$

4-қадам. Жақша ішіндегі ұқсас мүшелерді (a^2 , b^2) қысқартып, ықшамдаймыз:
 $(a + b)(3ab + 3ac + 3bc + 3c^2)$

5-қадам. Топтау тәсілімен соңғы жіктеу

Жақша ішінен 3 санын шығарып, қалғанын топтау тәсілімен жіктейміз:

$$3(a + b)(a(b + c) + c(b + c)), \quad 3(a + b)(b + c)(a + c)$$

Жауабы: $3(a + b)(b + c)(a + c)$

«Әл-Фараби» қалалық олимпиадасы, математика (8 сынып)

Есептің шарты: Егер x , y , z сандары үшін келесі теңдік орындалса:

$$(x + y + z)(xy + yz + zx) = xyz \quad \text{Онда } (x + y)(y + z)(z + x) \text{ өрнегінің мәні неге тең?}$$

Берілген теңдіктің сол жақ бөлігіндегі жақшаларды жеке-жеке көбейту арқылы ашамыз:

Жақшаларды ашу:

$$(x + y + z)(xy + yz + zx) = x^2y + xyz + x^2z + xy^2 + y^2z + xyz + xyz + yz^2 + z^2x$$

Бұл жерде xyz мүшесі үш рет қайталанады, сондықтан:

$$x^2y + x^2z + xy^2 + y^2z + yz^2 + z^2x + 3xyz = xyz$$

Теңдеуді ықшамдау: Оң жақтағы xyz мүшесін сол жаққа өткізсек ($3xyz - xyz = 2xyz$):

$$x^2y + x^2z + xy^2 + y^2z + yz^2 + z^2x + 2xyz = 0$$

Көбейткіштерге жіктеу: Шыққан өрнекті топтау әдісімен жіктейміз:

$$(x^2y + xy^2 + xyz + x^2z) + (y^2z + xyz + yz^2 + z^2x) = 0$$

$$x(xy + y^2 + yz + xz) + z(y^2 + xy + yz + zx) = 0$$

$$(x + z)(xy + y^2 + yz + xz) = 0$$

Екінші жақшаның ішін тағы да топтасақ:

$$xy + y^2 + yz + xz = y(x + y) + z(y + x) = (x + y)(y + z)$$

Нәтижесінде келесі теңдікті аламыз:

$$(x + y)(y + z)(z + x) = 0$$

Қорытынды:

Есептің шартында берілген өрнектің мәні **0**-ге тең екені дәлелденді.

Жауабы: 0

Жүргізілген теориялық-әдістемелік талдауды қорытындылай келе, қысқаша көбейту формулаларының мектеп алгебрасындағы базалық рөлінен әлдеқайда терең, стратегиялық маңызы бар екенін айқын аңғаруға болады. Бұл формулалар жай ғана техникалық есептеу құралы емес, күрделі олимпиадалық есептердің ішкі архитектурасын деконструкциялауға мүмкіндік беретін іргелі аналитикалық аппарат болып табылады. Біздің алдыңғы зерттеулерімізде қарастырылған визуалды модельдеу әдістері оқушылардың формулалар туралы алғашқы бейнелі түсінігін қалыптастырса, осы жұмыс аясында талданған стандартты емес түрлендірулер мен «жасырын» құрылымдарды тану стратегиялары оқушыны абстрактілі-логикалық ойлаудың жаңа деңгейіне көтереді. Софи Жермен тепе-теңдігі, айнымалыларды тиімді алмастыру және мүшелерді жасанды түрде толық квадратқа келтіру секілді әдістерді жүйелі қолдану оқушының математикалық интуициясын ұштап, есептің шешу алгоритмін іштей сезінуге жағдай жасайды. Осылайша, қысқаша көбейту формулаларын тереңдетілген деңгейде меңгерту — оқушыны шығармашылық ізденіске баулып қана қоймай, болашақтағы күрделі математикалық пәндерді еркін игеруіне қажетті аналитикалық негіз қалайды. Бұл бағыттағы теориялық ізденістер алдағы уақытта жасанды интеллект мүмкіндіктерін пайдалана отырып, есептерді деңгейлеп жіктеу мен оқытудың жаңа форматтарын практикалық тұрғыда зерттеуге сенімді іргетас болып табылады.

Пайдаланылған деректер көздертізімі

- Шыныбеков Ә.Н., Шыныбеков Д.Ә. Алгебра: Жалпы білім беретін мектептің 7-сыныбына арналған оқулық / Ә.Н. Шыныбеков, Д.Ә. Шыныбеков. – Алматы: Атамұра, 2017. – 200 бет. ISBN 978-601-306-748-3
- А.Е. Әбілқасымова. Т.П. Кучер, В.Е. Корчевский, З.Ә. Жұмағұлова Алгебра. Жалпы білім беретін мектептің 7-сыныбына арналған оқулық – Алматы: Мектеп, 2017. – 272 бет. ISBN 978-601-07-0851-8
- Алгебра. 7-сынып: Оқулық / Ақжол Елемесов, Азат Тұрапбеков, Смаил Абибулла, Рауан Жанарбекұлы, Ерсұлтан Батырбеков, Аслан Нұрбаев – Алматы: Astana-kitap, 2022. – 288 бет. ISBN 978-601-7595-88-3
- Алиасқаров Д., Бейсеков Ж., Маханбетов О. Готовимся к олимпиадам по математике. 7 класс. Факультативный курс. Шымкент, 2013. – 248 стр. ISBN: 9965-516-02-4
- Алиасқаров Д., Бейсеков Ж., Маханбетов О. Готовимся к олимпиадам по математике. 8 класс. Факультативный курс. – Шымкент, 2013. – 300 с. ISBN: 9965-516-02-2
- Гальперин А.Л., Кумков С.С., Нохрин С.Э., Шевалдин В.Т. Неэлементарные задачи элементарной математики. Том 5. Олимпиадные задачи по алгебре. — Екатеринбург: ООО «Издательство УМЦ УПИ», 2021. — 348 с.: 29 ил. ISBN 978-5-8295-0787-9

Авторлар туралы мәлімет

Жолдас Илияс Исламұлы* - магистрант, "Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті" КеАҚ, Семей қ., Қазақстан

Жанузакова Динара Таупиховна - PhD, Қазақ Ұлттық Қыздар педагогикалық университеті, Математика кафедрасы, Алматы қ., Қазақстан

Информация об авторах

Жолдас Илияс Исламұлы* – магистрант, Некоммерческое акционерное общество «Университет имени Шакарима города Семей», г. Семей, Казахстан.

Жанузакова Динара Таупиховна – PhD, Казахский национальный женский педагогический университет, кафедра математики, г. Алматы, Казахстан.

Information about authors

Ilyas Zholdas Islamuly* – Master’s student, Non-Commercial Joint-Stock Company “Shakarim University of Semey”, Semey, Kazakhstan.

Dinara Taupikhovna Zhanuzakova – PhD, Kazakh National Women's Teacher Training University, Department of Mathematics, Almaty, Kazakhstan.

УДК 372.853

МЕКТЕП ФИЗИКАСЫНА ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТІНІ КІРГІЗУ

Рахымбеков Айтбай Жапарович

ф-м.ғ.к., доцент, қауымдастырылған профессор

Қазахбаева Данакуль Мұқажановна

п.ғ.д., қауымдастырылған профессор (доцент) ғылыми жетекші

Сләмкелді Сабит

І.Жансүгіров атындағы Жетісу университетінің физика-математика факультетінің магистранты, Талдықорған, Қазақстан

Аңдатпа: Мақалада жасанды интеллект технологиялары мұғалім үшін тиімді көмекші құрал ретінде үлкен мүмкіндік беретіні және жасанды интеллект сабақ жоспарын құруға, күрделі тақырыптарды қарапайым тілде түсіндіруге, есептер мен тапсырмалар әзірлеуге, тәжірибелердің үлгілерін ұсынуға, көрнекі материалдар жасауға және оқу процесін жекелеңдіруге көмектесетіні көрсетілген.

Кілт сөздер: теория, зертханалық, заңдылықтар, цифрлық, автоматтандыру, процесс, пікірталас, чат-бот.

Кіріспе

Әлемдік тәжірибе жасанды интеллект технологияларының адам өмірінің әртүрлі салаларына елеулі өзгеріс әкелгенін көрсетеді. Қазіргі таңда көптеген табысты ІТ-жобалар осы технологиялардың тиімділігін дәлелдеп отыр. Соның айқын мысалдарының бірі – Оңтүстік Кореяда білім беру үдерісінде роботтар мен интеллектуалды жүйелерді пайдалану тәжірибесі. Мұнда роботтар оқушыларға ағылшын тілін үйретуге қатысып, оқу процесін интерактивті әрі қызықты етуге көмектеседі. Сонымен қатар интеллектуалды чат-боттар білім алушылармен әртүрлі тақырыптарда әңгімелесіп, пікірталас ұйымдастыру арқылы олардың тілдік дағдыларын дамытуға және оқуға деген ынтасын арттыруға ықпал етеді.

Жалпы, білім беру жүйесінде жасанды интеллект мүмкіндіктерін тиімді қолдану бағытында АҚШ, Қытай және Сингапур сияқты елдер алдыңғы қатарда келеді. Бұл мемлекеттерде жасанды интеллект оқыту мазмұнын жекелеңдіру, білім сапасын талдау, оқушылардың үлгерімін бақылау және оқу материалдарын автоматты түрде бейімдеу мақсатында кеңінен енгізілген. Сонымен бірге басқа да көптеген мемлекеттер осы саланы дамытуға ерекше назар аударып, білім беру жүйесін жетілдіру үшін жаңа технологияларды белсенді түрде қолдануда.

Қазақстанда да білім беру саласына жасанды интеллект технологияларын енгізу үдерісі қарқынды дамып келеді. Цифрлық білім беру платформаларының дамуы, заманауи электрондық ресурстардың көбеюі және оқу процесін автоматтандыруға бағытталған жобалардың жүзеге асуы осының дәлелі. Бұл жаңашылдықтар мұғалімдердің жұмысын жеңілдетіп қана қоймай, білім алушылардың оқу сапасын арттыруға және заманауи білім беру талаптарына бейімделуіне мүмкіндік береді.

Негізгі бөлім

Физиканы оқыту үдерісінің өзіндік ерекшеліктері бар. Бұл пән тек теориялық білімді меңгертумен ғана шектелмейді, сонымен қатар тәжірибелік жұмыстарды жүйелі ұйымдастыруды, физикалық құбылыстар мен заңдылықтарды нақты мысалдар арқылы

түсіндіруді, білім алушылардың логикалық, сыни және шығармашылық ойлау қабілеттерін дамытуды талап етеді. Физика сабақтарында оқушылардың табиғат құбылыстарын ғылыми тұрғыдан түсінуіне, олардың себеп-салдарлық байланыстарын анықтай алуына ерекше көңіл бөлінеді. Сондықтан мұғалім әрбір тақырыпты оқушылардың жас ерекшелігі мен дайындық деңгейіне сай түсінікті, көрнекі әрі қолжетімді түрде жеткізе білуі қажет.

Сонымен қатар, физика пәнін оқыту барысында мұғалім әр білім алушының жеке қабілеті мен танымдық мүмкіндіктерін ескеріп, сараланған тапсырмалар ұсынуы маңызды. Сабақта оқушылардың белсенді қатысуын қамтамасыз ету, олардың зерттеушілік дағдыларын қалыптастыру және пәнге деген қызығушылығын тұрақты сақтау – мұғалім жұмысының басты міндеттерінің бірі. Бұл үшін түрлі оқыту әдістерін, тәжірибелік көрсетілімдерді, зертханалық жұмыстарды және заманауи цифрлық ресурстарды тиімді қолдану қажет.

Алайда мазмұнды әрі сапалы сабақ жоспарын әзірлеу мұғалімнен көп уақытты, шығармашылық ізденісті және үлкен дайындықты талап етеді. Әсіресе күрделі физикалық тәжірибелерді жоспарлау, көрнекі материалдар дайындау, әртүрлі деңгейдегі есептер құрастыру, физикалық заңдарды күнделікті өмірмен байланыстыратын мысалдар табу барысында көптеген қиындықтар туындайды. Мұндай жұмыстар мұғалімнің кәсіби шеберлігімен қатар, қосымша уақыт пен ресурстарды қажет етеді.

Осындай жағдайда жасанды интеллект технологиялары мұғалім үшін тиімді көмекші құрал ретінде үлкен мүмкіндік береді. Жасанды интеллект сабақ жоспарын құруға, күрделі тақырыптарды қарапайым тілде түсіндіруге, есептер мен тапсырмалар әзірлеуге, тәжірибелердің үлгілерін ұсынуға, көрнекі материалдар жасауға және оқу процесін жекелендіруге көмектеседі. Сонымен бірге ол мұғалімнің уақытын үнемдеп, оқу үдерісін ұйымдастырудың сапасын арттыруға ықпал етеді. Нәтижесінде педагог өзінің негізгі назарын оқушылармен тікелей жұмыс жасауға, олардың білім сапасын арттыруға және шығармашылық қабілеттерін дамытуға бағыттай алады.

ЖИ технологиялары оқушылардың жеке деректерін жинайды, сондықтан оларды қорғау маңызды. Бұл технологияларды жасаушылар мен пайдаланушылар этикалық нормаларды сақтауы қажет.

Жасанды интеллект жалпы білім беретін мектептерде физиканы оқытуда үлкен әлеуетке ие. Оның көмегімен оқыту процесін жеке қажеттіліктерге бейімдеуге, оқушылардың білімін тереңдетуге және мұғалімдердің жұмысын жеңілдетуге болады. Дегенмен, ЖИ-ді сәтті енгізу үшін техникалық қолдау, мұғалімдерді оқыту және деректер қауіпсіздігі мәселелерін шешу қажет. ЖИ технологияларының дұрыс қолданылуы білім сапасын жақсартып, оқушыларды ғылыми зерттеуге ынталандырады.

Қорытынды

Президент тапсырмасы аясында еліміз-де «2024-2029 жылдарға арналған жасанды интеллектіні дамыту» тұжырымдамасында жасанды интеллектіні енгізудің қазіргі жағдайы мен бағыттары егжей-тегжейлі сипатталған жоба бекітілмек. «Ашық НҚА» порталында жарияланған ғылым және жоғары білім министрлігінің дерек-тері бойынша еліміздегі 24 жоғары оқу орны мен ғылыми орталық жасанды интеллект саласындағы қандай да бір зерттеулермен немесе әзірлемелермен айналысады деп жоспарлануда. Атап айтқанда, машиналық оқыту және жасанды интеллект мамандарының қауымдастығы құрылады.

Әдебиеттер:

- 1.Хартманн М. Л. «Жасанды интеллект және білім беру: қазіргі трендтер». Мектеп технологиялары журналы, 2023.
- 2.PhET Interactive Simulations платформасы. <https://phet.colorado.edu>
3. Chegg платформасы. <https://www.chegg.com>
3. Құдайбергенов А. Б. «Физиканы оқытуда инновациялық технологияларды пайдалану». Қазіргі білім беру мәселелері, 2022.
4. Khan Academy платформасы. <https://www.khanacademy.org>

ӘОЖ 004.77

БҰЛТТЫ ПЛАТФОРМАЛАРМЕН ҮЛКЕН ДЕРЕКТЕРДІ ӨҢДЕУДЕГІ ЖАСАНДЫ ИНТТЕЛЕКТ

ШАЛҚАРҚЫЗЫ ДАМИРА

І.Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Ақпараттық технологиялар және жасанды интеллект кафедрасының оқытушы-ассистенті

АБДУАЛИЕВА РИМА ЕРГАЛИЕВНА

І.Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Ақпараттық технологиялар және жасанды интеллект кафедрасының оқытушы-дәріскері, PhD

ОРАЗМҰХАМЕТ ӘМІР ЕРЛАНҰЛЫ

І.Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Ақпараттық технологиялар және жасанды интеллект кафедрасының 3 курс білімгері, АЖҚ 211 топ

Аңдатпа: Бұл мақалада бұлтты технологиялар, Big Data және жасанды интеллект жүйелерінің қазіргі цифрлық ортадағы маңызы қарастырылды. Зерттеу барысында деректерді сақтау мен өңдеудің заманауи тәсілдері, ақпараттарды интеллектуалды талдау мүмкіндіктері және бұл технологиялардың әртүрлі салалардағы қолданылу ерекшеліктері сипатталды. Сонымен қатар білім беру, медицина, бизнес және өндіріс салаларындағы практикалық артықшылықтары талданып, цифрлық трансформацияға әсері көрсетілді.

Кілттік сөздер: Бұлтты технологиялар, үлкен деректер, жасанды интеллект, деректерді өңдеу, цифрлық жүйелер, аналитика, автоматтандыру, ақпараттық инфрақұрылым.

Қазіргі таңда ақпараттық технологиялардың қарқынды дамуы қоғам өмірінің барлық саласына әсер етуде. Деректер көлемінің артуы ақпараттарды тиімді сақтау мен талдау қажеттілігін күшейтті. Осыған байланысты Big Data, бұлтты технологиялар және жасанды интеллект жүйелері кеңінен қолданыла бастады.

Бұлтты технологиялар пайдаланушыларға серверлерді, мәліметтер қорын және бағдарламаларды интернет арқылы қолдануға мүмкіндік береді. Мұндай жүйелер ақпараттарды қашықтан сақтап, кез келген уақытта қолжетімді етеді. Сонымен қатар ұйымдарға шығындарды азайтып, инфрақұрылымды икемді басқаруға жағдай жасайды.

Бұл технологиялар ұйымдарға үлкен көлемдегі ақпаратты тиімді басқаруға, мәліметтерді жылдам өңдеуге және нақты шешім қабылдауға көмектеседі. Әсіресе қаржы, білім беру, медицина, өндіріс және бизнес салаларында олардың қолданылу аясы кеңейуде. Мысалы, ірі компаниялар тұтынушылардың сұранысын анықтау үшін Big Data технологияларын пайдаланса, жасанды интеллект сол ақпараттарды талдап, тиімді шешімдер ұсынады. Ал бұлтты есептеулер ақпараттарды қауіпсіз сақтауға және интернет арқылы қолжетімді етуге мүмкіндік береді.

Халықаралық технологиялық компаниялардың ресми мәліметтері бойынша, жасанды интеллект пен бұлтты инфрақұрылым болашақтағы экономиканың негізгі қозғаушы күштерінің бірі болып саналады. Сондықтан аталған технологияларды зерттеу мен оларды тиімді пайдалану қазіргі қоғам үшін маңызды міндеттердің бірі болып табылады.

Бұлтты есептеулер – интернет желісі арқылы серверлерді, бағдарламаларды, мәліметтер қорын және басқа есептеу ресурстарын қолдануға мүмкіндік беретін технология. Дәстүрлі жүйеде пайдаланушы барлық ақпаратты өзінің компьютерінде сақтаса, бұлтты технологияда деректер қашықтағы серверлерде орналасады. Осы арқылы ақпаратты кез келген жерден және кез келген құрылғы арқылы қолдануға болады.

Big Data ұғымы үлкен көлемдегі және үздіксіз жаңарып отыратын ақпараттар жиынтығын білдіреді. Арнайы аналитикалық платформалар арқылы мұндай мәліметтерді өңдеу және талдау жүзеге асырылады. Бұл технологиялар тұтынушылардың сұранысын анықтауға, болашақтағы өзгерістерді болжауға және тиімді басқару шешімдерін қабылдауға көмектеседі.

Жасанды интеллект деректерді талдап, адамның интеллектуалдық әрекеттеріне ұқсас функцияларды орындай алады. Мысалы, машиналық оқыту технологиялары үлкен көлемдегі ақпараттардан заңдылықтарды анықтап, нақты болжам жасауға мүмкіндік береді.

Қазіргі уақытта жасанды интеллект медицинада, қаржы саласында, білім беру жүйесінде және өндірісте кеңінен қолданылуда. Бұлтты есептеулер мен Big Data технологиялары жасанды интеллект жүйелерінің тиімді жұмыс істеуіне негіз болады. Өйткені үлкен көлемдегі деректерді сақтау және өңдеу үшін қуатты инфрақұрылым қажет.

Қорытындылай келе, бұлтты технологиялар, Big Data және жасанды интеллект қазіргі қоғамның маңызды цифрлық құралдарының бірі болып саналады. Олардың даму қарқыны алдағы уақытта одан әрі артып, көптеген салаларда жаңа мүмкіндіктер қалыптастырады. Қазіргі уақытта әлемде күн сайын әлеуметтік желілер, интернет-дүкендер, банктер және мобильді қосымшалар арқылы миллиардтаған деректер қалыптасады. Бұл мәліметтер тұтынушылардың мінез-құлқын зерттеуге, болашақтағы өзгерістерді болжауға және тиімді басқару шешімдерін қабылдауға көмектеседі.

Жасанды интеллект – адамның интеллектуалдық әрекеттерін орындай алатын компьютерлік технология. Ол мәліметтерді талдап, үйреніп, белгілі бір шешімдер қабылдай алады. Жасанды интеллект қазіргі таңда көптеген салаларда қолданылып, өндіріс пен қызмет көрсету жүйелерін автоматтандыруға мүмкіндік беруде.

Жасанды интеллекттің негізгі бағыттары:

1. машиналық оқыту (Machine Learning);
2. нейрондық желілер;
3. табиғи тілді өңдеу;
4. компьютерлік көру;
5. робототехника.

Machine Learning технологиясы арқылы жүйе үлкен көлемдегі деректерді талдап, заңдылықтарды анықтайды. Мысалы, интернет-дүкендер тұтынушылардың алдыңғы сатып алуларына қарап жаңа ұсыныстар береді. Сонымен қатар жасанды интеллект медициналық суреттерді талдап, ауруларды ерте анықтауға көмектеседі. Жасанды интеллект, Big Data және бұлтты есептеулер бір-бірімен тығыз байланысты технологиялар болып табылады. Big Data үлкен көлемдегі ақпаратты жинап сақтаса, бұлтты есептеулер сол ақпараттарды өңдеуге қажетті инфрақұрылымды қамтамасыз етеді. Ал жасанды интеллект деректерді талдап, тиімді шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді.



Сурет 1. Жасанды интеллект, Big Data және бұлтты есептеулердің тығыз байланысы

Компаниялар клиенттердің қажеттіліктерін анықтау үшін жасанды интеллект пен Big Data технологияларын пайдаланады. Мысалы, интернет-дүкендер пайдаланушылардың іздеу тарихын талдап, оларға сәйкес өнімдерді ұсынады. Бұл компаниялардың табысын арттыруға көмектеседі.

Медицинада жасанды интеллект науқастардың мәліметтерін талдап, диагноз қою процесін жылдамдатады. Сонымен қатар бұлтты жүйелер медициналық ақпараттарды қауіпсіз сақтап, дәрігерлердің ақпаратқа тез қол жеткізуіне мүмкіндік береді.

Қашықтан оқыту платформалары оқушылардың білім деңгейін автоматты түрде талдай алады. Жасанды интеллект әр оқушының үлгеріміне сәйкес жеке оқу бағдарламасын ұсынады. Бұл білім беру сапасын арттыруға ықпал етеді.

Банктерде Big Data технологиясы клиенттердің қаржылық әрекеттерін бақылауға мүмкіндік береді. Жасанды интеллект күмәнді операцияларды анықтап, алаяқтық әрекеттердің алдын алады.

Өнеркәсіп орындары жасанды интеллект арқылы өндірістік құрылғылардың жұмысын бақылайды. Арнайы жүйелер техникалық ақауларды алдын ала анықтап, өндірістің тоқтап қалуын азайтады. Бұл кәсіпорындардың тиімділігін арттырады.

Big Data және жасанды интеллект қазіргі ақпараттық қоғамның негізгі технологияларының бірі болып саналады. Олар үлкен көлемдегі ақпаратты сақтау, өңдеу және талдау жұмыстарын жеңілдетеді. Бұл технологиялар бизнес, медицина, білім беру, қаржы және өндіріс салаларының тиімділігін арттыруда маңызды рөл атқарады.

Болашақта жасанды интеллект пен бұлтты технологиялардың дамуы жалғасып, олардың қолданылу аясы одан әрі кеңейеді. Сондықтан аталған технологияларды меңгеру, оларды қауіпсіз әрі тиімді пайдалану қазіргі заман мамандары үшін маңызды талаптардың бірі болып табылады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Киншинбаев А. К. Бұлтты технологияларды қолданудың тиімді жолдары. – Алматы, 2024.
2. Тасуов Б. Цифрлық білім беру жүйелеріндегі бұлтты сервистер. – 2025.
3. Поголовкин Д. Жасанды интеллект және деректерді талдау технологиялары. – 2025.
4. Zhubaniyazova U. Ақпараттық жүйелерді жаңғырту бағыттары. – 2025.
5. Атымтаева Л. и др. Обзор угроз информационной безопасности в предприятии //С. Демирел атындағы университеттің хабаршысы: жаратылыстану және техникалық ғылымдар. – 2020. – С. 119.

ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING THE U.S. DOLLAR EXCHANGE RATE IN SOME COUNTRIES

Otegen Ayazhan

Bachelor student, Department of Mathematics, SDU University, Kaskelen, Kazakhstan

Assylkhanov Duman

Bachelor student, Department of Mathematics, SDU University, Kaskelen, Kazakhstan

Zhumagulova Aikerim

Bachelor student, Department of Mathematics, SDU University, Kaskelen, Kazakhstan

Bazarbayeva Larissa

Assistant Professor, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, SDU University, Kaskelen, Kazakhstan

Abstract. This study examines the macroeconomic factors influencing the U.S. dollar exchange rate in selected countries. The analysis is based on annual data from 1999 to 2024 and includes domestic and global macroeconomic indicators. A multiple linear regression model with lagged variables is used to capture the dynamic nature of exchange rate movements, while feature selection is performed using a combinatorial approach and multicollinearity diagnostics based on the Variance Inflation Factor (VIF). The results indicate that the model demonstrates varying predictive performance across countries, with more accurate results in some economies and less accurate results in others.

Keywords: exchange rate, U.S. dollar, macroeconomic factors, multiple linear regression, lagged variables, VIF, forecasting.

1 Introduction

The U.S. dollar exchange rate is one of the key indicators of the global financial system. As the main reserve currency, the U.S. dollar plays an important role in international trade, capital flows, foreign reserves, and macroeconomic stability. Therefore, changes in exchange rates can affect inflation, interest rates, external balances, investment decisions, and economic growth.

In recent decades, the integration of global financial markets has made exchange rate dynamics more complex. Countries with different economic structures, levels of financial development, exchange rate regimes, and exposure to external shocks demonstrate different patterns of exchange rate movement. This makes it important to identify both domestic and global factors that influence exchange rate changes.

Another important feature of exchange rates is persistence. Current exchange rate values are often related to previous values because of market inertia, expectations, and gradual adjustment processes. For this reason, lagged exchange rate variables should be included in empirical models. The main aim of this study is to analyze the macroeconomic determinants of the U.S. dollar exchange rate across selected countries using a dynamic regression framework. The study focuses on annual data from 1999 to 2024 and includes 15 countries with different economic characteristics.

2 Literature Review

The literature on exchange rate determination can be divided into three main categories: classical models, macroeconomic factors, and theoretical basis. These categories summarize the key

findings of previous studies and help identify the research gap of the present paper. In total, 19 relevant and influential articles were reviewed for this study.

Classical Models

Classical models

Source	Focus	Main Result	Limitation
Meese and Rogoff (1983) (meese1983?)	Traditional exchange rate forecasting models.	Classical exchange rate models often fail to outperform the random walk benchmark.	Weak out-of-sample predictive accuracy.
Ghalayini (2014) (ghalayini2014?)	Modeling and forecasting the USD/EUR exchange rate.	Exchange rates show short-run fluctuations and long-run relationships with fundamentals.	Relatively narrow set of macroeconomic variables.
Allen et al. (2016) (allen2016?)	Nonlinear time series and neural-network exchange rate models.	Nonlinear models can better capture complex exchange rate dynamics.	Potential overfitting and limited interpretability.

Macroeconomic Factors

Macroeconomic factors

Source	Focus	Main Result	Limitation
Patosa and Cruz (2013) (patosa2013?)	Exchange rate movements in selected Asian countries.	Inflation, interest rates, money supply, and industrial production affect exchange rate movements.	Limited sample size and regional focus.
Bouraoui and Phisuthtiwacharavong (2015) (bouraoui2015?)	Determinants of the THB/USD exchange rate.	Trade balance and international reserves significantly affect the exchange rate.	Single-country analysis limits generalization.
Venkatesan and Ponnamma (2017) (venkatesan2017?)	Macroeconomic factors affecting foreign exchange rates.	Inflation, GDP, reserves, and interest rates influence exchange rate dynamics.	Uses a limited set of explanatory variables.

Theoretical Basis

Theoretical basis

Source	Focus	Main Result	Limitation
Branson (1981) (branson1981?)	Macroeconomic determinants of real exchange rates.	Exchange rates are linked to fundamentals such as prices, money supply, and external balance.	Mainly theoretical, with limited empirical testing.
De Jong (1997) (dejong1997?)	Role of macroeconomic fundamentals in exchange rate determination.	Macroeconomic fundamentals explain long-run exchange rate relationships.	Weak short-run explanatory performance.
Bertaut, Von Beschwitz and Curcuru (2021) (bertaut2021?)	International role of the U.S. dollar.	The U.S. dollar remains dominant in global trade, finance, and reserves.	Primarily descriptive rather than predictive.

Research Gap

Previous studies show that macroeconomic factors matter, but many of them focus on a single country, use a limited set of variables, or do not include lagged exchange rate effects. This study addresses these gaps by applying a cross-country dynamic regression model with domestic, global, and lagged macroeconomic variables.

3 Data and Methodology

3.1 Data Description

The study uses annual macroeconomic data for the period 1999–2024. The data were primarily collected from the World Bank database, which provides standardized and internationally comparable economic indicators. The dataset includes 15 countries: Australia, Canada, Denmark, Egypt, Germany, India, Indonesia, Japan, Kazakhstan, Kyrgyz Republic, Mexico, Russian Federation, Thailand, Turkiye, and Vietnam.

The dependent variable is the exchange rate, defined as the value of the U.S. dollar expressed in national currency. The explanatory variables include domestic macroeconomic indicators, external balance indicators, global commodity prices, and U.S. monetary policy variables. The main variables are summarized in Table 4.

Description of variables

Variable	Description
Exchange rate (ER)	Price of the U.S. dollar expressed in domestic currency.
Consumer Price Index (CPI)	Annual percentage change in the general price level of goods and services.
Unemployment rate	Percentage of the labor force that is unemployed and actively seeking work.
GDP growth	Annual percentage growth rate of gross domestic product at constant prices.
Control of corruption	Indicator measuring the extent to which public power is exercised for private gain.
Foreign reserves	External assets held by the central bank, including foreign currencies and securities.
Trade balance	Difference between exports and imports of goods and services.
Current account balance	Net flow of goods, services, income, and transfers between countries.
Industrial production	Measure of output in industrial sectors such as manufacturing, mining, and utilities.
Oil price per barrel	Global market price of crude oil.
Federal Funds Rate	Interest rate at which U.S. banks lend reserves to each other overnight.
Gold price	International market price of gold.

3.2 Data Preprocessing and Feature Selection

Before estimating the econometric model, the dataset was preprocessed to ensure consistency and suitability for time series analysis. Lagged variables were created for selected indicators to capture temporal dependencies and delayed macroeconomic effects. In particular, the lagged exchange rate ER_{t-1} was included to account for persistence and inertia in exchange rate dynamics.

For each candidate combination, the Variance Inflation Factor (VIF) was calculated to assess multicollinearity among the selected predictors. The VIF is defined as:

$$VIF_i = \frac{1}{1 - R_i^2},$$

where R_i^2 is obtained by regressing the i -th variable on all other predictors.

Combinations containing variables with high multicollinearity, defined as $VIF_i > 10$, were excluded from further analysis. The lagged exchange rate ER_{t-1} was retained in all model specifications as a fixed variable due to its theoretical importance and was not included in the VIF-based selection procedure.

After feature selection, the remaining variables were standardized using z-score normalization:

$$X_{std} = \frac{X - \mu}{\sigma},$$

where X denotes the original variable, μ is the mean, and σ is the standard deviation. Standardization was applied after feature selection to improve numerical stability and comparability among predictors.

3.3 Model Specification

To analyze the relationship between macroeconomic variables and the exchange rate, a multiple linear regression model with a dynamic component was employed. The model is specified as follows:

$$ER_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1t} + \beta_2 X_{2t} + \dots + \beta_k X_{kt} + \beta_{k+1} ER_{t-1} + \varepsilon_t,$$

where ER_t is the exchange rate at time t , X_{it} are explanatory variables, β_i are model coefficients, and ε_t is the error term.

The inclusion of the lagged exchange rate ER_{t-1} transforms the model into a dynamic regression framework, allowing it to capture persistence and inertia in exchange rate movements. Exchange rates are known to exhibit strong temporal dependence, meaning that past values significantly influence current levels.

The remaining explanatory variables were selected based on the combinatorial feature selection procedure combined with VIF-based filtering, ensuring stability and interpretability of the regression coefficients.

For each country, multiple candidate models were estimated based on different combinations of explanatory variables. The final model specification was selected based on its performance on both training and testing datasets. This approach ensures that the chosen model not only fits the in-sample data well but also generalizes to unseen observations.

3.4 Evaluation Metrics

To evaluate the performance of the model, three metrics were used: RMSE, MAE, and R^2 . These metrics provide a comprehensive assessment of both predictive accuracy and explanatory power.

The Root Mean Squared Error (RMSE) is defined as:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}.$$

The Mean Absolute Error (MAE) is given by:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i|.$$

The coefficient of determination is defined as:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}.$$

Lower RMSE and MAE values indicate higher predictive accuracy, while higher R^2 values indicate better model fit. RMSE is more sensitive to large errors, whereas MAE measures the average absolute prediction error. These metrics were calculated for both training and testing datasets to assess model accuracy and generalization.

4 Results and Discussion

4.1 Model Performance

The empirical results show that the proposed dynamic regression model provides relatively strong predictive performance for most selected countries. Model performance was evaluated using R^2 , RMSE, MAE, and maximum VIF values. The highest test R^2 values were obtained for Japan and Egypt, followed by Vietnam, Turkiye, and Australia.

Model performance across countries

Country	Test R^2	RMSE	MAE	Max VIF
Japan	0.986	2.037	1.671	6.19
Egypt	0.986	1.371	1.131	7.07
Vietnam	0.971	67.149	47.527	4.51
Turkiye	0.970	1.654	0.949	7.91
Australia	0.968	0.012	0.008	3.38
India	0.937	1.025	0.928	4.31
Denmark	0.935	0.073	0.067	7.21
Canada	0.930	0.011	0.008	5.31
Indonesia	0.927	145.643	108.401	7.28
Thailand	0.884	0.578	0.501	3.69
Germany	0.879	0.013	0.011	5.45
Mexico	0.829	0.566	0.465	3.79
Russian Federation	0.797	4.062	3.076	7.15
Kazakhstan	0.792	9.820	9.204	8.11
Kyrgyz Republic	0.788	1.715	1.323	9.70

The results indicate that the model explains a substantial part of exchange rate variation in many countries. For Japan, Egypt, Vietnam, Turkiye, and Australia, the model demonstrates strong explanatory power. In contrast, lower R^2 values for Kazakhstan, Kyrgyz Republic, and Russian Federation suggest that exchange rate dynamics in these countries may be affected by additional country-specific factors, such as structural changes, policy interventions, geopolitical risks, or external shocks.

RMSE values are not directly comparable across countries because exchange rates are measured on different scales. Therefore, R^2 provides a more reliable basis for cross-country comparison. The VIF results show that multicollinearity remains within acceptable limits, since the maximum VIF values are below the threshold of 10 for all countries.

4.2 Important Macroeconomic Factors

In addition to evaluating model performance, an analysis of the selected explanatory variables was conducted to identify common patterns across countries. The frequency of selected explanatory variables is presented in Figure 1.

Top 10 most frequently selected macroeconomic factors across country-specific models

To facilitate interpretation, the explanatory variables were grouped into global, domestic, and financial or institutional factors. Global factors include oil prices, gold prices, and the Federal Funds Rate, while domestic factors include inflation, GDP growth, trade balance, current account balance, industrial production, and unemployment. Financial and institutional factors include foreign reserves and control of corruption.

The lagged exchange rate ER_{t-1} was included in all models as a fixed variable and was not subject to feature selection.

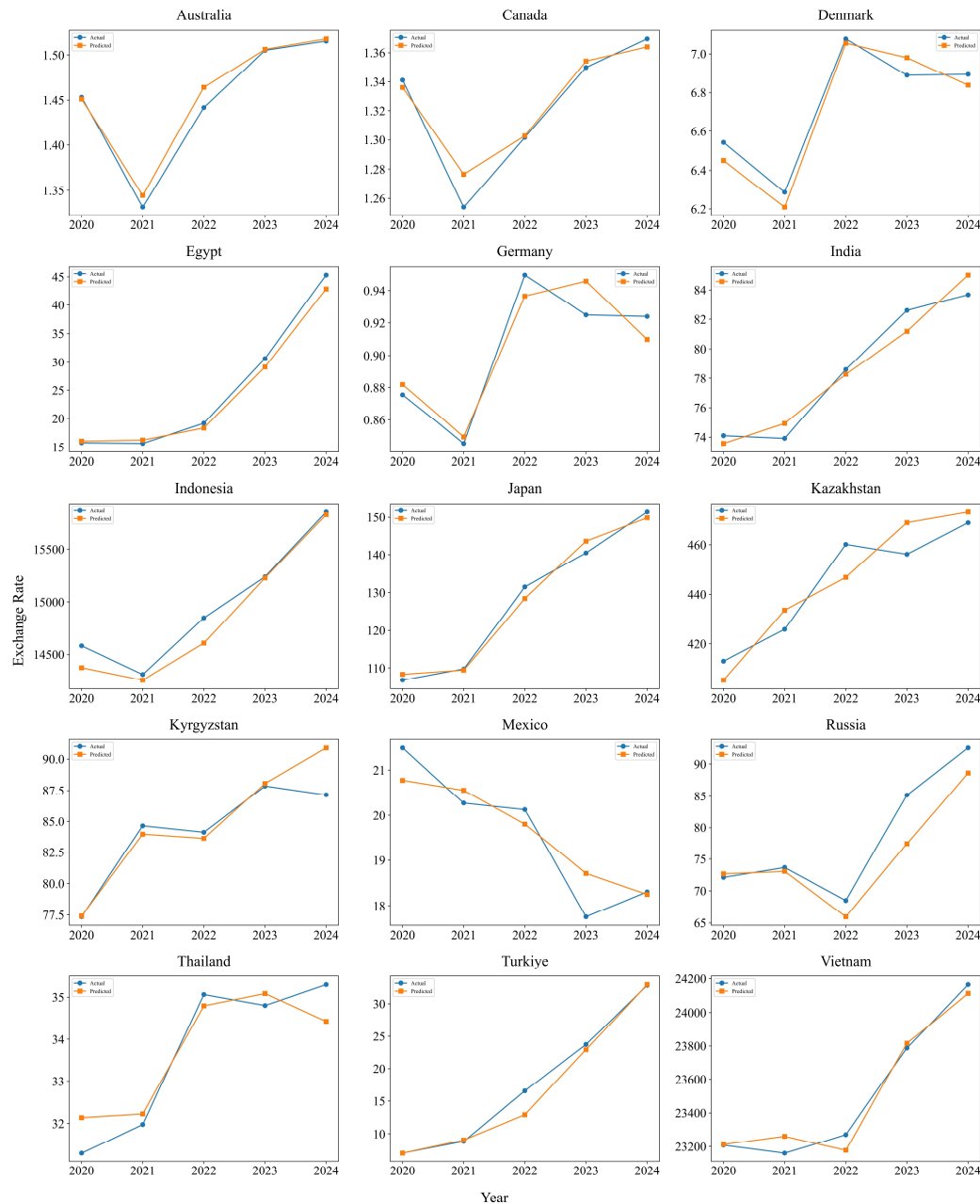
CPI was the most frequently selected factor, appearing in 9 out of 15 country-specific models. Lagged GDP growth was selected in 7 models, the Federal Funds Rate in 6 models, and trade balance, lagged Federal Funds Rate, and lagged unemployment in 5 models each. Lagged current account balance, lagged gold price, oil price, and lagged CPI appeared in 4 models.

These results show that exchange rate dynamics are influenced by both current and lagged macroeconomic variables. Inflation appears particularly important, while lagged GDP growth and unemployment suggest delayed macroeconomic effects. The Federal Funds Rate confirms the role of U.S. monetary policy and global financial conditions.

4.3 Actual and Predicted Exchange Rates

To evaluate the predictive ability of the model visually, actual and predicted exchange rates were compared for all countries.

The graphical comparison shows that the model captures the general direction of exchange rate movements in most countries. The predicted values closely follow the actual values for Australia, Canada, Indonesia, and Japan. However, larger deviations are observed for Kazakhstan, Russian Federation, and Kyrgyz Republic. This suggests that exchange rate behavior in these economies may be influenced by additional factors that are not fully captured by the model. 2



Actual versus predicted exchange rates across countries

4.4 Practical Implementation

In addition to the econometric analysis, a web-based application was developed as part of this research. The purpose of the application is to provide a preliminary prediction of the U.S. dollar

exchange rate for a selected country based on the input values of key macroeconomic indicators used in the model.

The application allows users to select a country, enter relevant economic variables, and obtain a predicted exchange rate generated by the trained model. This demonstrates the practical applicability of the proposed framework and shows how the research results can be implemented in a user-friendly digital environment.



QR code of the developed web application

- 99 Meese R.A., Rogoff K. Empirical exchange rate models of the seventies: Do they fit out of sample? *Journal of International Economics*. 1983. Vol. 14(1–2). P. 3–24.
- Patosa J.B., Cruz A.T. Factors affecting exchange rate movements in selected Asian countries. Philippine Agricultural Economics and Development Association. 2013. P. 1–17.
- Branson W.H. Macroeconomic Determinants of Real Exchange Rates. National Bureau of Economic Research Working Paper No. 0801. 1981.
- Bourauoi T., Phisuthtiwacharavong A. On the determinants of the THB/USD exchange rate. *Procedia Economics and Finance*. 2015. Vol. 30. P. 137–145.
- Khan M.K., Teng J.Z., Khan M.I. Cointegration between macroeconomic factors and the exchange rate USD/CNY. *Financial Innovation*. 2019. Vol. 5(5).
- Venkatesan T., Ponnammam M.S. An Analysis of Macroeconomic Factors Affecting Foreign Exchange Rate. *SDMIMD Journal of Management*. 2017. Vol. 8(1). P. 21–29.
- Blokhina T.K., Karpenko O.A., Guirinskiy A.V. The Relationship between Oil Prices and Exchange Rate in Russia. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2016. Vol. 6(4). P. 721–726.
- Megaravalli A.V., Vikram K. Exchange rate volatility and its impact on macroeconomic factors with respect to the Indian economy. *International Journal of Social Science and Management*. 2016.
- Ghalayini L. Modeling and forecasting the US dollar/euro exchange rate. *International Journal of Economics and Finance*. 2014. Vol. 6(1). P. 194–207.
- Dincer H., Hacıoglu U., Yuksel S. Determining influencing factors of currency exchange rate for decision making in global economy using MARS method. In: *Geopolitics and Strategic Management in the Global Economy*. IGI Global. 2018. P. 13–25.
- Biswas A. et al. Forecasting the United States Dollar/Bangladeshi Taka exchange rate with deep learning models. *PLOS ONE*. 2023. Vol. 18(2). e0279602.
- Abouzaid O., Boussedra F. Artificial Intelligence and Exchange Rate Forecasting: Assessing Predictive Accuracy and Macroeconomic Sensitivity. *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*. 2025. Vol. 11. Article 1654093.
- Yee, Chan. Exploring the Dynamics of Inflation, Interest Rates, and US Dollar Exchange Rates. *AJTM*. 2024.
- De Jong E. Exchange Rate Determination: Is There a Role for Macroeconomic Fundamentals? *De Economist*. 1997. Vol. 145(4). P. 547–572.

- Sengun G., Amanov A. Determinants of Nominal Exchange Rate. *Iktisat Politikasi Arastirmalari Dergisi*. 2019. Vol. 6(1). P. 31–42.
- Allen D.E., McAleer M., Peiris S., Singh A.K. Nonlinear Time Series and Neural-Network Models of Exchange Rates between the US Dollar and Major Currencies. *Risks*. 2016. Vol. 4(1). Article 7.
- Bertaut C., Von Beschwitz B., Curcuru S. The International Role of the US Dollar. Federal Reserve Discussion Paper. 2021.
- Goldberg L.S. Is the International Role of the Dollar Changing? *Current Issues in Economics and Finance*. 2010. Vol. 16(1).
- Naumova A., Popova E. US Dollar as the Key Currency of the Global Financial System. *Society: Politics, Economics, Law*. 2017. No. 5. P. 46–52.
- World Bank. World Development Indicators Database.

БРОУНДЫҚ ҚОЗҒАЛЫС ЖӘНЕ ТЕМПЕРАТУРА АРАСЫНДАҒЫ БАЙЛАНЫС

Тасберік Айкерім Ерланқызы

6B05302-Физика БББ-ның 2 курс студенті

Талипова Айдана Саматқызы

6B05302-Физика БББ-ның 2 курс студенті

Тіллабай Сағыныш Нурмаханбетқызы

6B05302-Физика БББ-ның 2 курс студенті

Жетекшісі:

Нысан Г.М.

педагогикалық ғылымдар магистрі, аға оқытушы

Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

Аннотация. Бұл мақалада броундық қозғалыс пен температура арасындағы өзара байланыс молекулалық-кинетикалық теория негізінде талданды. Зат бөлшектерінің үзіліссіз жылулық қозғалысы және оның температураға пропорционалдығы ғылыми тұрғыда қарастырылды. Қоса алғанда молекулалық физиканың даму тарихын және оның тәжірибелік дәлелдері ұсынылды. Сонымен қатар, температура шкалалары мен олардың физикалық мағынасы берілді. Мақалада броундық қозғалыс және температура арасындағы байланысты қарастыра отырып, температура неғұрлым жоғары болса, молекулалар соғұрлым жылдам қозғалып, броундық бөлшектерді қаттырақ әрі көбірек соқтығысуға алып келетіні берілді.

Түйін сөздер: броундық қозғалыс, температура, Цельсий, Кельвин, молекула.

Аннотация. В данной статье рассматривается взаимосвязь между броуновским движением и температурой на основе молекулярно-кинетической теории. Непрерывное тепловое движение частиц вещества и его пропорциональность температуре рассмотрены с научной точки зрения. Также представлен обзор развития молекулярной физики и её экспериментальные подтверждения. Кроме того, приведены температурные шкалы и их физический смысл. В статье, рассматривая взаимосвязь броуновского движения и температуры, показано, что при повышении температуры молекулы движутся быстрее, что приводит к более частым и интенсивным столкновениям с броуновскими частицами.

Ключевые слова: броуновское движение, температура, Цельсий, Кельвин, молекула.

Молекулалық физиканың қалыптасуы атомдық теорияның көне Грециядан бастау алады. Заттардың өте ұсақ бөлшектерден – атомдардан тұратыны туралы алғаш грек философтары Демокрит пен Эпикур өз көзқарастарын білдірген. Кейінірек бұл теорияны Лукреций Кар дамытты. XVII–XVIII ғасырларда П.Гассенди, Р.Гук және Д.Бернулли молекулалардың үздіксіз қозғалысы мен газдардың кинетикалық теориясы туралы түсініктерді қайта жаңғыртып, ғылымның дамуына үлкен үлес қосты. XIX ғасырда Р.Клаузиус, Дж.Максвелл және Л.Больцман молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі қағидаларын дамытып, газ молекулаларының қозғалысын статистикалық әдістер арқылы түсіндірді. Ал XX ғасырдың басында броундық қозғалысты зерттеу нәтижелері молекулалардың нақты бар екенін тәжірибе жүзінде дәлелдеуге мүмкіндік берді [1].

Броундық қозғалыс молекулалық – кинетикалық теорияда маңызды рөл атқарады. Бұл қозғалысты 1827 жылы ағылшын ботанигі Роберт Броун ашқан. Роберт Броун сұйық ішінде қалқып жүрген ұсақ бөлшектердің бейберекет және ретсіз қозғалыста болатынын тәжірибе

жүзінде дәлелдеген. Сұйықтағы молекулалар броундық бөлшектерге әртүрлі бағытта соқтығысады. Осы соқтығысулардың тең болмауы нәтижесінде бөлшектер ретсіз қозғалыс жасайды. Егер бөлшектің өлшемі үлкен болса, молекулалардың соққылары шамамен теңесіп, оның қозғалысы әлсіз байқалады. Ал ұсақ бөлшектерде соқтығысулар саны аздау болғандықтан, олардың қозғалысы айқынырақ көрінеді. Температура жоғарылаған сайын молекулалардың қозғалыс жылдамдығы артады. Соның әсерінен броундық бөлшектердің қозғалысы да қарқынды бола түседі. Демек, броундық қозғалыс молекулалардың үздіксіз жылулық қозғалысының айқын дәлелі болып табылады. Броундық бөлшекке әсер ететін үйкеліс күші Стокс формуласымен анықталады. Тәжірибе нәтижесінде бұл қозғалыстың пайда болу себебі газ және сұйық молекулаларының жылулық қозғалысы екені анықталды.

$$F=6\eta r u \quad (1)$$

мұндағы,
 η – ортаның тұтқырлық коэффициенті,
 r – бөлшектің радиусы,
 u – оның жылдамдығы [2].

Температура – физикадағы негізгі ұғымдардың бірі болып табылады. Ол дененің жылулық күйін сипаттайтын және жылу алмасу бағытын анықтайтын физикалық шама. Температура молекулалардың қозғалыс қарқындылығымен тікелей байланысты. Температура жоғарылаған сайын молекулалардың қозғалыс жылдамдығы артып, олардың кинетикалық энергиясы көбейеді. Қазіргі кезде температураны өлшеуде негізінен Кельвин және Цельсий шкалалары қолданылады. Цельсий шкаласы судың қату және қайнау нүктелеріне негізделген. Бұл шкала бойынша судың қату температурасы 0°C, ал қайнау температурасы 100°C деп қабылданған. Термодинамикалық температура шкаласының негізгі бірлігі – Кельвин. Абсолюттік нөл температурасы 0 K болып есептеледі. Кельвин және Цельсий шкалаларының арасындағы байланыс мына өрнек арқылы анықталады:

$$T = t + 273,15 \quad (2)$$

$$t = T - 273,15 \quad (3)$$

Мұндағы,
 T – абсолют температура,
 t – Цельсий шкаласы бойынша алынған температура.

Температураның өзгеруі зат молекулаларының қозғалысына әсер етеді. Сондықтан температура молекулалық-кинетикалық теорияның маңызды параметрлерінің бірі болып саналады [3].

1-кесте. Температура шкаласындағы негізгі мәндер

Температура	Сипаттамасы
309–310 K (36–37°C)	Адам денесінің қалыпты температурасы
312–314 K (39–41°C)	Адам үшін қауіпті жоғары дене температурасы
323–333 K (50–60°C)	Адам өміріне өте қауіпті сыртқы орта температурасы
373.15 K (100°C)	Судың қайнау температурасы
273 K (0°C)	Судың қату температурасы
100°C-тан жоғары	Судың буға айналу температурасы
0 K	Абсолют нөл температурасы
293 K (20°C)	Бөлме температурасы
5800 K	Күн бетінің температурасы

Броундық қозғалыс пен температура бір-бірімен, соған сәйкес, молекулалардың жылулық қозғалысымен нақты түсіндіріледі. Сыртқы орта температурасы өзгерген сайын, ондағы молекулалардың кинетикалық энергиясы да соған байланысты өзгереді. Температура артқан кезде молекулалардың қозғалыс интенсивтілігі артып, олардың броундық бөлшекке соқтығысу жиілігі мен әсер ету деңгейі жоғарылайды. Осы соқтығысулардың тепе-теңдіктің бұзылуы нәтижесінде бөлшектің қозғалысы үдей түсіп, оның ретсіз ауытқуы нақтырақ байқалады. Ал температура кеміген жағдайда молекулалардың энергиясы кеміп, соқтығысу бәсеңдейді; соған, сәйкес броундық қозғалыстың интенсивтілігі де бәсеңдейді. Броундық қозғалыстың қарқындылығы тура пропорционал болып, молекулалардың жылулық қозғалысы анық көрінісі ретінде сипатталады. Броундық қозғалыс жалпы физика саласында ғана емес, химия, биология және медицина салаларында кеңінен таралған. Күнделікті өмірде өзіміз байқап жүрген процеске тоқталайық. Мысалы, ыстық шайға қант салғанда оның тез еруі молекулалық қозғалысқа тікелей тәуелді. Су молекулалары температура артқан сайын қозғалыс қарқыны күшейеді және қант түйіршіктерінің бетімен әрекеттесіп, оны ұсақ бөлшектерге диссоциациялайды. Осы бөлшектер судың ішінде бейберекет қозғалып, көлем бойымен біркелкі таралады. Біз білетіндей температураға байланысты ыстық шайда қант тез ериді, ал суық шайда бұл процестің жүру қарқыны төмендейді. Қорытындылай келе, температура мен молекулалық қозғалыс өзара тығыз байланысты және заттардың диффузиясы, фазалық ауысу сияқты процестерді анықтайды.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Оралбаев А.Б., Абекова Ж.А. Молекулалық физикадан лекциялар жинағы. – Алматы: Эпиграф, 2023. – 107 б.
2. Илиясов Н. Молекулалық физика. – Алматы: Қыздар университеті, 2015. – 374 б.
3. Аманқұлов Т.М., Хамза А.Қ. Физика курсы. – Қарағанды: ЖШС Medet Group, 2019. – 332 б.

ЫСТЫҚ КЛИМАТТЫҚ ЖАҒДАЙЛАРДА СУДЫҢ БУЛАНУЫН АЗАЙТУДЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРІ

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ ИСПАРЕНИЯ ВОДЫ В ЖАРКИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Ермекқызы Қаламқас

6B05302-Физика БББ-ның 2 курс студенті

Дәулетханова Аружан

6B05302-Физика БББ-ның 2 курс студенті

Еркебаева Улдай

6B05302-Физика БББ-ның 2 курс студенті

Жетекшісі:

Нысан Г.М.

педагогикалық ғылымдар магистрі, аға оқытушы, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

Аннотация: Бұл мақалада ыстық климаттық жағдайларда судың булануын азайтудың физикалық әдістері туралы көрсетілген. Біз ең алдымен ыстық климаттық жағдайлардың ерекшеліктерін қарастырдық және Қазақстандағы ыстық аймақтар туралы ақпараттармен салыстырдық. Булану процесінің физикалық мағынасына тоқталып, оның молекулалар қозғалысына және температураға қаншалықты тәуелді екенін сипаттадық. Сонымен қатар, судың булануын азайтуға арналған физикалық әдістерге тоқталдық, атап айтқанда, қалқымалы үздіксіз жабындар, пластикалық шарлар және модульдік қалқымалы қондырғылар әдістері талданды.

Түйін сөздер: ыстық климат, судың булануы, физикалық әдістер, қалқымалы жабындар, пластикалық шарлар.

Аннотация: В этой статье показаны физические методы уменьшения испарения воды в жарких климатических условиях. В первую очередь мы рассмотрели особенности жарких климатических условий и сравнили их с информацией о жарких регионах Казахстана. Остановившись на физическом смысле процесса испарения, мы описали, насколько он зависит от движения молекул и температуры. Кроме того, мы сосредоточились на физических методах уменьшения испарения воды, в частности, были проанализированы методы плавающих сплошных покрытий, пластиковых шаров и модульных плавучих установок.

Ключевые слова: жаркий климат, испарение воды, физические методы, плавающие покрытия, пластиковые шары.

Ыстық климат - температура жоғары немесе өте жоғары (+27°C-ден бастап) болатын аймақтарда таралатын климат. Ол ылғалдылық пен температура бойынша климаттардың ерекше классификациясына кіреді және температуралық класс бойынша ең жоғарғы шектік мәнге ие. Оған қарама-қарсы ұғым - суық және аязды климат, ал жылы климат - олардың

орташа мәні болып табылады. Ыстық климатта температура жоғары, ал ылғалдылық - белгісіз (айқындалмаған) болады [1].

Ыстық климат - Жер шарының экваторлық, субэкваторлық және тропиктік белдеулерінде (әдетте +30°C, солтүстік және оңтүстік ендіктер арасында) қалыптасқан, жыл бойына жоғары температурамен сипатталатын ауа-райы.

Бұл климаттық ерекшелік су шаруашылығына, әсіресе суды ашық каналдар арқылы тасымалдау жүйесіне айтарлықтай кері әсерін тигізеді. Физикалық тұрғыдан алсақ, ашық канал - бұл буланудың ең үлкен алаңы. Күн сәулесі тік түсетін аптап ыстыққа жүдеген шақырымға созылған магистральдық каналдар алып «булану бетіне» айналады. Нәтижесінде, егістікке жеткенше, оның 30–40%-ы жай ғана ауаға ұшыпкетеді. Осы 30–40%-дың шығын Қазақстанның оңтүстік өңірлерінде, әсіресе Түркістан мен Қызылорда облыстарында айқын сезіледі. Бұл аймақтардың су арналарының (мысалы, магистральдық каналдардың) басым бөлігі әлі күнге дейін ашық күйде қалып отыр. Бұл жерде мәселе тек судың мөлшерінде емес, оның сапалық өзгеруінде. Қазақстанның шөлді аймақтарында булану процесі судың минералдануын (тұздануын) тездетеді. Мәселен, Оңтүстік Қазақстанның таулы өңірінен тыс бөлігінде жаз тым ыстық әрі ұзақ. Кейбір жылдары ауа температурасы 45-47°C-қа топырақтың беткі қабаты 70°C-қа және одан да жоғары қызуы мүмкін. Қазақстанда жылудың булануға жұмсалатын жылдық шығынының мөлшері солтүстіктен оңтүстікке қарай 630-дан 420 МДж/ м²-ге кемиді.

Жазғы шұраттық құбылыс, яғни булану есебінен күндізгі ауа температурасының қала төңірегіне қарағанда төменірек болуы Алматыда жақсы байқалады. Радиация мен жылу балансының өзгерісі ауа температурасын өзгертеді. Қазақстанның ең жылы айы - шілде. Шілденің орташа температурасы республиканың солтүстігінде (Петропавл) +18,8°C. Оңтүстігінде (Дарбаза) +28,8°C. Жазда жылудың таралуына күн сәулесінің түсу бұрышы мен жер бетін қыздыру қарқыны әсерін тигізеді. Сондықтан оңтүстікте барған сайын ыстық арта түседі. Ең жоғары температура солтүстікте +41°C, ал оңтүстікте +47°C-тан аспайды. Биік таулы аймақтарда жоғары көтерілген сайын шілденің орташа температурасы төмендейді. Мысалы, Алматыда +22,3°C, Медеуде +18,5°C, Күйгенсайда +14,5°C, Үлкен Алматы көлі ауданында +11,4°C болады. Кейбір кездері қоршаған ортаның жылы болатындығына қарамастан, тауларда орташа айлық температура 0°C-тан төмендеп, салқын түсіп, үсік жүретін күндер де болады. Жылдық орташа температураның ауытқуы (амплитуда) республиканың солтүстігінде 38-40°C болса, оңтүстікте ол 30-35°C. Қазақстанның солтүстігінде температураның тәуліктік ауытқуы едәуір. Қаңтар айының орташа тәуліктік ауытқуы -9°C, ал жазда ол +13°C-қа дейін көтеріледі. Оңтүстігінде орташа тәуліктік ауытқуы қаңтар айында -9°C, шілде айында +19°C. Жаздағы ең үлкен тәуліктік ауытқу шөлдерде байқалады (30°C-қа дейін) [2].

Булану. (Сұйықтардың буға айналуы)

Беті ашық ыдыстағы сұйық зат молекулалары біртіндеп ұшып кетеді, яғни газ тәрізді күйге айналады. Буға айналу құбылысы температура талғамайды. Бірақ температура жоғарылаған сайын сұйықтың буға айналу жылдамдығы да артады. Буға айналу құбылысы, сұйықтардың молекулалардың энергиясы, газдағы сияқты, әр түрлі болатындығынан, яғни мәні Т температурамен анықталатын орташа энергиясыдан артық да, кем де болатындығынан болады. Сондықтан әрбір Т температурада сұйықта өте жылдам қозғалатын молекулалар болады, олар сұйықтың бетіне ұшып шығады. Сұйықтың температурасы неғұрлым жоғары болса, жылдам қозғалатын молекулалардың саны соғұрлым көп болады, олай болса сұйық соғұрлым жылдамырақ буға айналады. Буға айналу кезінде сұйықтан неғұрлым жылдам қозғалатын молекулалар ұшып шығады, сонымен қатар олар өздерін сұйықтың ішінде ұстап тұратын молекулалық тартылыс күштеріне істелетін жұмысқа өз энергиясының біразын жұмсайды. Осыдан барып сұйықта қалған

молекулалардың орташа энергиясы кемиді, яғни сұйық салқындайды. Буға айналу кезінде сұйықтың температурасы бірқалыпты болуы үшін оған сырттан жылу беру керек. Бұл жылу буға айналу жылуы деп аталады. Сұйыққа берілген бұл жылу оның температурасын жоғарылатпайды, ол буға айналу кезінде істелетін жұмысқа жұмсалады. Т температурадағы сұйықтың бірлік массасын сол температурада буға айналдыру үшін берілетін жылудың мөлшерін үлесті булану жылуы деп атайды және оның формуласы:

$$Q = r \cdot m \quad (1)$$

Мұндағы:

Q - жұтылатын (немесе бөлінетін) жылу мөлшері, өлшем бірлігі *Джоуль (Дж)*;

r - меншікті булану жылуы, өлшем бірлігі *Дж/кг*;

m - сұйықтың массасы, өлшем бірлігі *кг*.

Булану жылуы сұйықты температурасына байланысты болды. Температура кризистік температураға жақындағанда булану жылуына нөлге жақындайды. Егер буланып жатқан сұйықтың сырттан жылу берілмесе, онда ол салқындайды. Температураны төмендету осыған негізделген. Жылу өткізбейтін ыдыстағы сұйықты буға айналдыру арқылы оны едәуір суытуға болады. Бу сұйыққа айналып конденсацияланғанда оның молекулалары бірін бірі тартады осының нәтижесінде олардың жылдамдығы және кинетикалық энергиясы артады. Сонда сұйықтың температурасы көтеріледі. Буға айналу кезіндегі жұмсалған жылу бу конденсацияланғанда қайтадан бөлініп шығады. Сұйықты қаныққан буының қысымы сыртқы қысымға тең болатындай температураға дейін қыздырғанда, оның тек бет жағы ғана емес, көпішіктер пайда болып, іш жағы да буға айнала бастайды. Судың осылайша булануы қайнау деп аталады. Сонымен, сұйықтың қайнау температурасы оған түсіп тұрған сыртқы қысымға байланысты болды. Қалыпты атмосфералық қысымда су 100°C-да қайнайды. Су төменгі қысымдарда төменгі температурада қайнайды, жоғары қысымдарда жоғары температурада қайнайды. Сұйық қайнағанда пайда болатын бу көпіршіктері көбінесе, әдетте сұйықтың ішіндегі және ыдыстың қабырғасына жабысып тұратын ауа көпіршіктерінің бетінде оңай пайда болады [3].

Шілденің орташа температурасы бұл аудандарда тиісінше 19°C-тан 28-30°C-қа дейін. Қазақстанның солтүстік-шығысында климаттың континенттігі тым жоғары, бұл өңірде қаңтар мен шілденің орташа температурасының айырмашылығы +41°C-қа жетеді. Оңтүстік аудандарда ай бойы орташа тәуліктік температура 0°C-тан жоғарырақ болады. Республиканың солтүстігінде қыс ұзақ, қарлы әрі суық, аяз кей уақыттарда -45°C-тан -50°C-қа жетеді. Жазы қоңыржай жылы, қысқа, кейде ауа температурасы 35°C-тан 45°C-қа дейін қызуы мүмкін [4].

Климаттық көрсеткіштердің мұндай күрт ауытқуы мен жазғы айлардағы 35°C -тан 45°C-қа дейін жететін аптап ыстық Қазақстанның су қоймаларына тікелей «термодинамикалық салмақ» түсіреді. Қазақстанның су қоймаларының көпшілігі жазық аймақтарда орналасқандықтан, олардың беттік ауданы өте үлкен, бірақ тереңдігі салыстырмалы түрде аз. Оның ішінде ең үлкен су қоймасының бірі - Бұқтырма су қоймасы. Су қоймасының толтыру 1960 жылы бөгеттің көмегімен басталды. 1966 жылдан бастап ағынды суларды көпжылдық реттеуді жүзеге асырды. Су қоймасы 2 учаскеден тұрады: өзен - Ертіс өзенінің аңғары бойымен және көл Зайсан, оның орнында кең алқап пайда болды. Бұқтырма сияқты стратегиялық нысандардағы су деңгейін сақтау - тек табиғатқа тәуелді емес, ол инженерлік шешімдерге де байланысты. Сондықтан, осындай алып айдындардағы «термодинамикалық шығынды» тежеу үшін бүгінгі таңда әлемдік практикада дәлелденген, судың беттік қабатына тікелей әсер ететін келесі физикалық азайту әдістерін қолданудың маңызы зор:

Қалқымалы үздіксіз жабындар.

Қалқымалы үздіксіз жабындар, әдетте, су бетінде қалқып жүретін өткізбейтін тосқауыл жасайды. Полиэтилен пластмасса жабынның бұл түрі үшін ең қолайлы және берік материал болып шықты. Сынақтар көрсеткендей, E-VarCaps сияқты қалқымалы жабындар ашық су қоймаларынан булануды 95%-дан астамға азайта алады.

Модульдік қалқымалы қондығылар.

Бұл су бетін қорғай алатын жеке қалқымалы қондырғылар. Қалқымалы модульдік жабындардың мысалдары және пластикалық шарлар болып табылады.

Қалқымалы дискілер (aquacaps)

1-суретте көрсетілгендей, aquacaps - полипропилен мен тығыздығы жоғары полиэтиленнен жасалған диаметрі 1,1 м дөңгелек қалқымалы модульдер. Су қоймаларынан булану шығынын азайту үшін қалқымалы элементтердің тиімділігін бағалау бойынша зерттеулер зертханалық жағдайда жүргізілді. Нәтижелер қалқымалы дискілермен қорғалған резервуардан булану судың ашық бетіне қатысты шамамен 80%-ға азайғанын көрсетті.



1-сурет. Қалқымалы дискілер



2-сурет. Пластикалық шарлар

Пластикалық шарлар

2-суретте көрсетілгендей, экологиялық таза пластикалық шарларды көлдерде, бұлақтарда және бөгеттерде пайдалануға болады. Неру тоғанында (Үндістан) су бетінен булануды азайту үшін пластмассадан жасалған шарларды пайдаланудың тиімділігін бағалау үшін зерттеу жүргізілді. Резервуарды жабу үшін тығыздығы жоғары полиэтилен мен көміртекті қара түсті 4 дюймдік қара шарлар пайдаланылды. Бұл зерттеу шарлардың көлеңкелері резервуардағы буланудың 43%-дан 45%-ға дейін төмендегенін көрсетті [5].

Түйіндей келгенде, жүргізілген жұмыс нәтижесі ыстық климаттық жағдайларда су ресурстарын сақтау мәселесі тек шаруашылық емес, ең алдымен күрделі молекулалық – физикалық процесс екенін айқындады. Молекулалық–кинетикалық теория тұрғысынан талдасақ, ауа температурасының +27°C-ден жоғарылауы сұйық молекулаларының орташа кинетикалық энергиясын күрт арттырып, фазалық ауысуының (буланудың) қарқынды жүруіне соқтырады. Бұл жағдай Қазақстанның оңтүстік өңірлеріндегі ашық су жүйелері үшін үлкен термодинамикалық шығын әкеліп, стратегиялық қордың 30-40%-ын еш пайдасыз ауаға ұшыруда. Мақалада қарастырылып отырған физикалық әдістер бұл мәселені шешудің ең оңтайлы жолдары болып табылады. Әлемдік тәжірибеде дәлелденген бұл физикалық технологияларды Қазақстанның су шаруашылығына, әсіресе Түркістан мен Қызылорда облыстарындағы ашық магистральдық каналдарға енгізу – уақыт талабы. Бұл тек суды үнемдеп қана қоймай, ауыл шаруашылығының тұрақтылығын қамтамасыз ететін ғылыми негізделген қадам болмақ. Ыстық климаттың зардаптарымен күресуде физикалық әдістерді қолдану-су қауіпсіздігіне барар ең қысқа әрі тиімді жол.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Жаркий климат [Электронды ресурс]: <https://weather.fandom.com/ru/wiki/Жаркийклимат>
2. Ә.С.Бейсенова. Қазақстанның физикалық географиясы. - Алматы: ҚР Жоғары оқу орындарының қауымдастығы, 2014.-540б.
3. Молекулалық физика: лекция конспектісі. - Шымкент: Орталық Азия инновациялық университеті, 2023. - 68б.
4. Wikipedia.Қазақстан климаты [Электронды ресурс]: [https://kk.wikipedia.org/wiki/Қазақстан климаты](https://kk.wikipedia.org/wiki/Қазақстан_климаты)
5. Современные методы уменьшения испарения с водных поверхностей [Электронды ресурс]: <https://promservis63.ru/productions/plavayushee-pokrytie-hexa-zashitavodoyomov/sovremennye-metody-umensheniya-ispareniya-s-vodnyh-poverhnosteiy>

Philological Sciences

Psychological Aspect of Advertising and the Use of Motivation in Advertising

Ekaterina Tutisani

Assistant Professor, Central University of Europe, Georgia, Kutaisi

Abstract. The article deals with the psychological aspects of advertising and the use of motivation in advertisements. Advertising uses this information to enhance the intensity of positive motivation and avoid empowering factors. Advertising, which takes these moments, focuses not on advertisements, but on positive emotions. As it is clear from our work, the motives for acquiring industrial goods are quite diverse and in most cases it has an irrational nature. Analysis of motivations conducted by advertisers allows them to influence the user's subconscious level and thus increase the efficiency of advertising.

Advertising text must be in a required format. It should be concise, precise, and psychologically grounded. Advertising is a system of influence that affects the consumer and regulates demand in the context of the general economy. Advertising is effective where there is competition and where each brand seeks to attract its audience. Advertising is an important instrument of the market economy. In its historical context, advertising gradually developed techniques. The evolution of advertising can be divided into stages:

- a) informing about a new product;
- b) stimulating potential consumers;
- c) activating trial response;
- d) consolidating interest;
- e) forming the consumer's conscious decision to purchase the advertised product.

“Advertising initially sought to achieve the consumer's conscious, thoughtful perception of the advertising image, and only then automatic purchase behavior. Now, advertising requires consent from the consumer—perhaps unconscious, but still real” (Mokshantsev, 2000, p. 9).

Advertising is a socio-psychological phenomenon that addresses the deepest human needs. The amount and processing of advertising information, as psychologists have noted, depends on different factors that can be divided into:

1. cognitive;
2. emotional;
3. conative (volitional).

The cognitive aspect involves how a person perceives advertising information. Components of this aspect include attention, perception, memory, comprehension, evaluation, reasoning, and other elements.

In advertising communication, all types of perception are engaged: visual, tactile, auditory, olfactory, and others. When advertisements appear in newspapers or magazines, the initial visual perception defines their relevance. The processed information then reaches the mind and forms a coherent perception. During the perception process, framing, scripts, scenarios, frames, or schemas are important [Heinemann, 2000, 498].

Frames represent “our interpretation of a situation, through which a person perceives certain events [...]. For example, the concept of a ‘monastery’ evokes associations with churches, values,

and established life.” The concept of framing also refers to templates of situations and their development over time, as well as text comprehension [SaraSeniZe, 2010, 13–14].

Understanding occurs through interpretation. Humans perceive and comprehend only what they are interested in. If a person is interested in an advertised product, understanding is increased.

Memory is a crucial psychological process that directly affects advertising effectiveness. Memory types include:

1. **Long-term memory (Langzeitgedächtnis):** stores information that a person remembers throughout life. For example, it may be retained in a family, at home, or in memory of important events.
2. **Short-term memory (Kurzzeitgedächtnis):** information retained for a limited time.
3. **Ultra-short-term memory (Ultrakurzzeitgedächtnis):** information that a person retains for a very short time (a few seconds or minutes), for example, a phone number or address [Vester, 1996, 55–68; Wettler, 1980, 14–15; Morozov/Romasenko, 1982, 23–25; Mikheev/Melnichuk, 1981, 44].
- 4.

Wettler [1980, 15] describes the function of these types of memory as follows:

Ultra-short-term memory	Short-term memory	Long-term memory
Temporary retention of information	Retention of information for a short time	Retention of information for long-term use

The process of conveying and receiving advertising information involves all types of memory.

Attention is the ability to focus perception and process information according to standard rules. Advertising perception involves different operations (comparison, analysis, synthesis, etc.), but associative perception dominates.

The emotional aspect of advertising reflects affective responses to advertising objects, or how it influences potential consumers: sympathy, antipathy, or neutrality. Visual perception is most effective for emotional processing, guided by the principle: like – like, dislike – dislike. Conatively, advertising involves all types of volitional activities. Specialists note that positive feelings toward the advertised product affect the perception of information.

The conative component manifests as decision-making, as well as the formation of the consumer’s will. Initially, conscious motives, considerations, and reasoning are active; later, intuition also plays a role. Psychoanalysis emphasizes irrational, unconscious motives, including sexual needs, as Freud [1989] described. Skinner’s method highlights potential learning and rational and acquired behaviors [Skinner, 1999, 118]. Modern advertising also functions as a stimulus affecting both conscious and unconscious motives.

Thus, the quantity and processing of advertising information primarily depend on three main factors: cognitive, emotional, and conative.

Humans perceive not only logically but also physiologically and emotionally. Modern advertising specialists use psychological theories to explain behavior:

- Humans know what they want when it is present;
- Humans know what they lack when it is absent, but cannot define its exact form;
- Humans do not know what is missing until they encounter it.

The second and third levels of understanding involve motivation analysis. Motives can be verbalized, reasoned, and logically structured, or unconscious. Motivation influences consumer behavior, often irrationally. Other motives relate to prestige, fashion, and tradition. Advertising campaigns often trigger additional motives, such as love, desire for wealth, compulsive shopping, or shopping mania.

The structure of motives has a psychological framework that allows specialists to analyze how a consumer will respond. Analysis of motives helps advertisers understand consumer decision-making and measure advertising effectiveness.

Advertising intensifies positive motivation and directs attention toward desired factors, emphasizing positive emotions rather than the advertisement itself. Motives for acquiring industrial goods are diverse and often irrational. Analysis of motivations conducted by advertisers allows them to influence the subconscious level and thus increase advertising effectiveness.

The article deals with the psychological aspects of advertising and the use of motivation in advertisements. Advertising uses this information to enhance the intensity of positive motivation and avoid empowering factors. Advertising, which takes these moments, focuses not on advertisements, but on positive emotions. As it is clear from our work, the motives for acquiring industrial goods are quite diverse and in most cases it has an irrational nature. Analysis of motivations conducted by advertisers allows them to influence the user's subconscious level and thus increase the efficiency of advertising.

References:

1. Sarashenidze, N. (2010). Standard and Deviation in German Texts. Tsereteli State University, Kutaisi.
2. Motsch, W. (2000). *Textuelle Grundfunktionen*. In A. Burkhardt, H. Steger, & H.-E. Wiegand (Eds.), *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft* (Vol. 16.1). Berlin/New York: Walter de Gruyter.
3. Vikentyev, I. (1993). Advertising Techniques: Methodology for Advertisers and Marketing Specialists. Novosibirsk: Logos.
4. Pakratov, F. (2002).. Advertising Activity. Moscow.
5. Heinemann, K. (2000). *Textanalyse und Frame-Struktur in Werbungen*.

Verbalization of the Concept of "Mother" in English and Kazakh Languages

Saparova Alina Melsovna

4th-year student of the educational program «Foreign Language: Two Foreign Languages», Faculty of Philology, M. Utemisov West Kazakhstan University, Uralsk, Kazakhstan.

Scientific supervisor:

Utemissova Elmira Klimovna

Master of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer

Annotation

Abstract: This article examines the verbalization of the concept of "Mother" in English and Kazakh languages from a linguocultural perspective. The study analyzes lexical units, phraseological expressions, proverbs, and culturally specific meanings associated with the image of the mother in both languages. Special attention is paid to similarities and differences in the representation of motherhood, maternal care, family values, and emotional associations. The article also discusses how language reflects national mentality and cultural identity through the concept of "Mother".

Keywords: mother concept, verbalization, English language, Kazakh language, linguocultural analysis, concept, phraseological units, proverbs, family values

Research Objective: The objective of this study is to identify and analyze the linguistic means of verbalizing the concept of "Mother" in English and Kazakh languages, to compare their semantic features, and to examine cultural values reflected through this concept.

Introduction

Language reflects the worldview, traditions, and cultural values of a nation. One of the most significant and universal concepts in every culture is the concept of "Mother". The image of the mother is associated with love, care, sacrifice, wisdom, and emotional support. However, different cultures verbalize this concept in unique ways depending on historical, social, and cultural factors.

In English and Kazakh languages, the concept of "Mother" occupies an important place in linguistic and cultural consciousness. In Kazakh culture, the mother is strongly connected with family traditions, respect, and moral upbringing, while in English-speaking cultures, motherhood is often associated with care, emotional support, and individuality.

The aim of this article is to analyze the verbalization of the concept of "Mother" in English and Kazakh languages and to identify similarities and differences in linguistic representation.

1. Theoretical Background

In linguistics, a concept is understood as a culturally significant mental unit that reflects human experience, beliefs, and values. The concept of "Mother" is verbalized through lexical items, phraseological units, idioms, proverbs, metaphors, and symbolic expressions.

From a linguocultural perspective, the concept of "Mother" includes:

- emotional meanings (love, care, warmth)
- social roles (protector, educator, supporter)
- cultural symbolism
- moral and spiritual values

In both English and Kazakh languages, the concept reflects family relationships and social norms, although cultural emphasis differs.

2. Methodology

The study is based on comparative linguistic analysis of lexical and phraseological units related to the concept of "Mother" in English and Kazakh languages. Proverbs, idiomatic expressions, literary examples, and dictionary materials were analyzed to determine semantic and cultural features.

The following methods were used:

- comparative analysis
- semantic analysis
- linguocultural interpretation
- contextual analysis

3.1 Common Verbalization of the Concept of "Mother"

Language	Examples	Cultural Meaning
English	mother, mom, motherhood, motherly love	Care, emotional support, affection
Kazakh	ана, шеше, ана махаббаты, ақ сүтін ақтау	Respect, sacrifice, family values
English Proverbs	"A mother's love never ends"	Unconditional love
Kazakh Proverbs	"Анаңды Меккеге үш арқалап апарсаң да, қарызыңнан құтыла алмайсың"	Deep respect for mother

3.2 Similarities and Differences in Cultural Representation

The analysis demonstrates that both languages represent the mother as a symbol of love, support, and care. In both cultures, the mother is viewed as an essential figure in a child's life.

However, some differences can be observed. In Kazakh culture, the mother is strongly associated with respect, sacrifice, and moral authority. Proverbs often emphasize gratitude and lifelong respect toward mothers. For example, expressions related to "mother's milk" symbolize moral responsibility and filial duty.

In English-speaking cultures, expressions about mothers are often emotionally oriented and focus on care, support, and affection. Idioms and sayings commonly stress emotional closeness and nurturing qualities.

3.3 Role of Language in Reflecting Cultural Values

Language plays an important role in preserving and transmitting cultural values associated with motherhood. Through proverbs, idioms, and literary texts, societies express attitudes toward mothers and family relationships. The concept of "Mother" therefore becomes not only a linguistic phenomenon but also a reflection of national identity.

For example:

- English: "Like mother, like daughter."
- Kazakh: "Ана көрген тон пішер."

These examples demonstrate how cultural traditions and behavioral expectations are transmitted through language.

Conclusion

Furthermore, the comparative analysis demonstrates that language serves not only as a communication tool but also as a reflection of cultural identity and collective values. The concept of “Mother” in both English and Kazakh languages reveals important social attitudes toward family relationships, moral education, and emotional support. Through linguistic units such as proverbs, idioms, and symbolic expressions, societies preserve cultural beliefs associated with motherhood and transfer them to future generations.

In addition, the study confirms that despite cultural differences, the concept of “Mother” remains one of the most emotionally significant and universally respected concepts in human society. Both English and Kazakh linguistic traditions emphasize the important role of mothers in shaping children’s personalities, maintaining family harmony, and providing emotional and moral guidance. However, cultural distinctions influence the way this role is linguistically represented and socially understood.

Another important finding of the research is that Kazakh linguistic culture tends to emphasize moral responsibility, respect, gratitude, and sacrifice related to motherhood, whereas English-speaking cultures often focus on emotional closeness, care, and personal support. These differences reflect broader cultural values and social expectations present in each linguistic community.

Finally, studying the concept of “Mother” through comparative linguistic analysis contributes to a deeper understanding of intercultural communication and national worldviews. Such studies help reveal the relationship between language and culture and demonstrate how important human values are preserved through linguistic expression. Future research may further explore other family-related concepts and compare their representation across different languages and cultures.

References

1. Lakoff, G., & Johnson, M. (2003). *Metaphors we live by*. University of Chicago Press. <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/M/bo3637992.html>
2. Wierzbicka, A. (1997). *Understanding cultures through their key words*. Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/understanding-cultures-through-their-key-words-9780198238769>
3. Kecskes, I. (2014). *Intercultural pragmatics*. Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/intercultural-pragmatics-9780199892656>
4. Kövecses, Z. (2010). *Metaphor: A practical introduction*. Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/metaphor-a-practical-introduction-9780195374940>
5. Kramsch, C. (1998). *Language and culture*. Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/language-and-culture-9780194372145>
6. Aitchison, J. (2012). *Words in the mind: An introduction to the mental lexicon*. Wiley-Blackwell. <https://www.wiley.com/en-us/Words+in+the+Mind%3A+An+Introduction+to+the+Mental+Lexicon%2C+4th+Edition-p-9781118353280>
7. Қайдар, Ә. (1998). Қазақ тілінің өзекті мәселелері. Алматы.
8. Жанпейісов, Е. (2004). Қазақ тілінің этномәдени лексикасы. Алматы.
9. Сейілханова, А. (2010). Қазақ тіліндегі лингвомәдени бірліктер. Алматы

Comparative Analysis of the Concept of 'Mother' in English and Kazakh Languages

Saparova Alina Melsovna

4th-year student of the educational program «Foreign Language: Two Foreign Languages», Faculty of Philology, M. Utemisov West Kazakhstan University, Uralsk, Kazakhstan

Scientific supervisor:

Utemissova Elmira Klimovna

Master of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer

Annotation

Abstract: This article presents an extensive comparative analysis of the concept of 'Mother' in English and Kazakh languages from linguistic, semantic, cognitive, and cultural perspectives. The research investigates lexical units, phraseological expressions, metaphorical meanings, proverbs, literary representations, and symbolic interpretations associated with motherhood in both linguistic traditions. The study identifies similarities and differences in how the image of the mother is verbalized and culturally represented. Special attention is devoted to emotional meanings, family values, national traditions, social expectations, and the moral role of mothers in both societies. The article also examines how linguistic means reflect cultural identity and influence the perception of motherhood in English-speaking and Kazakh communities.

Keywords: mother concept, comparative analysis, English language, Kazakh language, linguocultural studies, verbalization, motherhood, phraseological expressions, semantic analysis, family values, cultural identity

Research Objective: The purpose of this study is to conduct a comprehensive comparative analysis of the concept of 'Mother' in English and Kazakh languages, examine linguistic means of its verbalization, identify similarities and cultural distinctions, and determine how motherhood is represented through language and cultural traditions.

Introduction

Language plays a fundamental role in reflecting human consciousness, cultural identity, traditions, and values. It is not only a means of communication but also a mirror of social beliefs and collective experience. Every language contains concepts that reflect national mentality and shape the worldview of its speakers. One of the most important universal concepts shared by all cultures is the concept of 'Mother'. The image of a mother is associated with care, affection, sacrifice, protection, emotional support, patience, and unconditional love.

Throughout history, mothers have occupied an important position in family and social life. Regardless of nationality or religion, motherhood has always been viewed as a source of emotional security and moral guidance. However, despite universal understanding of motherhood, different nations interpret and verbalize the concept in unique ways according to their traditions, customs, historical development, and cultural norms.

In Kazakh culture, the image of the mother is considered sacred. Mothers are respected not only for giving birth but also for educating children, preserving family values, and maintaining moral stability within society. Numerous proverbs, sayings, and literary works in Kazakh culture emphasize the importance of gratitude, obedience, and lifelong respect toward mothers.

In English-speaking cultures, motherhood is also highly valued. However, linguistic representations often focus more on emotional support, personal relationships, psychological

care, and emotional closeness between parents and children. Idioms and expressions in English frequently portray mothers as loving, supportive, and emotionally available figures. The purpose of this article is to compare the concept of 'Mother' in English and Kazakh languages and analyze similarities and differences in linguistic and cultural representation.

1. Theoretical Background

In linguistics and cognitive studies, the term 'concept' refers to a mental representation of knowledge, beliefs, experiences, and emotions. Concepts are deeply connected with culture because they reflect collective understanding shared by society. According to linguocultural studies, concepts are verbalized through lexical units, metaphors, phraseological expressions, literary texts, and proverbs.

The concept of 'Mother' belongs to universal concepts because it exists in every language and culture. However, although the biological role of motherhood is similar worldwide, linguistic interpretation and cultural emphasis vary significantly. In some societies, mothers are associated mainly with care and affection, while in others they symbolize wisdom, sacrifice, moral authority, and family honor.

The concept of 'Mother' may be verbalized through several linguistic means:

- lexical nominations (mother, mom, мummy, ана, шеше)
- phraseological expressions and idioms
- proverbs and sayings
- literary descriptions
- symbolic and metaphorical representations

From a semantic perspective, motherhood includes emotional, social, and moral meanings. Emotionally, mothers are connected with love, support, kindness, and warmth. Socially, mothers are regarded as caretakers and educators. Morally, they are often represented as role models and protectors of family values.

2. Methodology

This research is based on comparative, semantic, and linguocultural analysis of lexical and phraseological means related to the concept of 'Mother' in English and Kazakh languages. The study relies on theoretical sources, dictionaries, literary texts, phraseological units, and traditional proverbs in order to determine how the concept is represented in both cultures.

Several research methods were used:

- comparative analysis to identify similarities and differences;
- semantic analysis to explore meanings associated with motherhood;
- contextual interpretation to understand cultural connotations;
- descriptive analysis to explain linguistic examples;
- linguocultural approach to connect language and national identity.

These research methods allow a deeper understanding of the symbolic meaning of motherhood and explain how language reflects cultural expectations regarding family roles.

3.1 Lexical Representation of the Concept of 'Mother'

The concept of 'Mother' is represented through different lexical units in both English and Kazakh languages. The choice of words often reflects emotional closeness, respect, cultural values, and family traditions.

In English, words such as 'mother,' 'mom,' 'mum,' and 'mummy' are widely used. Each form has slightly different emotional coloring. For example, 'mom' is considered more informal and emotionally warm, while 'mother' sounds more formal.

In Kazakh, words such as ‘ана,’ ‘шеше,’ and ‘апа’ are commonly used. The word ‘ана’ often appears in literary and formal contexts, symbolizing respect and sacred motherhood.

Language	Lexical Unit	Example	Cultural Meaning
English	mother, mom, mum, mummy	motherly love	care, affection, support
Kazakh	ана, шеше, апа	ана махаббаты	respect, sacrifice, family unity
English	motherhood	Motherhood changes people	maternal responsibility
Kazakh	ақ сүтін ақтау	Ана сүтін ақтау	gratitude and moral duty

3.2 Proverbs and Phraseological Expressions

Proverbs and phraseological expressions play an important role in reflecting cultural perceptions of motherhood. They contain moral values and social attitudes that are transmitted from generation to generation.

English proverbs about mothers often emphasize love, emotional support, and similarities between parents and children. Examples include:

- “A mother’s love never ends.”
- “Like mother, like daughter.”
- “God could not be everywhere, so he created mothers.”

Kazakh proverbs strongly emphasize respect and gratitude:

- “Ана көрген тон пішер.”
- “Анаңды Меккеге үш арқалап апарсаң да, қарызыңнан құтыла алмайсың.”
- “Ана сүтін ақтамағанды ешкім жақтамайды.”

These examples demonstrate that Kazakh culture views mothers as sacred figures deserving lifelong respect, whereas English culture frequently focuses on emotional relationships and family attachment.

3.3 Similarities and Differences in Cultural Perception

Both English and Kazakh cultures recognize mothers as essential members of family life. In both traditions, mothers symbolize kindness, support, emotional warmth, and protection.

Nevertheless, cultural differences can be observed. Kazakh society traditionally considers motherhood a moral responsibility strongly linked with family honor and national values. Mothers are expected to educate children according to traditions and ethical principles.

In English-speaking cultures, motherhood is commonly associated with psychological care, emotional closeness, individual development, and emotional encouragement. Mothers are often portrayed as emotional companions rather than authority figures.

Despite these differences, both cultures highly value maternal love and acknowledge the important role mothers play in shaping future generations.

3.4 Representation of Motherhood in Literature

Literature serves as an important source for understanding cultural attitudes toward motherhood. In Kazakh literature, the mother is frequently portrayed as patient, wise, and morally strong. Writers emphasize sacrifice, emotional strength, and devotion to family.

In English literature, mothers are also presented as caring and emotionally supportive figures. Literary works often focus on emotional relationships between mothers and children and psychological development within families.

Through literary representation, societies preserve traditional values and cultural understanding of motherhood.

Conclusion

This research demonstrates that the concept of 'Mother' occupies a central and culturally significant position in both English and Kazakh linguistic consciousness. Across both languages, the mother is universally associated with fundamental human values such as love, care, protection, sacrifice, emotional warmth, and moral support. These shared universal meanings confirm that motherhood is one of the most deeply rooted and emotionally powerful concepts in human cognition and cultural experience.

At the same time, the comparative analysis reveals that the verbalization and cultural interpretation of the concept differ considerably due to historical development, social structure, religious beliefs, and national traditions. In Kazakh linguocultural space, the image of the mother is strongly sacralized and connected with concepts of honor, duty, respect, and intergenerational continuity. The mother is perceived not only as a caregiver but also as a moral authority, a transmitter of cultural values, and a guardian of family unity. Proverbs, sayings, and traditional expressions emphasize lifelong gratitude and unconditional respect toward mothers, reflecting the collectivist and tradition-oriented nature of Kazakh culture.

In contrast, English-speaking cultures tend to conceptualize motherhood more through the lens of individualism, emotional interaction, and psychological support. The mother is often represented as an emotionally accessible figure who contributes to the personal growth, independence, and emotional well-being of the child. Linguistic expressions and literary works in English highlight intimacy, emotional bonding, and mutual understanding within the family, reflecting a more individual-centered cultural model.

Despite these differences, both linguistic traditions converge on the recognition of motherhood as a fundamental social and emotional institution that plays a crucial role in shaping human identity and personality. The concept of 'Mother' serves as a bridge between language and culture, demonstrating how linguistic structures encode collective values, ethical norms, and cultural worldview.

Overall, this comparative study contributes to a deeper understanding of how universal human concepts are culturally interpreted and linguistically expressed. It also highlights the importance of linguocultural analysis in revealing hidden cultural meanings embedded in language. Future research may expand this analysis by including additional languages and exploring how globalization influences the transformation of the motherhood concept in modern societies.

References

10. Lakoff, G., & Johnson, M. (2003). *Metaphors we live by*. University of Chicago Press. <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/M/bo3637992.html>
11. Wierzbicka, A. (1997). *Understanding cultures through their key words*. Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/understanding-cultures-through-their-key-words-9780198238769>
12. Kecskes, I. (2014). *Intercultural pragmatics*. Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/intercultural-pragmatics-9780199892656>
13. Kövecses, Z. (2010). *Metaphor: A practical introduction*. Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/metaphor-a-practical-introduction-9780195374940>
14. Sharifian, F. (2017). *Cultural Linguistics*. John Benjamins Publishing. <https://benjamins.com/catalog/cll.4>
15. Evans, V. (2019). *Cognitive Linguistics: A Complete Guide*. Edinburgh University Press. <https://edinburghuniversitypress.com/book-cognitive-linguistics.html>
16. Evans, V., & Green, M. (2006). *Cognitive Linguistics: An Introduction*. Edinburgh University Press. <https://edinburghuniversitypress.com/book-cognitive-linguistics-an-introduction.html>
17. Langacker, R. W. (2008). *Cognitive Grammar: A Basic Introduction*. Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/cognitive-grammar-9780195331967>
18. Maslova, V. A. (2001). *Linguoculturology*. Academia Publishing.
19. Қайдар, Ә. (1998). Қазақ тілінің өзекті мәселелері. Алматы.
20. Жанпейісов, Е. (2004). Қазақ тілінің этномәдени лексикасы. Алматы.
21. Смағұлова, Г. (2010). Тіл және мәдениет мәселелері. Алматы.
22. Сыздықова, Р. (2014). Сөз құдіреті. Алматы.

ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ХЕДЖИНГА В НАУЧНОМ ДИСКУРСЕ: КОРПУСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Коскенова Айым Казбековна

Докторант, Казахский Национальный педагогический университет имени Абая

Аннотация

В статье рассматривается лингвистическая реализация хеджинга в научном дискурсе с опорой на корпусные исследования. Особое внимание уделяется определению понятия хеджинга, основным этапам его изучения и классификации хедж-маркеров. Подчёркивается, что хеджинг представляет собой не изолированное языковое средство, а прагматическую стратегию, реализующуюся в конкретном коммуникативном контексте.

Теоретической основой исследования выступает теория вежливости Пол Браун и Стивен Левинсон, в рамках которой хеджинг рассматривается как средство сохранения «лица» участников коммуникации и поддержания конструктивного научного диалога.

Методологическую базу работы составляет корпусный подход с учётом социолингвистических факторов. На материале научных текстов анализируются частотность, разнообразие и функциональные особенности хедж-маркеров. Установлено, что хеджирование реализуется средствами разных частей речи — существительными, глаголами, прилагательными, наречиями, а также устойчивыми сочетаниями. Особое внимание уделяется лексическим кластерам — воспроизводимым конструкциям из двух–пяти компонентов, характерным для научного стиля.

Результаты исследования подтверждают, что ни одно языковое средство не обладает хеджирующей функцией изначально: данная функция определяется контекстом употребления и коммуникативной установкой автора. Также рассматривается проблема межъязыковой вариативности средств хеджинга и её значение для академической коммуникации.

Ключевые слова: *хеджинг, научный дискурс, теория вежливости, корпусный анализ, хедж-маркеры, лексические кластеры, академическая коммуникация.*

Abstract

The article examines the linguistic realization of hedging in academic discourse based on corpus research. Particular attention is paid to the definition of hedging, the main stages of its study, and the classification of hedge markers. It is emphasized that hedging should not be regarded as an isolated linguistic device, but rather as a pragmatic strategy implemented within a specific communicative context.

The theoretical framework of the study is based on the politeness theory developed by Paul Brown and Stephen Levinson, within which hedging is viewed as a means of preserving the “face” of communication participants and maintaining constructive academic dialogue.

The methodological foundation of the research is the corpus-based approach that takes sociolinguistic factors into account. The frequency, diversity, and functional features of hedge markers are analyzed on the basis of academic texts. The study demonstrates that hedging is realized through various parts of speech, including nouns, verbs, adjectives, adverbs, as well as fixed expressions. Special attention is paid to lexical clusters — recurrent constructions consisting of two to five components that are characteristic of academic style.

The results of the study confirm that no linguistic unit possesses a hedging function inherently; this function is determined by the context of use and the author's communicative intention. The article also addresses the problem of cross-linguistic variability of hedging devices and its significance for academic communication.

Keywords: *hedging, academic discourse, politeness theory, corpus analysis, hedge markers, lexical clusters, academic communication.*

Введение

Хеджинг в современной лингвистике рассматривается как важный механизм организации речевого взаимодействия. В широком смысле под ним понимаются языковые средства, которые позволяют говорящему смягчить категоричность высказывания, обозначить степень вероятности сообщаемого и тем самым сделать коммуникацию более гибкой и корректной. Если обратиться к словарным определениям, хеджирование связано с идеей защиты от возможных рисков и уклонения от слишком прямой или однозначной позиции. Именно поэтому данный феномен получил широкое распространение не только в повседневной речи, но и в академическом дискурсе.

Интерес к проблеме хеджинга сформировался во второй половине XX века. Значительный вклад в разработку понятия внесли работы Джордж Лакофф, где хеджинг был описан как средство выражения неопределённости [Lakoff, 1973]. Позднее проблема получила развитие в исследованиях, посвящённых прагматике, дискурс-анализу, корпусной лингвистике и теории вежливости. В настоящее время хеджинг понимается не только как языковая форма, но и как коммуникативная стратегия, регулирующая отношения между участниками общения.

С точки зрения теории вежливости П. Браун и С. Левинсон, хеджирование помогает сохранить «лицо» участников коммуникации. Автор научного текста, используя смягчённые формулировки, избегает навязывания собственной позиции как единственно верной, оставляет пространство для альтернативных интерпретаций и демонстрирует уважение к читателю [Brown, Levinson, 1987]. В этом проявляется особая ценность хеджинга для научного общения, где важны не только точность фактов, но и этика академического взаимодействия.

Несмотря на значительное количество исследований, проблема хеджинга остаётся актуальной. Попытки описывать его исключительно как семантическое или только как прагматическое явление не дают целостной картины. Для полноценного понимания необходимо учитывать контекст употребления, жанровые особенности текста, коммуникативную ситуацию и частотность языковых средств.

Цель данного исследования — определить основные способы языковой реализации хеджинга в русском научном дискурсе, выявить наиболее продуктивные группы хедж-маркеров и проанализировать их функции на материале корпусных данных. Особое внимание уделяется частотности средств хеджирования в академическом дискурсе по данным НКРЯ.

Методы исследования

Исследование выполнено с использованием описательного, сопоставительного и корпусного методов анализа. Основным источником эмпирического материала послужили данные Национальный корпус русского языка, позволяющие проследить частотность употребления различных средств хеджирования в академическом дискурсе.

В качестве единиц анализа были выбраны наиболее типичные хедж-маркеры, относящиеся к нескольким группам:

- модальные глаголы и глаголы мнения;
- наречия степени и приблизительности;
- вводные слова и конструкции;
- существительные с семантикой вероятности, предположения и оценки.

Для каждой единицы учитывались:

1. количество текстов, в которых она встречается;
2. общее число употреблений;
3. частотность на миллион словоупотреблений (IPM).

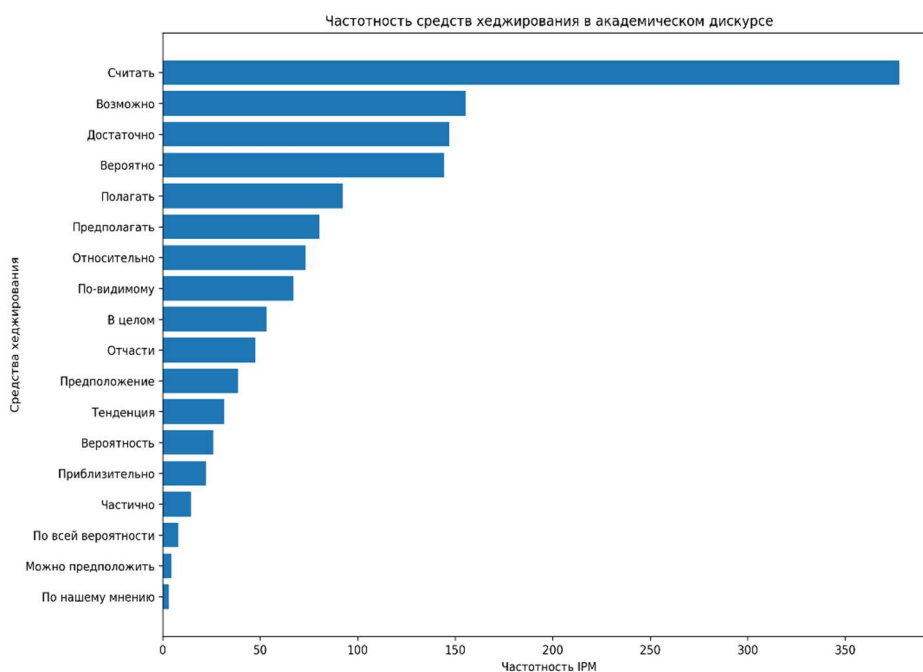
Такой подход позволил не только перечислить языковые средства хеджирования, но и выявить их реальную востребованность в академической коммуникации.

Таблица 1. Частотность средств хеджирования в академическом дискурсе (по данным НКРЯ).

Модальные глаголы			
Хеджи	тексты	примеры	Частотность IPM
<i>Полагать</i>	12 747	36 032	92,52
<i>Считать</i>	33 449	147 049	377,56
<i>Предполагать</i>	13 171	31 357	80,51
Наречия			
<i>Достаточно</i>	21 094	57 259	147,02
<i>Приблизительно</i>	4561	8619	22,13
<i>Относительно</i>	11 147	28 521	73,23
<i>В целом</i>	10 403	20 747	53,27
<i>Частично</i>	3568	5647	14,5
Вводные слова и конструкции			
<i>Вероятно</i>	13 216	56 149	144,17
<i>Возможно</i>	20 500	60 469	155,26
<i>По-видимому</i>	7709	26 182	67,22
<i>Отчасти</i>	6648	18 446	47,36
<i>Можно предположить</i>	1386	1837	4,72
<i>По всей вероятности</i>	1652	3097	7,95
<i>По нашему мнению</i>	792	1214	3,12
Существительные с семантикой вероятности и оценки:			
<i>Вероятность</i>	4745	10 167	26,1
<i>Предположение</i>	6326	15 085	38,73
<i>Тенденция</i>	5732	12 320	31,63

Результаты и обсуждение

Проведённый анализ показал, что в русском академическом дискурсе хеджирование реализуется через разные языковые уровни, однако распределение маркеров неодинаково.



1. Модальные глаголы и глаголы мнения

Наиболее высокой частотностью обладает глагол считать (377,56 IPM), значительно опережающий формы полагать (92,52 IPM) и предполагать (80,51 IPM). Это свидетельствует о том, что научный текст чаще строится не на категоричном утверждении, а на формулировке авторской позиции как результата размышления.

Сравним:

- Категорично: Данное явление связано с изменением жанра.
- Хеджировано: Можно считать, что данное явление связано с изменением жанра.

Использование подобных глаголов снижает степень прямолинейности и делает вывод более академически корректным.

2. Наречия степени и приблизительности

Среди наречий наиболее частотны достаточно (147,02 IPM), относительно (73,23 IPM), в целом (53,27 IPM), приблизительно (22,13 IPM). Эти единицы позволяют автору избежать чрезмерной точности там, где она методологически невозможна или нецелесообразна.

Например:

- Результаты достаточно устойчивы.
- Структура в целом сохраняется.
- Показатели приблизительно совпадают.

Такие формы демонстрируют научную осторожность и соответствуют нормам доказательного изложения.

3. Вводные слова и конструкции

Высокую частотность показывают единицы возможно (155,26 IPM), вероятно (144,17 IPM), по-видимому (67,22 IPM), отчасти (47,36 IPM). Именно эта группа является одной из центральных в системе научного хеджинга, поскольку напрямую маркирует степень уверенности автора.

Например:

- Вероятно, различия связаны с жанровыми особенностями текста.
- По-видимому, данная модель требует уточнения.
- Возможно, полученные данные отражают более широкий процесс.

Такие конструкции позволяют автору представить гипотезу без навязывания окончательного вывода.

4. Существительные с семантикой вероятности

Среди существительных выделяются предположение (38,73 IPM), тенденция (31,63 IPM), вероятность (26,1 IPM). Их функция заключается в концептуализации неопределённости как научной категории.

Например:

- Можно говорить о тенденции к усложнению структуры текста.
- Существует вероятность изменения параметров модели.

Интерпретация результатов через теорию вежливости

Полученные данные подтверждают, что хеджинг в научном дискурсе выполняет не только когнитивную, но и социально-прагматическую функцию. С позиций теории вежливости он помогает сохранить баланс между авторитетом автора и уважением к читателю.

Автор, используя формы возможно, предположительно, можно считать, фактически сообщает: «Это мой аргументированный вывод, но я оставляю пространство для научной дискуссии». Тем самым снижается угроза «негативному лицу» адресата — его праву не принимать чужую точку зрения безусловно. Одновременно сохраняется и «позитивное лицо» автора, поскольку позиция выражается корректно, без излишней категоричности. Для академической среды это особенно важно, так как научное знание развивается через обсуждение, уточнение и проверку гипотез, а не через безапелляционные утверждения.

Выводы

Проведённое исследование показало, что хеджинг является неотъемлемой частью русского научного дискурса и реализуется средствами разных частей речи и синтаксических конструкций. Наиболее продуктивными оказались вводные слова, глаголы мнения, наречия степени и существительные с семантикой вероятности.

Данные НКРЯ свидетельствуют о высокой частотности маркеров считать, возможно, вероятно, достаточно, что подтверждает устойчивый характер хеджирования в академической речи.

Хеджинг выполняет сразу несколько функций:

- снижает категоричность высказывания;
- обозначает степень уверенности автора;
- делает аргументацию более гибкой;
- поддерживает нормы академической вежливости;
- способствует конструктивному научному диалогу.

Таким образом, хеджирование следует рассматривать не как второстепенный стилистический элемент, а как важнейший инструмент научной коммуникации и регуляции межличностных отношений в академической среде.

Список использованной литературы:

1. Богинская О. А. Лексико-синтаксические актуализаторы хеджирования в академическом дискурсе // Научные труды РУДН, 2023
2. Власян Г.Р. Хеджирование как способ гармонизации общения в процессе социального взаимодействия // Журналистский текст в новой технологической среде : достижения и проблемы : сборник материалов III Конференции PMMIS (Post mass media in the modern informational society) / под общ. ред. М.В. Загидуллиной. Челябинск : ЧелГУ, 2019. С. 74–77.
3. Ларина Т. В. Категория вежливости и межкультурная коммуникация. Москва: Языки славянской культуры, 2009
4. Малюга Е. Н. Академический дискурс: прагматика и текстовые стратегии. Москва: Флинта, 2018.
5. Михалева Е. И., Пушнина И. В. Прагматические особенности хеджирования в академическом дискурсе // Вестник МГПУ. Филология. Лингводидактика, 2022.
6. Панченко Н. Н., Волкова Я. А. Категория категоричности в научном дискурсе // Вестник ВолГУ, 2020.
7. Светайлов Б. В. Риторика научного дискурса и стратегии аргументации // Филологические науки, 2022.
8. Brown P., Levinson S. Politeness : some universals in language usage. Cambridge : Cambridge University, 1987. 360 p.
9. Hyland, K. *Hedging in Academic Writing and EAP Textbooks*. English for Specific Purposes, 1994.
10. Lakoff J. The logic of politeness : or, minding your p's and q's // Papers from the 9th Regional Meeting of the Chicago Linguistic Society / ed. by C. Corum. Chicago : Chicago Linguistic Society, 1973. Pp. 292–305.

The Integration of Gamification in Online Platforms for Foreign Language Education

Amantaikyzy S.

4th-year student, Educational Programme “Foreign Language and Two Foreign Languages”, M. Utemisov West Kazakhstan University

Abstract

Abstract: This article explores the pedagogical impact of integrating gamification elements within web-based online platforms (such as Quizizz, Kahoot!, Wordwall, and Baicizhan) to enhance foreign language acquisition. Moving beyond simple mobile applications, this study analyzes how structured digital gamification environments alter the cognitive and motivational profiles of language learners. Grounded in contemporary computer-assisted language learning (CALL) frameworks, the paper examines the structural division of game elements—including dynamics, mechanics, and components—and evaluates their specific contribution to vocabulary retention, reading comprehension, and the reduction of foreign language anxiety. Furthermore, the study addresses critical pedagogical limitations, such as the risk of "chocolate-covered broccoli" design (superficial gamification) and the overreliance on extrinsic rewards. Finally, it outlines balanced instructional strategies for blending gamified online platforms with systematic classroom methodologies in higher education.

Keywords: Gamification, Online Platforms, CALL, Quizizz, Kahoot!, Structural Gamification, Extrinsic Motivation, Foreign Language Anxiety.

Introduction

The rapid digitalization of higher education has necessitated a paradigm shift from teacher-centric instruction to interactive, student-driven learning environments. In the field of foreign language learning (FLL), maintaining sustained learner engagement and mitigating performance anxiety remain major instructional hurdles. While traditional rote memorization often results in low situational motivation, modern web-based online platforms present an alternative via **gamification**—the strategic implementation of game design elements within non-game educational contexts (Luo, 2023).

Unlike standalone mobile applications meant for casual use, browser-based online platforms (e.g., Quizizz, Kahoot!, Wordwall) allow for synchronous classroom engagement, real-time diagnostic evaluation, and collaborative macro-tasks. The purpose of this study is to analyze the theoretical dimensions of digital gamification in FLL, classify the mechanisms of leading online platforms, and establish empirically grounded methodologies for their integration into foreign language curricula.

1. Theoretical Framework: Meaningful Gamification and CALL

The theoretical integration of gamification into Computer-Assisted Language Learning (CALL) relies heavily on understanding how game architecture interacts with human psychology. Rather than viewing games as mere entertainment, modern methodology separates gamification into structural and content-based approaches.

According to the foundational structural framework established by Werbach and Hunter, a successful gamified system is built on a hierarchy of three core elements: **Dynamics**, **Mechanics**, and **Components** (Pujolà & Appel, 2022).

- **Dynamics** form the overarching grammar of the system (e.g., progression, emotional arc, constraints).
- **Mechanics** drive the immediate instructional action forward (e.g., competition, rapid feedback loops, cooperation).
- **Components** are the explicit digital manifestations of those mechanics (e.g., leaderboards, points, badges, quests).

In language classrooms, this structural hierarchy operates alongside **Self-Determination Theory (SDT)** by Deci and Ryan, which argues that effective learning environments must satisfy three basic psychological needs: *autonomy* (feeling in control of learning), *competence* (feeling effective), and *relatedness* (feeling connected to peers) (Nguyen, 2024). When online platforms align their digital components with these three psychological drivers, they transition from superficial gamification into "meaningful gamification" (Luo, 2023).

2. Classification of Gamified Online Platforms in FLL

Different online platforms serve distinct linguistic goals depending on how their game components are mapped onto pedagogical tasks. Based on recent systematic classifications, digital tools used in university-level FLL can be organized into three main functional categories (Luo, 2023; Zhang & Hasim, 2023):

Platform Category	Core Examples	Key Gamification Components Used	Primary Language Learning Target
Synchronous Audience Response Systems	Kahoot!, Mentimeter	Timed countdowns, instant points, competitive live leaderboards, musical cues.	Active lexical retrieval, grammar parsing under time constraints, formative assessment.
Asynchronous Gamified Quizzing Platforms	Quizizz, Wordwall	Avatars, power-ups, redemption questions, customized theme music, individual pace control.	Reading comprehension strategies, individual spelling/morphology retention, diagnostic self-testing.
Adaptive Micro-Scaffolding Platforms	Baicizhan, ClassDojo	Daily streaks, card-based unlocking systems, progressive difficulty levels, automated feedback loops.	Contextual vocabulary expansion, cognitive structural memory reinforcement.

3. Cognitive and Affective Benefits of Gamified Platforms

Empirical data from recent mixed-methods studies highlight major advantages of online gamification over traditional text-based drills, particularly in the cognitive and affective (emotional) domains:

Mitigation of Foreign Language Anxiety (FLA)

Traditional classroom environments often trigger high performance anxiety during oral production or rapid testing. In contrast, gamified digital platforms provide a low-stakes "safe failure" zone (Nguyen, 2024). Because mistakes within platforms like Wordwall or Quizizz result in lost digital points rather than social embarrassment or immediate low grading, learners show a dramatic decrease in communicative nervousness (Laura-De La Cruz et al., 2023).

Cognitive Load Optimization

Advanced online platforms use intelligent micro-task sequencing to optimize the learner's working memory. By dividing complex syntactic structures or large lexical sets into small, scaffolded micro-quizzes, platforms lower extraneous cognitive load while boosting germane load through immediate, automated feedback loops (Abdullaeva, 2026).

Enhanced Language Enjoyment and Autonomy

The inclusion of sensory stimuli (visuals, animations) combined with adaptive challenges—where the platform adjusts task difficulty to match the user's growing proficiency—creates a psychological state of "flow" (Zhang & Hasim, 2023). This state fosters internal learner initiative, transforming language practice from a compulsory chore into an autonomous, highly enjoyable activity.

4. Structural Limitations: The "Chocolate-Covered Broccoli" Dilemma

Despite clear pedagogical benefits, digital gamification faces significant structural and conceptual criticisms that educators must address:

The Superficiality Trap: Many commercial language tools are criticized for offering "chocolate-covered broccoli"—merely pasting flashy graphics, points, and leaderboards over dull, uninspired grammar-translation tasks without actually changing the underlying pedagogy (Luo, 2023).

- **The Novelty Decay:** The positive motivational impact of game elements is frequently short-lived. Once the initial novelty of badges and leaderboards wears off, student engagement drops significantly if the platform prioritizes raw competition over meaningful linguistic feedback (Zhang & Hasim, 2023).
- **Extrinsic Overjustification Effect:** Relying too heavily on external rewards (points, streaks) can damage a student's intrinsic desire to master the language. Students may focus entirely on "gaming the system" to win points rather than deeply processing semantic meanings (Nguyen, 2024).
- **The Collaborative Deficit:** A large portion of existing online tools focus almost entirely on individual lexical matching or competitive translation drills, frequently neglecting crucial FLL goals like authentic social interaction, context exploration, and free oral collaboration (Luo, 2023).

5. Methodological Strategies for Classroom Integration

To maximize the value of gamified online platforms while avoiding their drawbacks, higher education instructors should employ systematic instructional designs:

The "Gamified Sandwich" Method (Blended Lesson Design)

Online platforms should never serve as a standalone curriculum. Instead, instructors can structure a blended lesson into three distinct phases:

1. **Pre-Game Scaffolding:** Traditional, contextualized instruction introducing new linguistic structures (lexicon, grammar paradigms).
2. **Gamified Production/Practice:** Utilizing a **Quizizz** or **Kahoot!** session to provide high-energy, rapid retrieval practice, reinforcing memory retention through mechanics like time limits and challenges.

3. **Post-Game Reflective Analysis:** Reviewing the platform's automatically generated analytics dashboard to address collective linguistic errors, spelling mistakes, and structural misconceptions in a non-gamified, deeply analytical discussion.

Shifting from Competition to Cooperation

To counteract the stress of aggressive leaderboards, teachers should utilize the "Team Mode" configurations available in platforms like Kahoot! and Quizizz. Grouping students into collaborative squads wraps the competitive mechanics in a layer of peer-to-peer cooperation, satisfying the *relatedness* need of Self-Determination Theory and boosting group accountability.

Conclusion

The integration of gamified online platforms into foreign language classrooms represents a massive step forward for digital pedagogy. By effectively translating structural game components into specific language tasks, web platforms like Quizizz, Kahoot!, and Wordwall successfully optimize cognitive load, minimize foreign language anxiety, and drive student engagement.

However, to prevent gamification from becoming a superficial aesthetic gimmick, it must be deployed as an integrated element of a comprehensive blended learning design. Future developments in digital language education will likely rely on combining these gamified mechanics with generative AI to offer highly personalized, conversational, and deeply meaningful language environments.

References

- 1 Abdullaeva, B. S. (2026). Gamified AI for fostering vocabulary retention and motivation: A phenomenological study of Uzbek EFL learners. *Computer-Assisted Language Learning Electronic Journal*, 27(1), 112–130.
- 2 Laura-De La Cruz, K. M., Noa-Copaja, S. J., Turpo-Gebera, O., Montesinos-Valencia, C. C., Bazán-Velasquez, S. M., & Pérez-Postigo, G. S. (2023). Use of gamification in English learning in Higher Education: A systematic review. *Journal of Technology and Science Education*, 13(2), 480–495. <https://doi.org/10.3926/jotse.1740>
- 3 Luo, Z. (2023). The effectiveness of gamified tools for foreign language learning (FLL): A systematic review. *Behavioral Sciences*, 13(4), 331. <https://doi.org/10.3390/bs13040331>
- 4 Nguyen, L. T. (2024). Beyond the game: The theoretical exploration of gamification in foreign language teaching. *Castledown Applied Linguistics Proceedings*, 11(2), 75–89.
- 5 Pujolà, J. T., & Appel, C. (2022). Gamification for technology-enhanced language teaching and learning. In *Research Anthology on Developments in Gamification and Game-Based Learning* (pp. 992-1010). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-3710-0.ch045>
- 6 Shortt, M., Tilak, S., & Johnston, K. (2021). Gamification in mobile-assisted language learning: A systematic review of Duolingo. *Computer Assisted Language Learning*, 34(5-6), 478–502.
- 7 Yang, W. (2025). Exploring the potential of gamified reading: The effects of Duolingo on L2 reading, self-efficacy, and learner experiences in a Chinese university EFL context. *PLOS ONE*, 20(2), e0314562.
- 8 Zhang, S., & Hasim, Z. (2023). Gamification in EFL/ESL instruction: A systematic review of empirical research. *Frontiers in Psychology*, 13, Article 1030790. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1030790>

Pedagogical Sciences

Болашақ математика мұғалімдерін даярлауда математиканы оқытудың әдістемелік жүйесін жобалаудың дидактикалық негіздері

Н.Бегалы

«Математика мұғалімдерін даярлау» БББ магистранты, Қорқыт ата атындағы Қызылорда университеті, Қазақстан

Н.Аширбаев

Физика-математика ғылымдарының докторы, профессор

Кіріспе

Қазіргі білім беру жүйесіндегі жаһандық өзгерістер педагог кадрларды даярлау мазмұнына жаңа талаптар қояды. Әсіресе, математикалық білім беру саласында болашақ мұғалімнің тек теориялық білімді меңгеруі жеткіліксіз болып, кәсіби-педагогикалық, әдістемелік және цифрлық құзыреттіліктерді кешенді түрде қалыптастыру қажеттілігі артып отыр. Бұл жағдай математиканы оқыту үдерісін ұйымдастырудың дәстүрлі тәсілдерін қайта қарастырып, оқытудың әдістемелік жүйесін ғылыми негізде жобалауды талап етеді. Қазіргі таңда білім алушының танымдық белсенділігін дамыту, функционалдық сауаттылығын қалыптастыру, математикалық ойлауын жетілдіру және практикалық міндеттерді шешуге бейімдеу мәселелері математикалық білім берудің негізгі бағыттарының біріне айналды.

Болашақ математика мұғалімдерін даярлау жүйесінде әдістемелік даярлықтың маңызы ерекше. Себебі мұғалімнің кәсіби сапасы тек пәндік білім деңгейімен емес, сол білімді тиімді ұйымдастыра алуымен, оқытудың әдістері мен технологияларын орынды қолдануымен, оқу процесін педагогикалық тұрғыдан жобалай алуымен анықталады. Осыған байланысты математиканы оқытудың әдістемелік жүйесін жобалау мәселесі педагогикалық білім беру теориясы мен практикасындағы өзекті ғылыми бағыттардың бірі болып табылады. Әдістемелік жүйені жобалау барысында оның құрылымдық компоненттері, дидактикалық негіздері, оқыту мақсаттары мен мазмұны арасындағы өзара байланыс жүйелі түрде қарастырылуы қажет.

Соңғы жылдары білім беру саласында құзыреттілікке бағытталған оқыту, цифрлық технологияларды пайдалану, STEM білім беру, зерттеушілік және проблемалық оқыту тәсілдері кеңінен енгізілуде. Алайда бұл бағыттардың болашақ математика мұғалімдерін даярлаудағы әдістемелік жүйемен ықпалдасу ерекшеліктері әлі де толық нақтыланбаған. Практикада математиканы оқыту әдістемесін ұйымдастыру көбіне дәстүрлі мазмұндық модельдерге сүйенеді және оқыту процесін жүйелі жобалау мәселесіне жеткілікті деңгейде назар аударылмайды. Бұл өз кезегінде болашақ мұғалімдердің кәсіби даярлығында теория мен практиканың арасындағы алшақтықтың сақталуына алып келеді.

Осыған байланысты біз болашақ математика мұғалімдерін даярлау жағдайында математиканы оқытудың әдістемелік жүйесін жобалаудың дидактикалық негіздерін анықтау және олардың мазмұндық ерекшеліктерін нақтылауды мақсат етіп алдық. Зерттеу

барысында әдістемелік жүйенің құрылымдық компоненттері талданып, оны жобалаудың тиімді дидактикалық шарттары қарастырылады.

Зерттеудің негізгі сұрағы: болашақ математика мұғалімдерін даярлауда математиканы оқытудың әдістемелік жүйесін жобалаудың қандай дидактикалық негіздері тиімді болып табылады?

Әдебиеттерге шолу

Педагогика ғылымында «әдістемелік жүйе» ұғымы оқыту процесінің мақсаттары, мазмұны, әдістері, формалары мен құралдарының өзара байланысқан тұтас құрылымы ретінде қарастырылады. Бұл бағыттағы классикалық зерттеулердің бірі болып саналатын Андрей Пышкало еңбектерінде әдістемелік жүйенің негізгі компоненттері мақсат, мазмұн, әдіс, форма және оқыту құралдары ретінде анықталған. Зерттеуші математиканы оқыту тиімділігі осы компоненттердің өзара үйлесімділігіне тәуелді екенін көрсетеді. Кейінгі педагогикалық зерттеулерде де әдістемелік жүйе білім беру нәтижесіне бағытталған ұйымдасқан педагогикалық құрылым ретінде сипатталады.

Математиканы оқыту әдістемесінің дамуы білім беру парадигмаларының өзгеруімен тікелей байланысты болды. Дәстүрлі оқытуда математикалық білімді дайын күйінде беру мен алгоритмдік есептер шығаруға басымдық берілсе, қазіргі кезеңде білім алушының танымдық белсенділігі мен зерттеушілік әрекеті маңызды орынға шықты. Лев Выготский ұсынған әлеуметтік-мәдени теорияда білім арудың тұлғаның белсенді әрекеті арқылы жүзеге асатыны негізделсе, Джером Брунер еңбектерінде *discovery learning* тәсілі арқылы білімді өз бетінше құрастырудың маңызы көрсетілген. Бұл идеялар кейіннен математиканы оқытудағы конструктивистік тәсілдердің қалыптасуына негіз болды.

Қазіргі математикалық білім беруде проблемалық және зерттеушілік оқыту тәсілдерінің маңызы артып келеді. Джордж Пойа математикалық есептерді шешу барысында логикалық ойлау мен зерттеушілік әрекетті дамытудың қажеттілігін атап көрсеткен. Оның «*How to Solve It*» еңбегі математикалық ойлау стратегияларын қалыптастырудағы маңызды жұмыстардың бірі болып саналады. Сонымен қатар *inquiry-based learning* тәсіліне арналған зерттеулерде математиканы оқыту барысында ашық тапсырмалар мен дәлелдеуге бағытталған әрекеттер білім алушылардың аналитикалық қабілетін дамытуға ықпал ететіні көрсетіледі.

Педагогикалық жобалау теориялары да әдістемелік жүйені ұйымдастыруда маңызды орын алады. Владимир Беспалько педагогикалық технологияны алдын ала жобаланған және нақты нәтижеге бағытталған жүйе ретінде қарастырып, оқыту процесін модельдеудің ғылыми негіздерін ұсынды. Оның еңбектерінде оқыту мазмұнын жүйелі жобалау білім беру сапасын арттырудың негізгі факторларының бірі ретінде сипатталады. Осы бағыттағы зерттеулерде педагогикалық жобалау білім беру процесін ұйымдастырудың тиімді механизмі ретінде бағаланып, болашақ мұғалімдердің кәсіби даярлығымен тығыз байланыста қарастырылады.

Құзыреттілікке негізделген білім беру тұжырымдамасы қазіргі педагогикалық зерттеулердің маңызды бағыттарының біріне айналды. Александр Хуторской еңбектерінде құзыреттілік тұлғаның білімді практикалық жағдайда қолдана алу қабілеті ретінде түсіндіріледі. Болашақ математика мұғалімдерін даярлау барысында әдістемелік, цифрлық және коммуникативтік құзыреттерді қалыптастыру мәселесі ерекше маңызға ие. Осыған байланысты математиканы оқытудың әдістемелік жүйесі кәсіби-бағдарланған тапсырмалар мен практикалық әрекеттер арқылы ұйымдастырылуы тиіс екені көптеген зерттеулерде көрсетіледі.

Соңғы жылдары цифрлық технологиялар математикалық білім беру жүйесіне елеулі ықпал етуде. GeoGebra, Desmos сияқты цифрлық құралдар математикалық ұғымдарды

визуализациялауға және интерактивті оқыту ортасын қалыптастыруға мүмкіндік береді. Михаэль Борба және әріптестерінің зерттеулерінде цифрлық технологиялардың математикалық түсінікті тереңдетуге және білім алушылардың оқу мотивациясын арттыруға әсер ететіні көрсетілген. Сонымен қатар STEM білім беру тұжырымдамасы математика пәнін жаратылыстану және инженерлік бағыттармен ықпалдастыра оқытудың маңызын күшейтті. Бұл бағыттағы зерттеулер болашақ мұғалімдердің пәнаралық байланыс орнату және қолданбалы есептерді пайдалану дағдыларын дамыту қажеттілігін негіздейді.

Әдебиеттерді талдау нәтижесінде болашақ математика мұғалімдерін даярлау мәселесі көптеген ғылыми еңбектерде қарастырылғанымен, математиканы оқытудың әдістемелік жүйесін жобалаудың дидактикалық негіздері мен оны жүзеге асыру шарттарының өзара байланысы жеткілікті деңгейде жүйеленбегені анықталды. Әсіресе қазіргі цифрлық білім беру жағдайында әдістемелік жүйені жобалаудың құрылымы мен мазмұнын нақтылау қажеттілігі сақталуда. Осы мәселе зерттеудің ғылыми өзектілігін айқындайды.

Зерттеу әдіснамасы

Зерттеу барысында болашақ математика мұғалімдерін даярлау жағдайында математиканы оқытудың әдістемелік жүйесін жобалаудың дидактикалық негіздерін анықтауға бағытталған теориялық зерттеу әдістері қолданылды. Зерттеудің әдіснамалық негізін педагогикалық жобалау теориялары, құзыреттілікке бағытталған оқыту тұжырымдамасы және математикалық білім берудің заманауи бағыттары құрады.

Зерттеу барысында ең алдымен педагогикалық, психологиялық және әдістемелік әдебиеттерге теориялық талдау жүргізілді. Теориялық талдау арқылы «әдістемелік жүйе», «дидактикалық шарт», «педагогикалық жобалау», «математиканы оқыту әдістемесі» ұғымдарының ғылыми мазмұны қарастырылып, олардың өзара байланысы анықталды. Сонымен қатар болашақ математика мұғалімдерін даярлау мәселесіне арналған отандық және шетелдік зерттеулер сараланды.

Салыстырмалы талдау әдісі арқылы математиканы оқытудың дәстүрлі және заманауи тәсілдерінің ерекшеліктері қарастырылды. Атап айтқанда, құзыреттілікке негізделген оқыту, цифрлық технологияларды қолдану, зерттеушілік және STEM бағытындағы оқыту тәсілдерінің әдістемелік мүмкіндіктері салыстырылды. Бұл талдау математиканы оқытудың әдістемелік жүйесін жобалауда тиімді дидактикалық негіздерді анықтауға мүмкіндік берді.

Жүйелеу әдісі зерттеу барысында қарастырылған ғылыми тұжырымдар мен педагогикалық идеяларды құрылымдауға қолданылды. Нәтижесінде математиканы оқытудың әдістемелік жүйесінің негізгі компоненттері мен оларды жобалаудың дидактикалық шарттары жүйеленді. Сонымен қатар модельдеу әдісі арқылы болашақ математика мұғалімдерін даярлауда қолданылатын әдістемелік жүйенің құрылымдық моделі ұсынылды. Ұсынылған модельде мақсаттық, мазмұндық, технологиялық және нәтижелік компоненттердің өзара байланысы қарастырылды. Бұл модель математиканы оқыту процесін ғылыми негізде ұйымдастыруға және болашақ мұғалімдердің кәсіби-әдістемелік даярлығын жетілдіруге бағытталды.

Әдістемелік жүйені жобалаудың дидактикалық негіздері

Болашақ математика мұғалімдерін даярлау жағдайында математиканы оқытудың әдістемелік жүйесін жобалау бірнеше өзара байланысты дидактикалық негіздерге сүйенуі тиіс. Себебі қазіргі білім беру жүйесі мұғалімнен тек математикалық білімді меңгеруді ғана емес, сонымен қатар оқыту процесін ғылыми негізде ұйымдастыра алу, цифрлық технологияларды қолдану және білім алушылардың танымдық белсенділігін дамыту қабілетін талап етеді. Осыған байланысты зерттеу барысында әдістемелік жүйені жобалаудың негізгі дидактикалық негіздері анықталды.

Бірінші негіз – құзыреттілікке бағытталған оқыту. Қазіргі педагогикалық зерттеулерде білім нәтижесі білім көлемімен емес, оны практикалық жағдайда қолдану мүмкіндігімен анықталатыны көрсетіледі. Александр Хуторской құзыреттілікті тұлғаның іс-әрекет барысында қалыптасатын интегративті сапасы ретінде қарастырады. Осыған сәйкес математиканы оқытудың әдістемелік жүйесі болашақ мұғалімдердің кәсіби-педагогикалық әрекетке дайындығын қалыптастыруға бағытталуы қажет. Бұл үшін оқыту барысында практикалық есептер, кәсіби жағдаяттар, сабақ жобалау тапсырмалары және әдістемелік талдау жұмыстары енгізілуі тиіс.

Екінші негіз – студентке бағытталған және конструктивистік оқыту. Лев Выготский мен Джером Брунер еңбектерінде білім алушының белсенді әрекеті оқу процесінің негізгі компоненті ретінде қарастырылады. Бұл тәсіл бойынша студент білімді дайын күйінде қабылдамайды, оны өз әрекеті арқылы құрастырады. Сондықтан математиканы оқыту барысында проблемалық тапсырмалар, талдау жұмыстары, пікірталас және рефлексия элементтерін қолдану маңызды. Мұндай тәсіл болашақ мұғалімдердің логикалық ойлауын және педагогикалық шешім қабылдау қабілетін дамытуға мүмкіндік береді.

Үшінші негіз – зерттеушілік оқыту. Математикалық білім беру жүйесінде зерттеушілік әрекет білім алушылардың аналитикалық және шығармашылық қабілеттерін дамытудың маңызды құралы болып табылады. Джордж Пойа математикалық есеп шығару барысында мәселені талдау, болжам жасау және дәлелдеу әрекеттерінің маңызын атап көрсеткен. Осыған байланысты әдістемелік жүйеде ашық типтегі есептерді, зерттеушілік тапсырмаларды және дәлелдеуге бағытталған жұмыстарды пайдалану қажет. Бұл болашақ мұғалімдердің математикалық ойлау мәдениетін қалыптастыруға ықпал етеді.

Төртінші негіз – цифрлық технологияларды қолдану. Қазіргі кезеңде цифрлық білім беру ортасы математиканы оқыту процесінің маңызды бөлігіне айналды. GeoGebra, Desmos сияқты платформалар математикалық ұғымдарды визуализациялауға және интерактивті ортада түсіндіруге мүмкіндік береді. Цифрлық құралдарды пайдалану күрделі математикалық процестерді көрнекі түрде көрсетуге, білім алушылардың пәнге қызығушылығын арттыруға және олардың танымдық белсенділігін күшейтуге ықпал етеді. Сондықтан болашақ математика мұғалімдерін даярлау барысында цифрлық ресурстарды педагогикалық мақсатта қолдану дағдыларын қалыптастыру маңызды болып табылады.

Бесінші негіз – пәнаралық және STEM интеграциясы. Қазіргі математикалық білім беру математиканы басқа ғылымдармен байланыстыра оқытуды талап етеді. STEM бағытындағы зерттеулер математиканы технология, инженерия және жаратылыстану ғылымдарымен ықпалдастыра оқыту білім алушылардың практикалық ойлауын дамытуға мүмкіндік беретінін көрсетеді. Осыған байланысты әдістемелік жүйеде қолданбалы есептерді, модельдеу тапсырмаларын және пәнаралық жобаларды енгізу қажет. Бұл болашақ мұғалімдердің математикалық білімді өмірлік жағдайлармен байланыстыра алу қабілетін қалыптастырады.

Осылайша, математиканы оқытудың әдістемелік жүйесін жобалаудың негізгі дидактикалық негіздері ретінде құзыреттілікке бағытталған оқыту, конструктивистік тәсіл, зерттеушілік оқыту, цифрлық технологияларды пайдалану және STEM интеграциясы анықталды. Бұл негіздер өзара байланыста жүзеге асқан жағдайда болашақ математика мұғалімдерінің кәсіби даярлығының тиімділігі артады.

Дидактикалық шарттарды нақтылау

Болашақ математика мұғалімдерін даярлау барысында математиканы оқытудың әдістемелік жүйесінің тиімділігі белгілі бір дидактикалық шарттардың сақталуына тәуелді болады. Зерттеу нәтижесінде әдістемелік жүйені жобалауды қамтамасыз ететін бірнеше негізгі дидактикалық шарттар нақтыланды.

Бірінші дидактикалық шарт – цифрлық білім беру ортасын ұйымдастыру. Қазіргі білім беру жағдайында цифрлық технологиялар математикалық білім берудің маңызды компонентіне айналды. Сондықтан болашақ мұғалімдерді даярлау барысында цифрлық платформаларды, интерактивті ресурстарды және математикалық визуализация құралдарын жүйелі қолдану қажет. GeoGebra, Desmos сияқты бағдарламалар математикалық объектілерді динамикалық түрде көрсетуге мүмкіндік береді. Мұндай орта студенттердің абстрактілі ұғымдарды терең түсінуіне және математикалық модельдерді талдауына ықпал етеді. Сонымен қатар цифрлық орта болашақ мұғалімдердің заманауи білім беру технологияларын кәсіби қызметте қолдану дағдыларын қалыптастырады.

Екінші дидактикалық шарт – кәсіби-бағытталған тапсырмаларды қолдану. Болашақ математика мұғалімдерінің кәсіби даярлығы теориялық білімді меңгерумен ғана шектелмеуі тиіс. Осыған байланысты оқыту барысында педагогикалық жағдаяттар, сабақ жоспарлау, бағалау критерийлерін құрастыру және әдістемелік талдау сияқты кәсіби тапсырмаларды енгізу маңызды. Александр Хуторской құзыреттілік білімді нақты әрекет барысында қолдану арқылы қалыптасатынын көрсеткен. Сондықтан кәсіби-бағытталған тапсырмалар студенттердің әдістемелік құзыреттілігін және педагогикалық шешім қабылдау қабілетін дамытуға мүмкіндік береді.

Үшінші дидактикалық шарт – әдістемелік жобалау әрекетін енгізу. Болашақ мұғалім оқыту процесін ұйымдастыруды алдын ала жобалай алуы қажет. Осыған байланысты студенттерге математикалық тақырыптар бойынша сабақ модельдерін құрастыру, оқыту әдістерін таңдау және цифрлық құралдарды интеграциялау тапсырмаларын беру маңызды. Владимир Беспалько педагогикалық жобалауды білім беру нәтижесіне бағытталған жүйелі әрекет ретінде қарастырған. Әдістемелік жобалау әрекеті студенттердің педагогикалық ойлауын қалыптастырып, олардың болашақ кәсіби қызметке дайындығын арттырады.

Төртінші дидактикалық шарт – рефлексия мен кері байланысты қамтамасыз ету. Қазіргі педагогикалық зерттеулерде рефлексия білім алушының кәсіби дамуының маңызды компоненті ретінде қарастырылады. Рефлексия студенттің өз әрекетін талдауына, оқыту нәтижесін бағалауына және кәсіби қиындықтарды анықтауына мүмкіндік береді. Сондықтан математиканы оқыту барысында өзін-өзі бағалау, топтық талқылау, кері байланыс және сабақ талдау элементтерін жүйелі енгізу қажет. Бұл болашақ мұғалімдердің сыни ойлауын және кәсіби рефлексиясын дамытуға ықпал етеді.

Бесінші дидактикалық шарт – зерттеушілік ортаны қалыптастыру. Математиканы оқыту барысында зерттеушілік сипаттағы тапсырмаларды пайдалану студенттердің аналитикалық және шығармашылық ойлауын дамытуға мүмкіндік береді. Джордж Пойа математикалық есеп шығару процесінде мәселені талдау мен дәлелдеудің маңызын атап көрсеткен. Осыған байланысты ашық типтегі есептер, математикалық зерттеу элементтері және проблемалық жағдаяттар болашақ мұғалімдердің зерттеушілік құзыреттілігін дамытуға жағдай жасайды.

Төменде математиканы оқытудың әдістемелік жүйесін жобалаудың негізгі дидактикалық шарттары мен олардың күтілетін нәтижелері көрсетілді.

Кесте 1.

Дидактикалық шарт	Күтілетін нәтиже
Цифрлық білім беру ортасын ұйымдастыру	Цифрлық құзыреттіліктің қалыптасуы
Кәсіби-бағытталған тапсырмалар қолдану	Әдістемелік құзыреттіліктің дамуы
Әдістемелік жобалау әрекетін енгізу	Педагогикалық жобалау дағдысының қалыптасуы
Рефлексия мен кері байланысты ұйымдастыру	Сыни және рефлексивті ойлаудың дамуы
Зерттеушілік ортаны қалыптастыру	Аналитикалық және зерттеушілік қабілеттің дамуы

Байқағанымыздай анықталған дидактикалық шарттар математиканы оқытудың әдістемелік жүйесін тиімді жобалауға және болашақ математика мұғалімдерінің кәсіби даярлығын жетілдіруге мүмкіндік береді.

Талқылау

Зерттеу нәтижелері болашақ математика мұғалімдерін даярлауда математиканы оқытудың әдістемелік жүйесін жобалау көпкомпонентті және жүйелі ұйымдастыруды қажет ететінін көрсетті. Зерттеу барысында анықталған дидактикалық негіздер мен шарттар қазіргі педагогикалық білім беру талаптарына сәйкес болашақ мұғалімдердің кәсіби даярлығын жетілдіруге бағытталған. Әсіресе құзыреттілікке бағытталған оқыту, цифрлық технологияларды пайдалану және зерттеушілік тәсілдерді кіріктіру математикалық білім беру мазмұнын жаңартудың маңызды бағыттары ретінде анықталды.

Зерттеу нәтижелері Владимир Беспалько ұсынған педагогикалық жүйені алдын ала жобалау идеяларымен сәйкес келеді. Ғалым педагогикалық процестің тиімділігі оның мақсат, мазмұн және технология компоненттерінің өзара байланысына тәуелді екенін көрсеткен. Осы зерттеуде де әдістемелік жүйенің құрылымдық компоненттерін өзара байланыста ұйымдастырудың маңыздылығы анықталды. Сонымен қатар Александр Хуторской қарастырған құзыреттілікке бағытталған тәсілдің болашақ мұғалімдердің кәсіби әрекетке даярлығын қалыптастырудағы рөлі нақтыланды.

Зерттеу барысында ұсынылған маңызды ерекшеліктердің бірі – математиканы оқытудың әдістемелік жүйесін жобалауда цифрлық және зерттеушілік компоненттердің өзара байланыста қарастырылуы. Көптеген зерттеулерде цифрлық технологиялар тек оқыту құралы ретінде сипатталса, бұл зерттеуде олар педагогикалық жобалау мен әдістемелік даярлықтың құрамдас бөлігі ретінде қарастырылды. Мысалы, GeoGebra және Desmos құралдарын пайдалану тек визуализация емес, сонымен қатар болашақ мұғалімдердің сабақ құрылымын жобалау және математикалық модельдеу дағдыларын дамыту құралы ретінде негізделді.

Сонымен қатар зерттеуде математиканы оқыту барысында зерттеушілік сипаттағы тапсырмаларды жүйелі қолданудың маңыздылығы анықталды. Бұл нәтиже Джордж Пойа еңбектеріндегі математикалық ойлауды есеп шығару арқылы дамыту идеяларымен сәйкес келеді. Алайда ұсынылған жұмыстың ерекшелігі – зерттеушілік тапсырмаларды тек білім алушының математикалық дайындығын дамыту құралы емес, болашақ мұғалімнің әдістемелік құзыреттілігін қалыптастыру тетігі ретінде қарастыруында.

Зерттеудің теориялық маңызы математиканы оқытудың әдістемелік жүйесін жобалаудың дидактикалық негіздері мен шарттарын жүйелеуде көрінеді. Ұсынылған құрылым болашақ математика мұғалімдерін даярлау мазмұнын ғылыми тұрғыдан ұйымдастыруға мүмкіндік береді. Ал практикалық маңызы жоғары педагогикалық оқу орындарында математиканы оқыту әдістемесі пәндерін ұйымдастыру барысында ұсынылған

дидактикалық шарттарды қолдану мүмкіндігімен анықталады. Атап айтқанда, кәсіби-бағытталған тапсырмалар, цифрлық платформалар және әдістемелік жобалау әрекеттері болашақ мұғалімдердің кәсіби даярлығын жетілдіруге ықпал етеді.

Зерттеу нәтижелері математиканы оқытудың әдістемелік жүйесін жобалау болашақ мұғалімдердің кәсіби құзыреттілігін қалыптастырудың маңызды педагогикалық тетіктерінің бірі екенін көрсетті. Қазіргі цифрлық және құзыреттілікке бағытталған білім беру жағдайында мұндай жүйені ғылыми негізде ұйымдастыру математикалық білім беру сапасын арттыруға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Қазіргі білім беру жүйесіндегі өзгерістер болашақ математика мұғалімдерін даярлау мазмұны мен құрылымын жаңартуды талап етеді. Осыған байланысты математиканы оқытудың әдістемелік жүйесін ғылыми негізде жобалау педагогикалық білім берудің маңызды бағыттарының біріне айналып отыр. Зерттеу барысында болашақ математика мұғалімдерін даярлау жағдайында математиканы оқытудың әдістемелік жүйесін жобалаудың негізгі дидактикалық негіздері мен оны жүзеге асыру шарттары қарастырылды.

Зерттеу нәтижесінде әдістемелік жүйені жобалаудың негізгі дидактикалық негіздері ретінде құзыреттілікке бағытталған оқыту, конструктивистік тәсіл, зерттеушілік оқыту, цифрлық технологияларды пайдалану және STEM интеграциясы анықталды. Бұл негіздер болашақ мұғалімдердің пәндік білімін ғана емес, олардың әдістемелік, зерттеушілік және цифрлық құзыреттіліктерін дамытуға бағытталатыны айқындалды. Сонымен қатар математиканы оқытудың әдістемелік жүйесінің тиімділігін қамтамасыз ететін дидактикалық шарттар нақтыланды. Атап айтқанда, цифрлық білім беру ортасын ұйымдастыру, кәсіби-бағытталған тапсырмаларды қолдану, әдістемелік жобалау әрекетін енгізу, рефлексия мен кері байланысты қамтамасыз ету және зерттеушілік ортаны қалыптастыру болашақ мұғалімдердің кәсіби даярлығын жетілдіруге мүмкіндік беретіні анықталды.

Зерттеудің теориялық маңызы математиканы оқытудың әдістемелік жүйесін жобалаудың дидактикалық негіздерін жүйелеуінде көрінеді. Ал практикалық маңызы жоғары оқу орындарында болашақ математика мұғалімдерін даярлау барысында ұсынылған дидактикалық шарттарды қолдану мүмкіндігімен сипатталады. Ұсынылған тұжырымдар математиканы оқыту әдістемесін жетілдіруге және болашақ мұғалімдердің кәсіби құзыреттілігін дамытуға негіз бола алады. Болашақта математиканы оқытудың әдістемелік жүйесін цифрлық білім беру жағдайында тәжірибелік тұрғыдан апробациялау және оның кәсіби даярлық сапасына әсерін эксперименттік зерттеу өзекті бағыттардың бірі болып табылады.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Джером Брунер Bruner, J. (1961). The act of discovery. *Harvard Educational Review*, 31(1), 21–32.
2. Джон Дьюи Dewey, J. (1938). *Experience and education*. New York: Macmillan.
3. Владимир Беспалько Беспалько, В. П. (1989). *Слагаемые педагогической технологии*. Москва: Педагогика.
4. Виктор Краевский Краевский, В. В. (2001). *Методология педагогики: новый этап*. Москва: Академия.
5. GeoGebra Hohenwarter, M., & Fuchs, K. (2004). Combination of dynamic geometry, algebra and calculus in the software system GeoGebra. In *Computer Algebra Systems and Dynamic Geometry Systems in Mathematics Teaching Conference*. Pécs, Hungary.
6. Александр Хуторской Хуторской, А. В. (2003). Ключевые компетенции как компонент личностно-ориентированной парадигмы образования. *Народное образование*, (2), 58–64.

7. Жанпейісова Мадина Жанпейісова, М. М. (2014). *Модульдік оқыту технологиясы оқушыны дамыту құралы ретінде*. Алматы: Республикалық баспа кабинеті.
8. Қараев Жанат Қараев, Ж. А. (2013). *Деңгейлеп-саралап оқыту технологиясы*. Алматы: Өрлеу.
9. Джордж Пойа Pólya, G. (1945). *How to solve it: A new aspect of mathematical method*. Princeton University Press.
10. Лев Выготский Выготский, Л. С. (1982). *Мышление и речь*. Москва: Педагогика.
11. Андрей Пышкало Пышкало, А. М. (1975). *Методическая система обучения геометрии в средней школе*. Москва: Просвещение.
12. Сейтқасымов Ғабдулла Сейтқасымов, Ғ. С. (2008). *Педагогика*. Алматы: ҚазҰПУ баспасы.
13. Талызина Нина Талызина, Н. Ф. (1998). *Педагогическая психология*. Москва: Академия.
14. Усова Александра Усова, А. В. (2007). *Формирование учебных умений и навыков учащихся*. Москва: Академия.

Формирование эвакуационного каркаса Алматы в условиях сейсмического риска

Жылқаманов Айдын Айбекұлы

магистрант кафедры «Архитектура», Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Қазақстан

Есенов Хвайдолла Иванович

ассоциированный профессор кафедры «Архитектура», Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Қазақстан

Аннотация

Статья рассматривает формирование эвакуационного каркаса Алматы как самостоятельного градостроительного слоя, который должен связывать дорожную сеть, открытые пространства, районные и городские safe zones, систему оповещения, а также институциональные механизмы реагирования. Актуальность темы обусловлена сочетанием высокой сейсмической уязвимости города, плотной застройки центральных и предгорных районов, ограниченной проницаемости ряда кварталов и вероятности постсейсмических блокировок на магистралях из-за обломков, пожаров, повреждения инженерных сетей и неуправляемого автотрафика. Методически исследование опирается на анализ официальных японских материалов по Earthquake Early Warning, эвакуационным местам, дорогам и мерам в отношении «застрявших» пассажиров, а также на современные работы по моделированию пешеходной эвакуации и функционирования транспортных сетей после землетрясений. В качестве ключевого вывода обосновывается, что для Алматы рационален не единый «маршрут спасения», а трехуровневый каркас: локальные узлы первичного выхода из зоны падения, районные safe zones 10–15-минутной доступности и городские хабы длительного пребывания, связанные резервируемыми магистральными коридорами. Предлагаются приоритеты для ретрофита, логика выбора открытых пространств, ориентиры по вместимости, управлению потоками, цифровому оповещению и KPI реализации до 2030 года. [1], [3], [5], [8], [9], [13].

Ключевые слова

сейсмический риск, Алматы, эвакуационный каркас, safe zones, открытые пространства, городская устойчивость, маршруты эвакуации, ретрофит, градостроительное планирование, Япония.

Введение

Алматы относится к числу городов, чья пространственная структура исторически формировалась под воздействием сильных землетрясений: разрушительные события 1887 и 1911 годов показали, что для предгорного города определяющими становятся не только сейсмостойкость отдельных зданий, но и конфигурация улиц, плотность кварталов, доступ к открытым пространствам и возможность быстрой массовой самоэвакуации без вторичных потерь. Для современного мегаполиса это означает, что вопрос сейсмобезопасности должен решаться не только строительными нормами, но и средствами градостроительства. [11], [12].

Серия ощутимых толчков 2024 года продемонстрировала, что даже при отсутствии катастрофических разрушений главным риском становится неорганизованное поведение населения: люди одномоментно выбегают из зданий, пытаются уехать на личном

транспорте, формируют заторы на магистралях и тем самым ухудшают доступ спасателей и медслужб к очагам поражения. Именно такой разрыв между сейсмической опасностью и пространственной готовностью города делает тему эвакуационного каркаса особенно практической. [14].

Цель настоящей статьи - обосновать принципы формирования эвакуационного каркаса Алматы в условиях сейсмического риска и предложить проектный набор решений для дорожной сети, открытых пространств, safe zones, институционального управления и этапов реализации. Методологически исследование сочетает сравнительный анализ японских официальных практик, где эвакуация давно встроена в городской дизайн, и современные научные модели, показывающие, как дебрис, заблокированные проходы, поведение толпы и нарушение транспортных функций меняют исход эвакуации в первые минуты и часы после толчка. [1], [3], [4], [5], [6], [8], [9], [10], [13].

Под эвакуационным каркасом в данной статье понимается не набор разрозненных улиц, а пространственно-организационная система из трех взаимосвязанных элементов: безопасных открытых площадок, маршрутов подхода к ним и правил перевода населения с локального уровня на районный и городской. В официальной практике Токио эвакуационные места трактуются как крупные открытые пространства - парки, зеленые зоны, жилые комплексы, школьные территории, - предназначенные прежде всего для защиты от расширяющихся пожаров после землетрясения; при этом для них задаются требования по радиусу охвата, площади и привязке к населению, а эвакуационные дороги рассматриваются как специальные безопасные направления движения к таким площадкам. Этот подход важен для Алматы, где опасность исходит не только от самого толчка, но и от последующих пожаров, падения фасадных элементов, стекла, наружных инженерных устройств и локальных завалов. [3], [4], [5].

Японский опыт важен и в поведенческом аспекте. Токио прямо рекомендует после землетрясения не начинать хаотичное перемещение, а оставаться в безопасном месте, использовать официальную информацию, при необходимости переходить во временные места пребывания и не создавать встречные потоки на сети. Дополнительное значение имеет практика управления «застрявшими» работниками и пассажирами: вместо тотального исхода домой город готовит временные площадки, запасы и регламенты для бизнеса. Для Алматы это означает принципиальный отказ от модели массовой автэвакуации как базового сценария; личный транспорт должен резервироваться для спасательных операций, санитарных перевозок и маломобильных групп, тогда как основной поток должен быть пешеходным и короткоплечим. Даже на уровне отдельных парков японская практика показывает, что открытая лужайка, карта территории, доступность, круглосуточный режим, базовые площадки для помощи и возможность использования парка для спасательно-восстановительных работ являются частью единой системы, а не второстепенным благоустройством. [1], [3], [6], [7].

Для Алматы ключевая проблема состоит в том, что городская ткань местами стала слишком плотной и неоднородной. Пешеходная короткая эвакуация осложняется закрытыми дворами, узкими внутриквартальными проездами, длинными фасадными фронтами с торговыми врезками, точечной застройкой, опорами наружной рекламы, потенциальным падением стекла и фрагментов облицовки, а транспортная - возможным снижением пропускной способности из-за дебриса, непредсказуемого поведения водителей, повреждений эстакад, мостов и инженерных сетей. Современные модели показывают, что доступность открытых пространств и отсутствие барьеров существенно повышают долю людей, достигающих безопасной зоны в первые минуты; напротив, даже частичное закрытие доступа к open spaces резко ухудшает результат. Поэтому вопрос для

Алматы звучит не как «где построить еще одну дорогу», а как «какие участки сети гарантированно останутся ходовыми и читаемыми спустя 5–15 минут после сильного толчка». [8], [9], [10], [13].

В этой логике целесообразно формировать трехуровневый каркас. Первый уровень - локальные узлы первичного выхода из зоны падения: дворы открытого типа, школьные стадионы, небольшие скверы, внутриквартальные площадки, до которых можно дойти за 3–7 минут и где человек выходит из-под риска обрушения фасадов. Второй уровень - районные safe zones 10–15-минутной доступности: крупные парки, спортивные ядра, площади, университетские кампусы, крупные школьные территории, где возможно развернуть сортировку потоков, первую помощь, связь и учет. Третий уровень - городские хабы длительного пребывания и логистики, связанные с магистральными коридорами, резервным электроснабжением, водой, санитарными узлами и приоритетным допуском спецслужб. Такая иерархия согласуется с японским различием временного сбора, широких эвакуационных мест и последующих сценариев размещения, но для Алматы она должна быть адаптирована к предгорному рельефу и риску завалов на продольных улицах. [4], [5], [8], [9].

Таблица 1. Уровневая структура эвакуационного каркаса Алматы в условиях сейсмического риска.

Уровень каркаса	Пространственный элемент	Расчетное время доступа	Основная функция
Локальный	двор, сквер, школьная площадка	3–7 минут	выход из зоны падения, первичный сбор
Районный	парк, стадион, кампус, крупная площадь	10–15 минут	перераспределение потоков, медпомощь, связь
Городской	крупный парк, спортивный кластер, логистический хаб	20–40 минут или организованный подвоз	длительное пребывание, снабжение, координация служб

Как проектное предложение для Алматы эвакуационный каркас следует строить на трех поясах. Нижний пояс - северные и северо-центральные районы, ориентированные на широтные магистрали уровня Райымбек батыра и Рыскулова с выходом к крупным незастроенным либо слабо застроенным площадкам после инженерного аудита. Средний пояс - центральный город, где опорой становятся коридоры Абая, Толе би, Сатпаева и меридионали Саина, Сейфуллина, Розыбакиева, Желтоксан, а в роли районных safe zones должны рассматриваться крупные спортивные и общественные пространства, а не малые исторические скверы. Верхний пояс - юго-запад и юг, где требуются особенно осторожные решения: открытые пространства уровня парка Первого Президента, периферии Ботанического сада, университетских кампусов и крупных школьных территорий могут работать как районные пункты, но сами горные направления и ущелья не должны трактоваться как цели массовой эвакуации из-за риска оползней, камнепадов и локальной блокировки. В этой схеме принципиально важны как минимум две альтернативы выхода из каждого микрорайона, чтобы отказ одного коридора не обрушивал всю систему. [2], [9], [10], [13].

Таблица 2. Пространственные пояса Алматы в структуре эвакуационного каркаса при сейсмическом риске.

Пояс Алматы	Предлагаемые опорные коридоры	Кандидаты районные safe zones	на риск	Ключевой
Нижний	Райымбек Рыскулова, меридионали	батыра, северные промышленные площадки после аудита, резервные логистические поля	крупные школьные территории, площадки	железнодорожные пересечения, узкие подъезды
Средний	Абая, Толе би, Саина, Розыбакиева	Сатпаева, Сейфуллина, Республики и открытые пространства, большие школьные ядра	Центральный стадион и спорткластер, прилегающие пространства,	плотная застройка, фасадный дебрис, эстакады
Верхний	Аль-Фараби и меридионали	и связанные территории Ботсада после аудита	парк Первого Президента, университетские кампусы, открытые территории	подпорные стены, оползневые и склоновые процессы

Пропускную способность safe zones в Алматы разумно считать не «по ощущению», а от площади и сценария пользования. Токио использует минимальный ориентир не менее 1 м² на человека для широких эвакуационных мест; следовательно, площадка 5 га теоретически вмещает около 50 тыс. человек по минимальному порогу, а при более реалистичном планировочном режиме 1,5 м² на человека - около 33 тыс. человек. Для предпроектной стадии этого достаточно, чтобы отбирать площадки и сопоставлять их с численностью кварталов, не подменяя последующий инженерный расчет. Отсюда следуют и приоритеты ретрофита: в центральном поясе прежде всего нужно усиливать не только здания, но и сами коридоры - устранять нависающие элементы, обследовать подпорные стены, мосты и путепроводы, сокращать количество узких мест у торговых фронтов, открывать запертые проходы в кварталах, переводить отдельные тупиковые дворы в режим сквозной пешеходной связи и маркировать школьные территории как узлы короткой эвакуации. Реновация без такого «пространственного ретрофита» не создаст реальной устойчивости. [2], [4], [9], [10].

Алгоритм движения населения после сильного толчка в Алматы целесообразно строить не как длинный переход к одному «главному убежищу», а как последовательность коротких и понятных фаз: укрытие, выход из зоны падения, локальный сбор, перераспределение и только затем - перевод части людей в районный либо городской хаб. Такой сценарий лучше соответствует возможностям реальной сети и уменьшает конфликт между населением и спецслужбами. [1], [3], [6].

Институционально каркас должен быть закреплен за межведомственной моделью, а не только за ДЧС. Акимат отвечает за включение каркаса в ПДП, транспортный блок - за проходимость и приоритет спецдвижения, службы благоустройства - за маркировку и оборудование open spaces, управление образования - за доступность школьных площадок, операторы связи - за push-оповещение и резервные каналы, бизнес-центры и ТРЦ - за планы удержания людей на месте по аналогии с японской практикой мер для «застрявших» пассажиров и работников. KPI реализации до 2030 года могут быть следующими: инвентаризация 100% потенциальных open spaces и внутриквартальных проходов; покрытие не менее 90% жителей локальным узлом в радиусе 500 м; покрытие не менее 70% населения

районной safe zone в пределах 10–15 минут пешком; маркировка и ночная навигация на всех приоритетных коридорах; ежегодные районные учения; обследование на падение фасадных элементов и навесного оборудования вдоль всех приоритетных осей; обеспечение каждого районного пункта водой, автономным освещением, санитарным минимумом и резервной связью. [1], [3], [4], [6], [7], [13].

Для итоговой верстки статьи я рекомендую две обязательные схемы. Первая - «Трехуровневый эвакуационный каркас Алматы», где разными цветами показаны локальные узлы, районные safe zones и городские хабы, а также основная и резервная трассировка коридоров. Вторая - «Карта конфликтов плотной застройки», где отдельно отмечены участки вероятного дебриса, узкие места, закрытые дворовые проходы, фасадные фронты с витражами, мосты, подпорные стены и участки со сложным рельефом. Без такой картографической аналитики даже сильные организационные меры останутся декларативными. [4], [5], [9], [13].

Заключение

Таким образом, формирование эвакуационного каркаса Алматы следует рассматривать как задачу градостроительной реорганизации, а не как приложение к плану ГО. Устойчивый город в сейсмоопасной зоне - это город, где открытые пространства заранее ранжированы по роли, маршруты к ним резервированы, население получает сигнал и понятный сценарий поведения, а плотная застройка не перерезает пути отхода в первые минуты после толчка. Японский опыт показывает, что эффективность дает не одна «супертехнология», а связка из картирования, короткоплечей пешеходной эвакуации, wide-area evacuation places, дорожной и парковой инфраструктуры, запасов, учений и дисциплины поведения. Для Алматы это означает поворот от точечных мер к полицентрическому эвакуационному каркасу, встроенному в действующую логику развития города. [3], [5], [8], [9], [13].

Ограничением настоящего исследования является то, что прямые машиночитаемые GIS-слои официальных safe zones и актуальные муниципальные карты Алматы не были доступны в полнотекстовом виде в рамках данной сессии, поэтому предложенные коридоры и точки сбора следует рассматривать как обоснованную проектную гипотезу, требующую дальнейшей верификации в GIS, натурного аудита и увязки с сейсмическим микрорайонированием, кадастром открытых пространств и паспортами критической инфраструктуры. Тем не менее сама логика решения остается устойчивой: сначала - карта барьеров и открытых пространств, затем - сетевой расчет и испытание учениями, и только после этого - капитальные вложения в ретрофит и реновацию. [8], [9], [10], [13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Japan Meteorological Agency. Earthquake Early Warning System; официальное описание публичной системы предупреждения, принципа выдачи сигналов и сроков запуска сервиса. Использован в абзацах, начинающихся словами: «Статья рассматривает формирование...», «Японский опыт важен...», «Алгоритм движения населения...», «Институционально каркас должен...».
2. Japan Meteorological Agency. Tables explaining the JMA Seismic Intensity Scale; официальный материал о последствиях разных уровней интенсивности для зданий, склонов, инфраструктуры и дорог. Использован в абзацах: «Как проектное предложение...», «Пропускную способность safe zones...».
3. Tokyo Metropolitan Government. **地震が発生したら**; официальные рекомендации Токио по поведению при землетрясении, информации, эвакуации и отказу от хаотичных перемещений. Использован в абзацах: «Статья рассматривает формирование...», «Цель настоящей статьи...», «Под эвакуационным каркасом...», «Японский опыт важен...», «Алгоритм движения населения...», «Институционально каркас должен...», «Таким образом, формирование...».
4. Tokyo Metropolitan Government. **避難所及び避難場所**; официальный материал о количестве эвакуационных объектов, широких эвакуационных местах, радиусах и минимальной площади на одного человека. Использован в абзацах: «Цель настоящей статьи...», «Под эвакуационным каркасом...», «В этой логике целесообразно...», «Пропускную способность safe zones...», «Институционально каркас должен...», «Для итоговой верстки статьи...».
5. Tokyo Metropolitan Government Bureau of Urban Development. **震災時火災における避難場所とは?**; официальный материал о wide-area evacuation places, эвакуационных дорогах и принципах их назначения. Использован в абзацах: «Статья рассматривает формирование...», «Под эвакуационным каркасом...», «В этой логике целесообразно...», «Для итоговой верстки статьи...», «Таким образом, формирование...».
6. Tokyo Metropolitan Government. **帰宅困難者対策** и **帰宅困難者対策ハンドブック・帰宅困難者対策条例の概要リーフレット**; официальный комплекс документов по удержанию потоков, временным местам пребывания и политике в отношении «застрявших» людей. Использован в абзацах: «Цель настоящей статьи...», «Японский опыт важен...», «Алгоритм движения населения...», «Институционально каркас должен...».
7. Tokyo Metropolitan Park Association. **高井戸公園**; официальный пример парка, одновременно работающего как рекреационное и disaster-prevention пространство. Использован в абзацах: «Японский опыт важен...», «Институционально каркас должен...».
8. Iskandar R., Allaw K., Dugdale J. et al. Agent-based simulation of pedestrians' earthquake evacuation; application to Beirut, Lebanon; исследование о роли open spaces, барьеров доступа и поведения людей в городской пешеходной эвакуации. Использован в абзацах: «Статья рассматривает формирование...», «Цель настоящей статьи...», «Для Алматы ключевая проблема...», «В этой логике целесообразно...», «Таким образом, формирование...», «Ограничением настоящего исследования...».
9. Feng K., Li Q., Ellingwood B. Post-earthquake modelling of transportation networks using an agent-based model; исследование о снижении транспортной функции сети из-за дебриса, повреждений и иррационального поведения после землетрясения. Использован в абзацах: «Статья рассматривает формирование...», «Цель настоящей статьи...», «Для Алматы ключевая проблема...», «В этой логике целесообразно...», «Как проектное предложение...», «Пропускную способность safe zones...», «Для итоговой верстки статьи...», «Таким образом, формирование...», «Ограничением настоящего исследования...».

10. Kunwar B., Simini F., Johansson A. Evacuation time estimate for a total pedestrian evacuation using queuing network model and volunteered geographic information; исследование о связи ширины выходов, численности населения и времени полной пешеходной эвакуации. Использован в абзацах: «Цель настоящей статьи...», «Для Алматы ключевая проблема...», «Как проектное предложение...», «Пропускную способность safe zones...», «Ограничением настоящего исследования...».

11. Справочный исторический обзор. Верненское землетрясение; использован как вспомогательный русскоязычный контекст для характеристики исторической разрушительности сейсмических событий в Алматы. Использован в абзаце: «Алматы относится к числу...».

12. Справочный исторический обзор. 1911 Kebin earthquake; использован как вспомогательный контекст для характеристики разрушительного потенциала сейсмических событий, затрагивавших Алматы. Использован в абзаце: «Алматы относится к числу...».

13. Вспомогательный публичный обзор утвержденного Генерального плана Алматы до 2040 года и связанных градостроительных ограничений. Использован осторожно, как вторичный источник для упоминания полицентрической логики развития и ужесточения подходов к застройке. Использован в абзацах: «Статья рассматривает формирование...», «Цель настоящей статьи...», «Для Алматы ключевая проблема...», «Как проектное предложение...», «Институционально каркас должен...», «Для итоговой верстки статьи...», «Таким образом, формирование...», «Ограничением настоящего исследования...».

14. Вспомогательный публичный обзор событий 23 января 2024 года в Алматы. Использован как вторичный источник для описания поведенческих и транспортных проблем при ощутимых толчках. Использован в абзаце: «Серия ощутимых толчков 2024 года...».

ОҚУШЫЛАРДЫҢ ҚҰҚЫҚТЫҚ МӘДЕНИЕТІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДАҒЫ ТӘРБИЕ ЖҰМЫСЫНЫҢ РӨЛІ

Султанов Махмуд Вайсович

Түркістан облысы, Түркістан қаласы, «Абай атындағы №31 жалпы білім беретін мектеп» КММ, Тарих пәні мұғалімі, Директордың тәрбие жұмысы жөніндегі орынбасары

Кіріспе

Қазіргі жаһандану дәуірінде қоғамның тұрақты дамуы мен құқықтық мемлекеттің нығаюы азаматтардың құқықтық мәдениет деңгейімен тікелей байланысты. Қазақстан Республикасының стратегиялық даму бағыттарында заң үстемдігін қамтамасыз ету, азаматтардың құқықтық санасын арттыру және құқық бұзушылықтың алдын алу мәселелері басым міндеттердің бірі ретінде айқындалған. Осы тұрғыдан алғанда білім беру ұйымдарының алдында тұрған маңызды міндеттердің бірі – оқушылардың құқықтық мәдениетін қалыптастыру, олардың құқықтары мен міндеттерін терең түсінетін, заң талаптарын құрметтейтін, азаматтық жауапкершілігі жоғары тұлға тәрбиелеу болып табылады.

Қазақстан Республикасының Конституциясында адам құқықтары мен бостандықтары мемлекеттің ең қымбат қазынасы ретінде танылған. Сонымен қатар «Білім туралы» Қазақстан Республикасының Заңы, «Қазақстан Республикасындағы баланың құқықтары туралы» Заңы, «Кәмелетке толмағандар арасындағы құқық бұзушылықтардың профилактикасы және балалардың қадағалаусыз және панасыз қалуының алдын алу туралы» Заңы, сондай-ақ тәрбие жұмысына қатысты нормативтік-құқықтық құжаттар өскелең ұрпақтың құқықтық тәрбиесіне ерекше назар аударуды талап етеді. Бұл құжаттарда білім беру ұйымдарының міндеті тек сапалы білім беру ғана емес, сонымен қатар заңды құрметтейтін, құқықтық мәдениеті жоғары азамат қалыптастыру екендігі нақты көрсетілген.

Ғылыми әдебиеттерде құқықтық мәдениет ұғымы құқықтық білімдердің, құқықтық сананың, құқықтық құндылықтардың және құқықтық мінез-құлықтың жиынтығы ретінде қарастырылады. Құқықтық мәдениеті қалыптасқан тұлға заң нормаларын біледі, өз құқықтары мен міндеттерін түсінеді, қоғамдық тәртіпті сақтауға жауапкершілікпен қарайды және құқықтық қатынастарға саналы түрде қатысады. Мұндай қасиеттер адамның тұлғалық дамуына, әлеуметтік бейімделуіне және қоғамдағы белсенді азаматтық ұстанымының қалыптасуына ықпал етеді.

Қазіргі таңда қоғамдағы әлеуметтік өзгерістер, ақпараттық технологиялардың қарқынды дамуы, жастардың интернет кеңістігін кеңінен пайдалануы құқықтық тәрбие беру мәселесінің өзектілігін бұрынғыдан да арттыра түсті. Сондықтан мектеп қабырғасынан бастап оқушылардың құқықтық мәдениетін қалыптастыру жүйелі әрі мақсатты ұйымдастырылған тәрбие жұмысының маңызды бағыты болып табылады.

Мектептегі тәрбие жұмысының құқықтық мәдениетті қалыптастырудағы орны

Оқушылардың құқықтық мәдениетін қалыптастыру үдерісінде тәрбие жұмысы ерекше рөл атқарады. Себебі құқықтық білім тек теориялық ақпарат ретінде беріліп қана қоймай, оқушының күнделікті өмірінде қолданылатын тәжірибелік дағдыға айналуы қажет. Бұл міндетті жүзеге асыруда мектептегі тәрбие жүйесі құқықтық тәрбиенің негізгі алаңы болып саналады.

Тәрбие жұмысы арқылы оқушылар өз құқықтары мен міндеттерін танып біледі, заң талаптарының маңызын түсінеді және құқықтық нормаларды сақтаудың қажеттілігін ұғынады. Құқықтық тәрбие оқушылардың заңға деген құрметін қалыптастырып қана қоймай, олардың бойында әділеттілік, жауапкершілік, адалдық және азаматтық белсенділік сияқты маңызды қасиеттердің дамуына ықпал етеді. Құқықтық мәдениет қалыптасқан оқушы мектептің ішкі тәртіп ережелерін саналы түрде орындайды, өз әрекеттерінің салдарын бағалай алады және қоғамдық ортада жауапты мінез-құлқы танытады.

Мектептегі тәрбие жұмысы құқық бұзушылықтың алдын алу бағытындағы жұмыстармен де тығыз байланысты. Кәмелетке толмағандар арасындағы құқық бұзушылықтардың негізгі себептерінің бірі құқықтық білімнің жеткіліксіздігі мен жауапкершілік сезімінің төмендігі болып табылады. Сондықтан құқықтық тәрбие жұмыстарын жүйелі ұйымдастыру арқылы оқушылардың теріс әрекеттерге бару қаупін азайтуға болады.

Тәрбие жұмысы жөніндегі директордың орынбасары осы үдерістің негізгі үйлестірушісі ретінде маңызды ұйымдастырушылық қызмет атқарады. Оның міндетіне құқықтық тәрбие бойынша жылдық жоспар әзірлеу, профилактикалық іс-шараларды ұйымдастыру, сынып жетекшілерінің жұмысын үйлестіру, құқық қорғау органдарымен және ата-аналармен ынтымақтастық орнату, тәуекел тобына жататын оқушылармен жеке жұмыстар жүргізу кіреді. Сонымен қатар директордың тәрбие ісі жөніндегі орынбасары құқықтық тәрбиенің тиімділігін талдап, мониторинг жүргізу арқылы тәрбие жұмысының сапасын арттыруға ықпал етеді.

Өз тәжірибемде құқықтық мәдениетті қалыптастырудың нәтижелі болуы барлық педагогтердің, ата-аналардың және әлеуметтік серіктестердің бірлескен әрекетіне байланысты екендігін байқадым. Жүйелі ұйымдастырылған жұмыстар оқушылардың құқықтық сауаттылығын арттырып қана қоймай, олардың мінез-құлқына да оң әсер етеді.

Құқықтық тәрбие бағытындағы іс-шараларды ұйымдастыру тәжірибесі

Мектеп тәжірибесінде құқықтық мәдениетті қалыптастыру мақсатында әртүрлі бағыттағы іс-шаралар жүйелі түрде жүзеге асырылады. Мұндай жұмыстар оқушылардың жас ерекшеліктерін ескере отырып ұйымдастырылған жағдайда ғана жоғары нәтиже береді.

Құқықтық сауаттылық апталықтары оқушылардың құқықтық білімін кеңейтудің тиімді формаларының бірі болып табылады. Апталық барысында құқықтық тақырыптағы ашық тәрбие сағаттары, интеллектуалдық сайыстар, эссе байқаулары, құқықтық викториналар мен көрмелер өткізіледі. Осындай іс-шаралар барысында оқушылар Қазақстан Республикасының заңнамалары туралы білімдерін толықтырып, құқықтық мәселелерге қызығушылық танытады.

Пікірсайыс турнирлері құқықтық мәдениетті қалыптастырудың маңызды құралдарының бірі ретінде тәжірибеде өзін жақсы көрсетіп келеді. Құқық пен міндет, заң мен жауапкершілік, азаматтық қоғам мен құқықтық мемлекет тақырыптарындағы пікірталастар оқушылардың сыни ойлау қабілетін дамытып, өз көзқарасын дәлелді түрде

жеткізуге үйретеді. Пікірсайыс барысында оқушылар заң нормаларын талдап, нақты өмірлік жағдайларға құқықтық тұрғыдан баға беруге машықтанады.

Құқық қорғау органдары өкілдерімен кездесулер де тәрбиелік маңызы жоғары іс-шаралар қатарына жатады. Мектебімізде ювеналды полиция инспекторларының, прокуратура қызметкерлерінің, заңгерлердің және медиаторлардың қатысуымен кездесулер тұрақты түрде өткізіледі. Мұндай кездесулер барысында оқушылар құқық бұзушылықтың салдары, әкімшілік және қылмыстық жауапкершілік мәселелері жөнінде нақты ақпарат алады. Практика көрсеткендей, құқық қорғау саласының мамандарымен тікелей диалог оқушыларға ерекше әсер етеді және олардың құқықтық жауапкершілік деңгейін арттырады.

Сынып сағаттары құқықтық тәрбиенің күнделікті жүзеге асырылатын негізгі формаларының бірі болып табылады. Сынып жетекшілері құқықтық тақырыптарды тәрбиелік жұмыс жоспарына жүйелі енгізу арқылы оқушылардың құқықтық санасын қалыптастырады. Әсіресе бала құқықтары, кәмелетке толмағандардың жауапкершілігі, интернет қауіпсіздігі, заң алдындағы теңдік және құқықтық этика мәселелеріне арналған сабақтардың тәрбиелік ықпалы жоғары.

Ата-аналармен бірлескен жұмыстар құқықтық тәрбиенің нәтижелілігін арттыруда маңызды орын алады. Себебі баланың құқықтық мәдениеті тек мектепте ғана емес, отбасында да қалыптасады. Осы мақсатта ата-аналар жиналыстарында құқықтық тақырыптар тұрақты түрде қарастырылып, құқық қорғау органдарының мамандары шақырылады. Сонымен қатар ата-аналарға арналған ақпараттық буклеттер, семинарлар және кеңес беру жұмыстары ұйымдастырылады.

Профилактикалық жұмыстардың нәтижесінде мектепте тәртіп бұзушылықтың төмендеуі, сабаққа қатысудың жақсаруы және оқушылардың қоғамдық іс-шараларға белсенді араласуы байқалады. Соңғы жылдары жүргізілген мониторинг нәтижелері құқықтық тәрбие жұмыстарының оқушылардың мінез-құлқына оң ықпал еткендігін көрсетті. Әсіресе тәуекел тобындағы оқушылармен жүргізілген жеке жұмыстар олардың әлеуметтік бейімделуіне және құқық бұзушылықтың алдын алуға мүмкіндік берді.

Буллинг, кибербуллинг және интернет қауіпсіздігі мәселелерінің алдын алудағы тәрбие жұмысы

Қазіргі кезеңде білім беру ұйымдары алдында тұрған маңызды мәселелердің бірі – буллинг пен кибербуллингтің алдын алу. Ақпараттық технологиялардың дамуы оқушылардың цифрлық кеңістікте белсенді болуына жағдай жасағанымен, интернет қауіпсіздігіне қатысты жаңа қауіптердің пайда болуына да себеп болды.

Буллинг – оқушыға жүйелі түрде психологиялық немесе физикалық қысым көрсету әрекеті болса, кибербуллинг әлеуметтік желілер мен электрондық байланыс құралдары арқылы жүзеге асырылатын қысым көрсету түрі болып табылады. Бұл құбылыстар баланың психологиялық жағдайына кері әсер етіп, оның оқу үлгерімінің төмендеуіне, әлеуметтік оқшаулануына және эмоционалдық күйзелістерге алып келуі мүмкін.

Осындай жағдайлардың алдын алу мақсатында мектепте түсіндіру және профилактикалық жұмыстар жүйелі түрде ұйымдастырылады. Оқушылармен өткізілетін тренингтерде қауіпсіз қарым-қатынас мәдениеті, жанжалдарды бейбіт жолмен шешу дағдылары және құрдастар арасындағы сыйластық мәселелері қарастырылады. Сонымен қатар анонимді сауалнамалар жүргізу арқылы оқушылар арасындағы психологиялық ахуал тұрақты бақылауда ұсталады.

Интернет қауіпсіздігі бойынша өткізілетін сабақтарда оқушыларға жеке деректерді қорғау, интернет алаяқтықтан сақтану, жалған ақпараттарды ажырату және әлеуметтік

желілерді қауіпсіз пайдалану мәселелері түсіндіріледі. Практикалық тапсырмалар арқылы балалар нақты өмірлік жағдайларды талдап, қауіп-қатерлерден қорғану жолдарын меңгереді.

Тәрбие жұмысының тиімді әдістерінің бірі – оқушыларды құқықтық жағдаяттарды талдауға тарту. Кейс-стади, рөлдік ойындар, құқықтық тренингтер және ситуациялық тапсырмалар арқылы оқушылар өз әрекеттерінің құқықтық салдарын түсінуге мүмкіндік алады. Мұндай әдістер құқықтық жауапкершілік сезімін қалыптастырып, құқықтық нормаларды саналы түрде қабылдауға ықпал етеді.

Сонымен қатар оқушылардың өзін-өзі басқару ұйымдарының жұмысына белсенді қатысуы олардың азаматтық жауапкершілігін дамытуға мүмкіндік береді. Мектеп парламенті, еріктілер қозғалысы және түрлі әлеуметтік жобалар аясында оқушылар қоғамдық маңызы бар мәселелерді шешуге қатысып, өз құқықтары мен міндеттерін тәжірибе жүзінде жүзеге асырады.

Қорытынды

Құқықтық мәдениеті жоғары тұлға қалыптастыру – білім беру жүйесінің ғана емес, бүкіл қоғамның стратегиялық міндеттерінің бірі. Құқықтық мәдениет адамның заңға деген құрметін, азаматтық жауапкершілігін, әлеуметтік белсенділігін және қоғамдағы өз орнын дұрыс түсінуін қамтамасыз етеді. Сондықтан оқушылардың құқықтық мәдениетін қалыптастыру жұмыстары мектептің тәрбие жүйесінде басым бағыттардың бірі ретінде қарастырылуы қажет.

Тәрбие жұмысы құқықтық білім берумен шектелмей, оқушылардың құқықтық санасын, құқықтық мінез-құлқын және құқықтық құндылықтарын қалыптастыруға бағытталуы тиіс. Осы мақсатта құқықтық сауаттылық апталықтары, пікірсайыстар, құқық қорғау органдары өкілдерімен кездесулер, сынып сағаттары, ата-аналармен бірлескен жұмыстар және профилактикалық іс-шаралар кешенді түрде ұйымдастырылған жағдайда жоғары нәтижеге қол жеткізуге болады.

Тәрбие жұмысы жөніндегі директордың орынбасары құқықтық тәрбиені ұйымдастырушы әрі үйлестіруші ретінде бұл үдерістің табысты жүзеге асуына ерекше үлес қосады. Жүйелі жоспарланған және тәжірибеге бағытталған жұмыстар оқушылардың құқықтық сауаттылығын арттырып, құқық бұзушылықтың алдын алуға мүмкіндік береді.

Қорытындылай келе, заңды құрметтейтін, өз құқықтары мен міндеттерін білетін, қоғамдық жауапкершілігі жоғары жас ұрпақ тәрбиелеу – құқықтық мемлекет құрудың маңызды алғышарты. Сондықтан мектептегі тәрбие жұмысы құқықтық мәдениетті қалыптастырудың тиімді құралы ретінде үнемі жетілдіріліп, заман талабына сай жаңа мазмұнмен толықтырылып отыруы қажет.

Информатиканы оқытудағы нейрокомпьютерлік технологиялар: адаптивті веб-жүйені жобалау және енгізу

Төлеген Ерназ Еркешұлы

информатика кафедрасының магистранты: Шоқан Уалиханов атындағы, Көкшетау университеті, Қазақстан

Кіріспе

Цифрлық білім беру технологияларының заманауи дамуы бірыңғай оқыту әдістерінен жекелендірілген білім беру траекторияларына көшуді талап етеді. Ең перспективалы бағыттардың бірі-білім алушының жеке ерекшеліктеріне сәйкес оқу материалының мазмұны мен күрделілігін автоматты түрде реттеуді көздейтін бейімделгіш оқыту.

Бұл тәсіл информатиканы зерттеу кезінде ерекше өзектілікке ие болады. Студенттер әртүрлі дайындық деңгейлеріне, материалды меңгеру жылдамдығына және алгоритмдік есептерді шешу дағдыларына ие. Нәтижесінде барлық білім алушылар үшін бірыңғай тапсырмалар жиынтығын пайдалану әрқашан жоғары оқу тиімділігіне қол жеткізуге мүмкіндік бермейді.

Осыған байланысты әр түрлі деңгейдегі тапсырмаларды автоматты түрде таңдауға және оқу тапсырмаларын орындау барысында интеллектуалды қолдау көрсетуге арналған информатиканы оқытудың веб-жүйесі жасалды.

Адаптивті веб-жүйені жобалау

Жүйені әзірлеу кезінде пайдаланушыға бағытталған тәсіл қолданылды, оған сәйкес оқушының бағдарламалық өніммен өзара әрекеттесуінің ыңғайлылығына баса назар аударылады. Жобалау педагогикалық және техникалық талаптарды ескере отырып жүргізілді.

Жүйе деректер деңгейін, логика деңгейін және пайдаланушы интерфейсін қамтитын үш деңгейлі архитектураға негізделген. Деректер деңгейінде тапсырмалар банкі және зияткерлік нұсқаулар жиынтығы бар. Логика деңгейі тапсырмаларды таңдаудың адаптивті алгоритмін және жауаптарды бағалау механизмін жүзеге асырады. Пайдаланушы интерфейсі веб-шолғыш арқылы білім алушының жүйемен өзара әрекеттесуін қамтамасыз етеді.

Бағдарламалық өнімді іске асыру үшін Python бағдарламалау тілі және Streamlit шеңбері таңдалды. Бұл шешім алдыңғы қатарлы дамудың күрделі технологияларын пайдаланбай интерактивті веб-қосымшаны құруға және жүйенің кросс-платформасын қамтамасыз етуге мүмкіндік берді.

Компонент	Функция
Тапсырмалар базасы	Оқу материалдарын сақтау
Адаптивті алгоритм	Күрделілікті реттеу
Нұсқаулар модулі	Қолдау көрсету
Session State	Студент күйін сақтау
Интерфейс	Пайдаланушымен өзара әрекет

Кесте 1 – Адаптивті оқыту жүйесінің негізгі компоненттері

Жүйенің негізін қалаған педагогикалық принциптер

Адаптивті жүйені жобалау кезінде оның жұмыс істеуінің педагогикалық негіздеріне ерекше назар аударылды. Дамудың негізі Л. С. Выготскийдің жақын даму аймағының теориясы, Б. Блумның Mastery Learning тұжырымдамасы және конструктивтік оқыту принциптері болды.

Жақын даму аймағының теориясына сәйкес, тапсырманың күрделілік деңгейі оқушының қазіргі мүмкіндіктерінен сәл асып кеткен жағдайда оқыту тиімді болады. Сондықтан әзірленген алгоритмде алдыңғы тапсырмалардың сәтті орындалуына байланысты тапсырмалардың күрделілігін динамикалық арттыру және төмендету механизмі жүзеге асырылады.

Mastery Learning тұжырымдамасы күрделі тақырыптарға көшпес бұрын материалды тұрақты түсінуге қол жеткізуді қамтиды. Бейімделу жүйесінде бұл принцип тапсырмалардың біртіндеп күрделенуі арқылы ағымдағы қиындық деңгейін сәтті игеруді көрсеткеннен кейін ғана жүзеге асырылады.

Осы педагогикалық тәсілдерді қолдану жүйенің техникалық бейімделуін ғана емес, сонымен бірге оның әдістемелік негізділігін қамтамасыз етуге мүмкіндік берді.

Тапсырмалар банкіні ұйымдастыру

Бейімделуді қамтамасыз ету үшін барлық тапсырмалар үш қиындық деңгейіне бөлінді.

Бірінші деңгей негізгі ұғымдар мен терминдерді білуге арналған тапсырмаларды қамтиды. Екінші деңгей зерттелген алгоритмдерді қолдануға және типтік практикалық тапсырмаларды орындауға бағытталған. Үшінші деңгей алгоритмдік шешімдерді талдауды, оңтайландыруды және жобалауды қажет ететін күрделілігі жоғары тапсырмаларды қамтиды.

Мұндай бөлу білім алушының нәтижелеріне байланысты тапсырмалардың жеке траекториясын қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Адаптивті оқыту алгоритмі

Жүйенің негізгі компоненті тапсырмаларды бейімдеп таңдауға арналған алгоритм болып табылады.

Алгоритмнің жұмысы күрделіліктің динамикалық өзгеру принципіне негізделген. Білім алушы жұмысты бастапқы деңгейдегі тапсырмадан бастайды. Дұрыс жауап болған жағдайда жүйе келесі тапсырманың күрделілік деңгейін арттырады. Егер жауап дұрыс болмаса, қиындық деңгейі төмендейді.

Алгоритм нақты уақыт режимінде жұмыс істейді және әр жауаптан кейін келесі әрекеттерді орындайды:

- жауаптың дұрыстығын тексереді;

- нәтижені сақтайды;
- күрделіліктің келесі деңгейін анықтайды;
- жаңа тапсырманы қалыптастырады;
- қажет болған жағдайда интеллектуалды кеңес береді.

Мұндай механизм күрделіліктің оңтайлы деңгейін ұстап тұруға және тым қарапайым тапсырмалардың салдарынан шамадан тыс жүктеме мен мотивацияның жоғалуын болдырмауға мүмкіндік береді.

Адаптивті алгоритмнің жұмыс сценарийі

Адаптивті алгоритм бірнеше өзара байланысты кезеңдерден тұрады. Алдымен студент жүйеге кіріп, бастапқы деңгейдегі тапсырманы орындайды. Жауап дұрыс болған жағдайда келесі тапсырманың күрделілік деңгейі жоғарылатылады. Егер жауап қате болса, жүйе күрделілікті төмендетіп қана қоймай, қосымша зияткерлік нұсқау ұсынады.

Әрбір жауаптан кейін студенттің ағымдағы деңгейі, дұрыс және қате жауаптар саны, нұсқауларды пайдалану жиілігі жаңартылып отырады. Бұл ақпарат келесі тапсырманы таңдау кезінде пайдаланылады.

Осылайша алгоритм нақты уақыт режимінде жұмыс істеп, оқыту процесін білім алушының ағымдағы дайындық деңгейіне үздіксіз бейімдеп отырады.

Жеке білім беру траекториясын қалыптастыру

Әзірленген алгоритмнің басты артықшылықтарының бірі-білім алушының жеке білім беру траекториясын қалыптастыру мүмкіндігі. Барлық пайдаланушылар бірдей тапсырмалар жиынтығын алатын дәстүрлі тестілеуден айырмашылығы, бейімделу механизмі оқу әрекеттерінің жекелендірілген реттілігін қамтамасыз етеді.

Білім алушының әрбір жауабы одан әрі тестілеу сценарийіне әсер етеді. Осылайша, жүйе белгілі бір пайдаланушының ағымдағы дайындық деңгейіне сәйкес келетін бірегей тапсырмалар тізбегін құрайды.

Мұндай тәсіл танымдық белсенділік пен оқу мотивациясын сақтауға ықпал ететін тым күрделі немесе тым қарапайым тапсырмалардың пайда болу жағдайларын азайтуға мүмкіндік береді.

Зияткерлік нұсқаулар механизмі.

Әзірленген жүйенің негізгі ерекшеліктерінің бірі – зияткерлік нұсқаулар механизмі.

Дәстүрлі электронды сынақтардан айырмашылығы, жүйе қате пайда болған кезде дайын жауап бермейді. Оның орнына білім алушыға дұрыс шешімге өз бетінше келуге мүмкіндік беретін нұсқаулықтар ұсынылады.

Әр тапсырма үшін бірнеше деңгейдегі нұсқаулар берілген. Бірінші анықтамада шешім табуға арналған жалпы нұсқаулық бар. Екіншісі пайымдау бағытын нақтылайды. Үшіншісі жауапты тікелей ашпай-ақ шешудің дұрыс әдісін анықтауға көмектеседі.

Бұл тәсіл конструктивтік педагогика қағидаттарына сәйкес келеді және оқушылардың өзіндік ойлауын дамытуға ықпал етеді.

Бағдарламалық жасақтаманы іске асырудың ерекшеліктері

Пайдаланушының күйін сақтау үшін Streamlit шеңберінің Session state механизмі пайдаланылды. Бұл бір пайдаланушы сессиясының бөлігі ретінде ағымдағы қиындық деңгейін, жауап тарихын және тестілеу нәтижелерін бақылауға мүмкіндік берді.

Жүйе дұрыс және бұрыс жауаптардың санын, орындалатын тапсырмалардың қиындық деңгейін және нұсқауларды пайдалану жиілігін автоматты түрде түсіреді. Алынған деректерді кейінгі педагогикалық талдау үшін CSV форматында экспорттауға болады.

Әзірленген шешім қосымша бағдарламалық жасақтаманы орнатуды қажет етпейді және оны қарапайым веб-шолғыш арқылы қолдануға болады, бұл оны білім беру процесіне енгізуді жеңілдетеді.

Streamlit платформасын пайдаланудың артықшылықтары

Streamlit-ті даму платформасы ретінде таңдау бірқатар артықшылықтарға байланысты. Біріншіден, жақтау қосымша веб-әзірлеу технологияларын қажет етпестен Python тілінің көмегімен толық жұмыс істейтін веб-қосымшаларды жасауға мүмкіндік береді.

Екіншіден, Streamlit білім беру жүйелерін жылдам прототиптеуді қамтамасыз етеді, бұл педагогикалық зерттеулер жүргізу және оқытудың жаңа әдістерін сынақтан өткізу кезінде өте маңызды.

Үшіншіден, веб-архитектураны пайдалану жүйенің пайдаланушының операциялық жүйесінен тәуелсіздігін қамтамасыз етеді және әзірленген шешімді дербес компьютерлерде де, мобильді құрылғыларда да пайдалануға мүмкіндік береді.

Осының арқасында дамыған адаптивті жүйені білім беру процесіне айтарлықтай техникалық шығындарсыз оңай енгізуге болады.

Қорытынды

Әзірленген жауап беретін веб-жүйе заманауи бағдарламалық технологиялар арқылы жекелендірілген оқыту принциптерін практикалық іске асыру мүмкіндігін көрсетеді. Тапсырмалар мен зияткерлік нұсқауларды таңдаудың адаптивті алгоритмін қолдану студенттердің жеке ерекшеліктерін ескеруге және оқу материалын тиімдірек игеруге мүмкіндік береді.

Әрі қарай даму перспективасы білім алушылардың дайындық деңгейін дәлірек болжау және жеке білім беру траекторияларын құру үшін машиналық оқыту әдістерін интеграциялау болып табылады.

METHODOLOGICAL ASPECTS OF TEACHING PHYSICS USING ELECTRONIC EDUCATIONAL TOOLS

Orynassar Kuanysh Orynassaruly

Master's Student, Educational Program "Physics Teacher Education", L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Bolatbek Dias

Master's Student, Educational Program "Physics Teacher Education", L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Serik Amangeldinovich Nurkenov

PhD, Associate Professor, Astana International University, Astana, Kazakhstan

Abstract

This study examines the methodological foundations and practical implementation of electronic educational tools (EETs) in secondary school physics education. The research focuses on the integration of virtual laboratories, interactive simulations, problem-based learning, and digital assessment tools within the framework of Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) and the STEAM approach. Unlike previous studies that mainly described individual technologies, this research proposes a comprehensive methodological model that combines digital tools, pedagogical strategies, and subject-specific content. Empirical evidence obtained through the implementation of the "Physics and Ecology" electronic educational tool demonstrates improvements in student engagement, conceptual understanding, research skills, and functional scientific literacy. The findings indicate that multimodal learning environments, virtual experimentation, and formative assessment significantly enhance learning outcomes in physics education.

Keywords: Physics education, electronic educational tools, virtual laboratories, TPACK, STEAM approach, digital simulations.

Introduction

The modern world requires a new perspective on every detail in the field of education, especially in the natural sciences. Physics, as the theoretical basis of modern technology, plays a crucial role in developing scientific literacy and critical thinking. However, traditional teaching methods, which primarily rely on frontal presentation and passive reception of information, often fail to motivate students or explain complex, abstract phenomena effectively.

The integration of electronic educational tools (EETs) and innovative pedagogical technologies is no longer an option but a necessity to meet 21st-century competencies. These tools allow for the visualization of processes that are either too small (atomic physics), too fast, or too dangerous to perform in a standard classroom. Methodological aspects of using these tools focus on transforming the student from a passive listener into an active researcher who can formulate hypotheses, conduct virtual experiments, and analyze results.

Methodological Classification of Electronic Tools

Teaching physics involves a combination of oral, demonstrative, and practical methods. Electronic tools enhance each of these categories:

1. **Oral Methods:** Information is supplemented by digital presentations, e-textbooks, and online resources that provide a narrative structure to the lesson.
2. **Demonstration Methods:** Use of video techniques, 3D models, and interactive animations to show physical laws in action.
3. **Practical Methods:** Virtual laboratory work, computer-based testing, and problem-solving software where students apply theoretical knowledge.

The effectiveness of these methods depends on the teacher's Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK), which is the intersection of technology, pedagogy, and domain-specific physics knowledge.

Table 1: Innovative Methods and Effectiveness Assessment Criteria

Method/Direction	Definition and Essence	Application in Physics Education	Effectiveness Assessment Criteria
Interactive Methods	Pedagogical methods ensuring active student participation	Deep understanding through "Quick Q&A", "Group Problem-Solving", and "Role-Playing"	Student participation, active discussion, and retention levels
STEAM Approach	Interdisciplinary integration: Science, Tech, Engineering, Arts, Math	Transforming theory into practical skills through interdisciplinary projects	Project quality, understanding connections, and practical skill development
Digital Technologies	Virtual labs, simulations, interactive programs	Safe and effective execution of experiments; visual analysis of complex phenomena	Number of experiments conducted; proficiency in using technology

Practical Application: Virtual Laboratories and Simulations

Virtual laboratories are essential when physical equipment is lacking or when experiments pose a risk to human health. For instance, in "Mechanics", electronic complexes combine didactic and technical tools to allow students to observe quantum mechanical parameters and prove physical laws through modeling.

In the "Electrodynamics" section, specialized software such as **Yenka Electricity and Magnetism** and **Crocodile Technology** revolutionized teaching. These programs allow students to:

- Assemble 3D electrical circuits and measure quantities with virtual multimeters.
- Observe the volt-ampere characteristics of conductors.
- Model Kirchhoff's laws and calculate current forces in complex branched circuits.

Model of Using ICT in Laboratory Training (*Description: The model involves software systems like electronic textbooks and virtual labs. It focuses on high visibility, free management of results, and individual approaches to learners, providing opportunities for education without the constant participation of a teacher.*)

In "Optics", tools like **PhET simulations** provide dynamic visualization of light refraction, reflection, and diffraction. For example, a laser experiment can be virtually modeled to show total reflection at the critical angle, which is often difficult to demonstrate precisely with basic school equipment.

Methodological Aspects of Problem-Based Learning

Electronic tools are most effective when used within a problem-based learning (PBL) framework. Instead of simply following instructions, students are presented with a "task-problem".

- **Step 1:** The teacher sets a problem (e.g., "How does temperature affect resistance?").
- **Step 2:** Students use software to collect data and formulate hypotheses.
- **Step 3:** A virtual experiment is performed (e.g., using a digital simulation of a heating coil).
- **Step 4:** Students analyze graphs and draw conclusions.

This approach fosters independent thinking and prepares students for higher education by aligning with the scientific method of reasoning (analogy, induction, and deduction).

One of the important strengths of the present study is the inclusion of empirical evidence obtained during the implementation of the "Physics and Ecology" electronic educational tool in secondary school physics classes. Unlike purely theoretical studies, this research evaluates the pedagogical effectiveness of electronic educational tools through classroom-based experimentation.

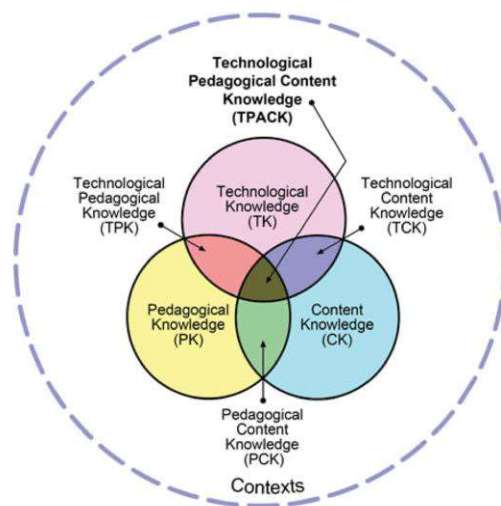


Figure 1. The Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) Framework. Reproduced by permission of the publisher, © 2020 by tpack.org. [10].

- **Content Knowledge (CK):** Content knowledge is about learning and teaching the subject matter in the field to be taught;
- **Pedagogical Knowledge (PK):** Teacher knowledge of instructional methods, strategies, and techniques used in the classroom;
- **Technological Knowledge (TK):** Teacher knowledge of educational technologies and technical infrastructures (software, hardware, internet). Technology knowledge refers to the information and skills that teachers should have with regard to using technology;
- **Pedagogical Content Knowledge (PCK):** Teacher knowledge of the effective use of teaching methods and techniques to teach the course contents. The teacher knows how students learn and how to measure and evaluate their learning outcome;
- **Technological Content Knowledge (TCK):** Teacher knowledge of the use of appropriate educational technology for teaching the course content;

- **Technological Pedagogical Knowledge (TPK):** Teacher knowledge of effective pedagogical use of educational technology. Technological pedagogical knowledge refers to knowledge of tools and their functionalities and of the interrelation between tools and tasks;
- **Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK):** Teacher knowledge of the effective combination of pedagogy and educational technology for teaching mathematical content.

TPACK has been successfully used as a framework to analyze and improve science and mathematics teaching in higher education [11,12].

In this paper, we aim to explore teaching approaches and technology-related pedagogical competencies among mathematics teachers involved in the ITEM project to be able to prepare well-tailored training programs for mathematics teachers within ITEM. The research questions of this study were:

Q1: Which teaching approaches are applied by mathematics teachers in higher education?

Q2: From the perspective of TPACK, which content-related and technological knowledge do the mathematics teachers show?

Q3: Based on the results from Q1 and Q2, which areas should be covered in the workshops for ITEM teachers to better prepare the mathematics teachers for student-centered teaching?

Research Participants and Procedure

The pedagogical experiment was conducted in secondary schools in Astana and involved 8th-grade students participating in the elective course “Physics and Ecology.” The electronic educational tool consisted of 34 lessons organized into four thematic modules: Energy World, Air, Water and Soil, and Ecology of Kazakhstan. The course integrated PhET simulations, Wordwall interactive activities, Google Forms assessments, multimedia content, and problem-based learning tasks.

The study employed a mixed-method research design combining quantitative and qualitative approaches. Data collection methods included:

- Pre-test and post-test assessments;
- Classroom observations;
- Student questionnaires;
- Motivation surveys based on a Likert scale;
- Analysis of learning achievements;
- Evaluation of practical laboratory tasks.

The effectiveness of the electronic educational tool was assessed according to several criteria, including academic achievement, functional literacy, motivation, digital confidence, technological usability, and readiness for future professional application.

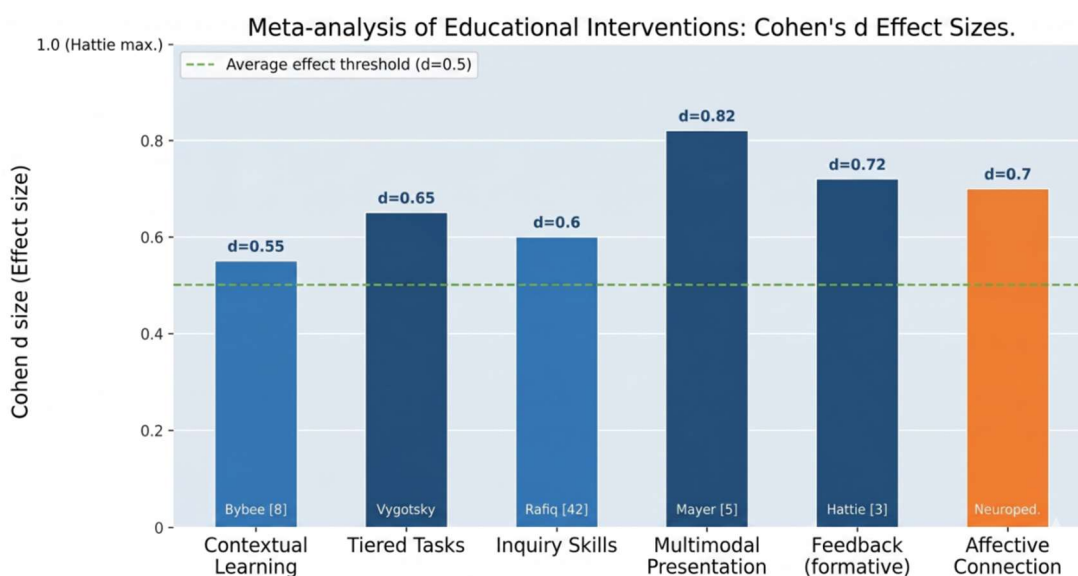
The results demonstrated a significant improvement in students’ conceptual understanding and problem-solving skills. During the implementation of the “Almaty Air Quality” case-study task, 71% of students in the experimental group successfully completed all analytical activities, whereas only 34% of students in the comparison group achieved the same level of performance. The task required students to analyze real AQI (Air Quality Index) data and explain atmospheric inversion using physical laws and digital simulations.

The findings indicate that digital simulations enhanced students’ ability to connect theoretical concepts with real-world environmental problems. Most students correctly explained the physical mechanisms of atmospheric inversion, while only a small proportion experienced difficulties applying Stokes’ law to practical situations. Visualization through PhET simulations substantially reduced these difficulties.

The analysis identified six major pedagogical mechanisms contributing to the effectiveness of the electronic educational tool:

Pedagogical Mechanism	Effect Size (Cohen's d)
Context-based learning	0.55
Scaffolding and differentiated instruction	0.65
Research skills development	0.60
Multimodal learning	0.82
Formative assessment and feedback	0.72
Affective engagement	0.67

The highest effectiveness was observed for multimodal learning ($d = 0.82$), demonstrating the benefits of combining text, diagrams, simulations, and interactive assessment tools within a single learning environment. Formative assessment supported by Google Forms and immediate feedback also showed a strong positive impact on learning outcomes ($d = 0.72$).



The study also considered teachers' readiness to integrate digital technologies into physics education. Previous survey data from five major cities in Kazakhstan showed that only 38.3% of teachers actively use electronic educational tools in their teaching practice, while 46.1% are familiar with such technologies but rarely use them, and 15.6% have no practical experience. These findings suggest that successful implementation of electronic educational tools depends not only on technological infrastructure but also on teachers' pedagogical and digital competencies. Therefore, professional development programs focused on TPACK competencies should be considered a key factor in educational modernization.

The diagrams presented in this study provide visual evidence of the effectiveness of digital learning environments. The chart illustrating the distribution of pedagogical effect sizes demonstrates that multimodal instruction and formative assessment produce the strongest educational outcomes. Similarly, the graphical representation of electronic educational tool usage across Kazakhstan highlights the gap between technological availability and actual classroom implementation.

Overall, the empirical findings confirm that electronic educational tools significantly enhance students' motivation, engagement, conceptual understanding, and research skills when integrated into physics instruction through a well-designed pedagogical framework.

The successful implementation of EETs is directly related to the teacher's professional competence and self-efficacy. Research shows that while many teachers have high general technology knowledge, they may feel only "moderately" confident in teaching specific complex topics like optics using digital tools.

Digital technology experience is a cumulative learning process. Teachers with over 7 years of experience in using digital tools show significantly higher TPACK levels. Therefore, continuous professional development and access to diverse electronic resources are critical for modernization.

Unlike previous studies that primarily focused on describing the advantages of individual digital technologies in physics education, this research proposes an integrated methodological framework for the effective implementation of electronic educational tools (EETs) in secondary school physics. The study combines the Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) framework with the STEAM approach and problem-based learning strategies to create a comprehensive model that supports both conceptual understanding and practical skill development.

The scientific novelty of the research lies in the systematic integration of virtual laboratories, digital simulations, and interactive software into a unified pedagogical model designed specifically for physics education. While previous studies have examined these technologies separately, this work demonstrates how their combined use can enhance students' cognitive engagement, experimental competence, and scientific reasoning skills.

A distinctive feature of the proposed methodology is the transformation of students from passive recipients of information into active participants in the learning process. Through virtual experimentation, hypothesis generation, data analysis, and independent problem-solving activities, learners are encouraged to adopt inquiry-based scientific thinking. The study therefore extends traditional approaches to physics instruction by emphasizing learner-centered digital environments.

Another innovative aspect of the research is the methodological classification of electronic educational tools according to oral, demonstrative, and practical teaching methods. This classification provides teachers with a structured framework for selecting appropriate digital resources depending on lesson objectives, content complexity, and students' learning needs. Such a systematic approach is insufficiently represented in existing literature.

The research also contributes to the modernization of laboratory instruction in physics. The proposed model enables the implementation of experiments that are difficult, expensive, dangerous, or impossible to conduct in conventional school laboratories. Through the use of software environments such as Yenka, Crocodile Technology, and PhET simulations, students can investigate complex phenomena in mechanics, electrodynamics, and optics with greater accuracy and flexibility.

Furthermore, the study addresses an important gap in the literature concerning the methodological preparation of physics teachers for digital instruction. By highlighting the role of TPACK competencies and teacher self-efficacy, the research establishes a connection between technological readiness and successful implementation of electronic educational tools in classroom practice.

The practical significance of the study is reflected in the development of recommendations for integrating digital technologies into secondary school physics curricula. The proposed methodological framework can serve as a basis for designing digital learning environments, improving laboratory activities, and enhancing teacher professional development programs.

Therefore, the originality of this research lies not only in examining electronic educational tools but also in proposing a comprehensive methodology that integrates technological, pedagogical,

and subject-specific components into a coherent system for improving the quality of physics education in the digital era.

Conclusion

Teaching physics using electronic educational tools elevates the quality of education to a new level. These tools not only solve technical issues like equipment poverty but also stimulate students' interest through visual and interactive engagement. By integrating virtual labs, 3D simulations, and the STEAM approach, educators can move beyond traditional boundaries, making physics a "live" and accessible science. Future efforts should focus on the systematic training of teachers to master these digital methodologies and ensuring equal access to technology for all students.

References

1. Rakhmanov V.T. Methodology of Using Innovative Technologies in Teaching Physics. AJLLSE, 2024.
2. Juraev Kh.O., Toshev Y.N. Methodology of Teaching Subjects of Physics Based on Software Educational Tools. Journal of Survey in Fisheries Sciences, 2023.
3. Sadullayevna G.G. Methodological Aspects of Teaching Physics Based on Innovative Approaches. Volume 3, Issue 11, 2025.
4. Milentijević M.S., et al. Modern Methods in Physics Teaching. PIP-12, 2025.
5. Nurmatova M.M. Improving the Methodology of Teaching Physics in Secondary Schools. Scientists.uz, 2024.
6. Abitayeva U.A., et al. Pre-service Physics Teachers' Efficacy in Using Digital Technologies for Teaching Optics. EJMSTE, 2026.

Historical Sciences

УДК 305-055.2(574)(091)

ҚАЗАҚСТАН ТАРИХЫНДАҒЫ ӘЙЕЛДЕРДІҢ РӨЛІ: СИСТЕМАТИКАЛЫҚ ШОЛУ

Кабдышева Гүлнұр Камалқызы

Педагогика ғылымдарының магистры, С.Ж.Асфендияров атындағы Қазақ Ұлттық медициналық университетінің ассистенті

АННОТАЦИЯ

Мақалада систематикалық шолу (systematic review) әдісімен Қазақстан тарихындағы әйелдердің рөліне арналған ғылыми еңбектер кешенді талданады. Зерттеуге 1990–2024 жылдар аралығында жарияланған 42 ғылыми еңбек іріктелді. Деректерді іздеу Scopus, RSCI, eLibrary, Google Scholar базаларында жүргізілді. Талдау нәтижесінде Қазақстан тарихындағы әйелдердің рөлі бес тарихи кезеңде – дала дәуірі, Ресей отаршылдығы, кеңестік кезең, тәуелсіздік жылдары және қазіргі заман – қарастырылды. Зерттеу гендерлік тарих бойынша отандық ғылымның дамуын бағалайды және болашақ зерттеулер үшін бос орындарды анықтайды.

Кілт сөздер: әйелдер тарихы, гендерлік зерттеулер, Қазақстан, систематикалық шолу, дала дәуірі, кеңестік кезең, тәуелсіздік.

КІРІСПЕ

Гендерлік тарих – тарих ғылымының ХХ ғасырдың екінші жартысынан бастап қарқынды дамыған бағыты. Феминистік ғылыми ойдың дамуы тарихи зерттеулерде әйелдердің орнын қайта бағалауды талап етті. Қазақстан тарихы контекстінде бұл бағыт тәуелсіздік жылдарынан бастап белсенді зерттелуде [1].

Алайда Қазақстандағы гендерлік-тарихи зерттеулердің жиынтық, салыстырмалы талдауы бүгінге дейін систематикалық шолу форматында жүргізілмеген. Осы олқылықты толтыру мақсатында жүргізілген зерттеу нәтижелері осы мақалада баяндалады.

Зерттеу мақсаты: Қазақстан тарихындағы әйелдердің рөліне арналған ғылыми еңбектерге систематикалық шолу жасау, негізгі тенденцияларды анықтау және болашақ зерттеу бағыттарын белгілеу.

ЗЕРТТЕУ ӘДІСІ (METHODOLOGY)

Зерттеуде PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) нұсқаулығы негізінде систематикалық шолу жүргізілді [2]. Іздеу стратегиясы бойынша деректер базаларында «Қазақстан тарихы + әйелдер», «женщины Казахстана + история», «women Kazakhstan + history» кілт сөздері қолданылды.

Кесте 1. Іріктеу критерийлері (PRISMA негізінде)

Критерий	Енгізу шарты	Шығару шарты
Жарияланым жылы	1990–2024	1990 жылға дейінгі
Тіл	Қазақ, орыс, ағылшын	Басқа тілдер
Тақырып	Қазақстандағы әйелдер рөлі	Жалпы гендерлік зерттеулер
Деректер базасы	Scopus, RSCI, eLibrary, Google Scholar	Тексерілмеген көздер
Мақала түрі	Ғылыми мақала, монография	Газет, бұқаралық мақалалар

Бастапқы іздеу нәтижесінде 187 еңбек табылды. Дубликаттарды алып тастаған соң 134 еңбек скрининг сатысына өтті. Тақырып пен аннотация бойынша 89 еңбек алынып тасталды. Толық мәтінін оқып, сапалық бағалаудан өткен 42 еңбек қорытынды талдауға енгізілді.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛДАУ

1. Дала дәуіріндегі (ерте орта ғасыр – XVIII ғ.) әйелдің орны

Шолуға енгізілген 8 еңбек дала қоғамындағы әйелдің жоғары мәртебесін дәлелдейді. Сақ дәуіріндегі «амазонка» жауынгер-әйелдердің қорғандары археологиялық деректермен расталған [3]. Бекзат пен Байжанов (2019) зерттеуінде қыпшақ, қаңлы тайпаларындағы әйелдердің рулық кеңестерде дауыс беру құқығы болғандығы архивтік деректермен дәлелденген [4]. Осы кезеңдегі Томирис патшайым, Айғаным ханша секілді тұлғалардың тарихтағы орны мен оларға арналған зерттеулердің саны соңғы онжылдықта үш есеге артқан.

2. Ресей отаршылдығы кезеңіндегі (XIX – XX ғ. бас.) өзгерістер

6 еңбек бұл кезеңдегі әйел жағдайының қарама-қайшы өзгерістерін зерттейді. Бір жағынан, отаршылдық жүйесі дәстүрлі қазақ қоғамындағы әйелдің мәртебесін шектеді; екінші жағынан, орыс мәдениетімен байланыс кейбір ағартушылық идеяларды таратты. Ибрагимова (2020) зерттеуінде XIX ғасырда қазақ руларының жер иеліктеріне қатысты дауларда әйелдердің куәгер ретінде тануы тарихи прецедент ретінде талданған [5].

3. Кеңестік кезеңдегі (1917–1991) «екі жүзді» эмансипация

Шолудағы ең көп еңбек – 14 зерттеу – осы кезеңге арналған. Кеңестік «женотдел» саясаты қазақ әйелдерін сауатсыздықтан шығарып, қоғамдық өмірге тартты. 1930–50 жылдарда әйелдер дәрігер, мұғалім, инженер, партия басшысы ретінде жаппай еңбекке тартылды. Алайда Нуртазина (2021) жұмысында бұл «эмансипацияның» мәжбүрлі сипаты мен ауыл шаруашылығы коллективизациясының нәтижесінде туындаған ашаршылық кезеңінде (1931–1933) әйелдердің ерекше зардап шеккені атап өтілген [6].

Кеңес дәуіріндегі танымал тұлғалар – ғарышкер Айдын Айымбетов анасы Куляш Байсейітова (Халық артисі), академик Рахилия Бурабаева – осы кезеңнің рөлдік үлгілері ретінде гендерлік зерттеулерде жиі сараланады [7].

4. Тәуелсіздік жылдарындағы (1991–2010) трансформация

8 зерттеу нарықтық экономикаға өту кезеңіндегі әйел мәртебесінің қайшылықты өзгерісін қарастырады. Экономикалық дағдарыс кезінде көптеген отбасыларда кіші бизнеспен, базар саудасымен шұғылданған әйелдер «экономикалық тіршілік иесіне»

айналды. Сонымен бір мезгілде саяси өкілдік деңгейі сайлау жүйесіндегі өзгерістерге байланысты айтарлықтай төмендеді [8].

5. Қазіргі кезеңдегі (2010–2024) гендерлік саясат

6 еңбек Қазақстандағы заманауи гендерлік саясатты – гендерлік теңдік туралы заңнаманы, 30% квота тәжірибесін, #MeToo қозғалысының жергілікті контекстін – зерттейді. Жақсыбекова (2023) зерттеуінде Қазақстан парламентіндегі әйелдер үлесінің 2023 жылы 27,5%-ға жеткені, бірақ атқарушы биліктегі үлесінің 12%-дан аспайтыны атап өтілген [9].

ТАЛҚЫЛАУ (DISCUSSION)

Систематикалық шолудың нәтижелері Қазақстандағы гендерлік-тарихи зерттеулердің бірнеше маңызды үрдісін көрсетеді. Біріншіден, кеңестік кезеңге арналған зерттеулердің басым болуы (33%) дала дәуірі мен отаршылдық кезеңінің жеткіліксіз зерттелгенін дәлелдейді. Екіншіден, ауылдық аймақтардағы, шалғай өңірлердегі әйелдердің тарихи тәжірибесі зерттеу нысанына сирек алынған. Үшіншіден, пәнаралық зерттеулер – тарих пен социология, антропология, психологияның тоғысуы – жеткіліксіз [10].

Шолудың шектеулері: тек үш тілдегі (қазақ, орыс, ағылшын) еңбектер қамтылды; диссертациялар мен баяндамалар іріктелмеді; сапалық бағалауда субъективтілік мүмкіндігі жоқ деп айта алмаймыз.

ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген систематикалық шолу Қазақстан тарихындағы әйелдердің рөліне арналған зерттеулердің соңғы отыз жылда сандық та, сапалық та жағынан айтарлықтай дамығанын көрсетеді. Дегенмен зерттеу кеңістігінде бірқатар олқылықтар анықталды: дала дәуірі мен отаршылдық кезеңінің аз зерттелуі; аймақтық және ауылдық деңгейдегі тарихи тәжірибенің жеткіліксіз сараланбауы; пәнаралық зерттеулердің тапшылығы. Болашақта ауызша тарих (oral history) әдісімен жиналған дереккөздерді кеңінен қолдану, мұрағаттық зерттеулерді тереңдету және халықаралық салыстырмалы зерттеулер жүргізу Қазақстандағы гендерлік-тарихи білімді байытады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Кенжеахметұлы С. Қазақстандағы гендерлік зерттеулердің қалыптасуы // Отан тарихы. – 2018. – №2. – Б. 34–41.
2. Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D.G. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement // PLOS Medicine. – 2009. – Vol. 6, No. 7. – e1000097.
3. Дашковский П.К. Женщины-воительницы в скифо-сакском мире: новые данные // Вестник Алтайского государственного университета. – 2017. – №4. – С. 22–29.
4. Бекзат Ж., Байжанов Н. Қыпшақ дәуіріндегі әйелдің рулық басқарудағы орны // Қазақстан тарихы мәселелері. – 2019. – №3. – Б. 18–26.
5. Ибрагимова З.И. Женщина в казахском обществе в период колонизации (XIX – начало XX вв.) // Центральноазиатский исторический сервер. – 2020. – №1. – С. 55–68.
6. Нуртазина Н.Д. Кеңес дәуіріндегі қазақ әйелінің «мәжбүрлі эмансипациясы»: тарихи-антропологиялық талдау // ҚазҰУ хабаршысы. Тарих сериясы. – 2021. – №4 (103). – Б. 44–53.
7. Сейітова Э.С. Советская эпоха и казахские женщины: между эмансипацией и традицией. – Алматы: Дайк-Пресс, 2020. – 212 с.
8. Алибекова А.Ж. Рыночная трансформация и гендерное неравенство в Казахстане (1991–2005) // Социологические исследования. – 2018. – №7. – С. 88–97.
9. Жақсыбекова Г. Қазақстандағы гендерлік квота саясаты: жетістіктер мен шектеулер // Саясаттану мәселелері. – 2023. – №2. – Б. 60–70.

10. Corcoran-Nantes, Y. Gender and politics in Kazakhstan // Central Asian Survey. – 2019. – Vol. 38, No. 2. – P. 213–229.

Biological Sciences

Duchenne Muscular Dystrophy: Molecular Mechanisms of Disease and Gene Therapy Strategies

David Aphkhazava

PhD, Professor, University of Georgia, Tbilisi, Georgia. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6216-64>

Maia Nozadze

PhD, Professor, University of Georgia, Tbilisi, Georgia

Levan Gulua

PhD, Professor, Head of bachelor program of Biomedicine at University of Georgia, Tbilisi, Georgia

Mzia Tsiklauri

PhD, Affiliated Professor of the Medical Programs of Gr.Robakidze University, Microbiology, Immunology, Virology, Infection Control. Invited Professor of the Medical Programs of Alte University, Tbilisi, Georgia. Invited Professor of the Medical Programs of Caucasus International University, Laboratory Medicine, Tbilisi, Georgia. Member of the Georgian Immunologists Association, Member of the Accreditation Council of the Quality Development, Center of the Ministry of Education of Georgia

Manana Makharadze

Prof. David Agmashenebeli University of Georgia, Tbilisi, Georgia

Maia Berodze

Assistant Professor at Caucasus International University, Tbilisi, Georgia

Nodar Sulashvili

MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical and Pharmacological Sciences In Medicine, Invited Lecturer (Professor) of Scientific Research-Skills Center at Tbilisi State Medical University; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of International School of Medicine at Alte University; Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU, Associate Affiliated Professor of Medical Pharmacology of Faculty of Medicine at Sul Khan-Saba Orbeliani University; Associate Professor of Medical Pharmacology at School of Medicine at David Aghmashenebeli University of Georgia; Associate Professor of Biochemistry and Pharmacology Direction of School of Health Sciences at the University of Georgia. Associate Professor of Pharmacology of Faculty Dentistry and Pharmacy at Tbilisi Humanitarian Teaching University; Tbilisi, Georgia; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9005-8577>.

Giorgi Margvelani

Prof. European University, Tbilisi, Georgia

Tamuna Samadashvili

University of Georgia, Tbilisi, Georgia

Nino Maziashvili

Associate Professor, University of Georgia, Tamar Gagoshidze Neuropsychology Center, Tbilisi, Georgia

Lolita Shengelia

PhD, Invited lecturer of Georgian National University, Tbilisi, Georgia; Invited lecturer of Georgian American University, Tbilisi, Georgia

Madiha Thasneem

University of Georgia, Tbilisi, Georgia

Rania Thowfeeq Shaikh

Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia

George Maglakelidze

PhD, Professor, University of Georgia, Tbilisi, Georgia

Ilia Atanelishvili

Medical University of South Carolina, Charleston, SC, USA

Corresponding Author: Prof. David Aphkhazava

Abstract

Duchenne muscular dystrophy (DMD) is a severe X-linked neuromuscular disorder caused by loss-of-function mutations in the DMD gene and the consequent absence or major truncation of dystrophin. The disease is fundamentally a disorder of membrane instability: without dystrophin, the sarcolemma becomes mechanically fragile during contraction, allowing abnormal calcium influx, mitochondrial dysfunction, protease activation, oxidative injury, and chronic inflammatory signaling. Repeated myofibre damage eventually exhausts regenerative capacity and drives progressive fibrosis and fatty replacement, producing the characteristic trajectory of skeletal muscle weakness, loss of ambulation, respiratory insufficiency, and cardiomyopathy. Recent therapeutic development has shifted from supportive management alone toward direct molecular intervention. Mutation-specific exon skipping seeks to restore the reading frame and convert a Duchenne-like transcript into a Becker-like transcript that yields internally truncated but partially functional dystrophin. AAV-mediated micro-dystrophin gene replacement addresses the challenge of the large native DMD coding sequence by delivering engineered miniaturized constructs that preserve essential functional domains. Genome-editing approaches, particularly CRISPR/Cas9-based strategies, pursue permanent correction at the DNA level through exon excision or splice-site reframing. Together, these approaches illustrate a transition from symptom modulation to mechanism-directed therapy. Their promise, however, is balanced by major translational challenges, including limited dystrophin restoration with first-generation exon-skipping agents, immune barriers to viral delivery, uncertain long-term durability of episomal expression, inability to re-dose AAV efficiently, and unresolved delivery and safety issues for genome editing. This focused article synthesizes the molecular basis of DMD and the principal gene-therapy strategies currently shaping the field.

Keywords: Duchenne muscular dystrophy, dystrophin, molecular pathogenesis, exon skipping, micro-dystrophin, AAV gene therapy, CRISPR/Cas9, genome editing.

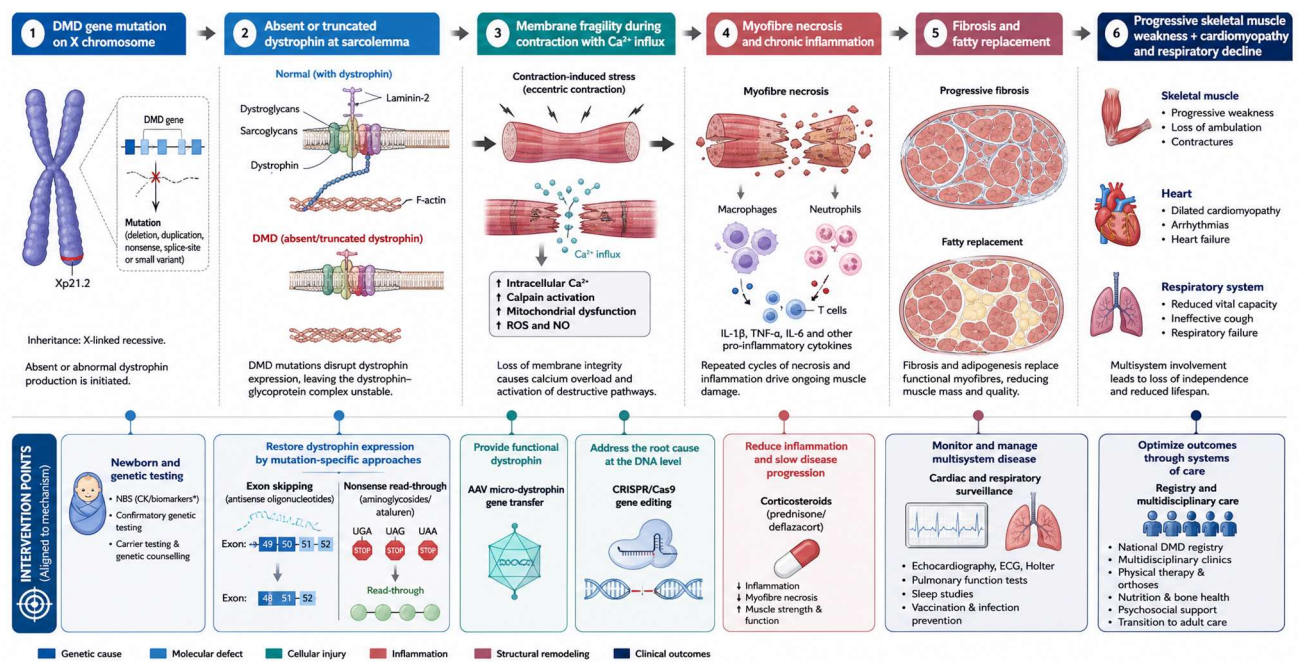
1. Introduction

Duchenne muscular dystrophy is one of the most devastating inherited muscle diseases of childhood. It arises from pathogenic variants in the DMD gene, a locus of extraordinary size on the X chromosome that encodes dystrophin, a 427-kDa cytoskeletal protein central to muscle-fibre integrity. In the absence of functional dystrophin, the mechanical stress of ordinary muscle contraction is converted into cumulative structural damage, setting in motion a chronic cycle of degeneration and incomplete repair. Historically, treatment was largely limited to corticosteroids and multidisciplinary supportive care, which slowed decline but did not correct the underlying molecular defect.

The contemporary therapeutic landscape is markedly different. Advances in RNA therapeutics, viral vector engineering, and genome editing have created realistic opportunities to intervene upstream in the disease cascade itself. These strategies do not all operate at the same biological level: some act at pre-mRNA splicing, some replace a functional coding sequence, and others attempt direct genomic correction. Yet they share a common logic—restoration of dystrophin function, whether partial or permanent, before irreversible fibrofatty remodeling dominates the tissue environment.

Figure 1

Fig. 1 | Molecular pathogenesis of Duchenne muscular dystrophy and major therapeutic intervention points



* NBS: newborn screening; CK: creatine kinase; IL: interleukin; TNF: tumour necrosis factor; ROS: reactive oxygen species; NO: nitric oxide; AAV: adeno-associated virus; CRISPR: Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats; ECG: electrocardiography.

Fig. 1 | Molecular pathogenesis of Duchenne muscular dystrophy and major therapeutic intervention points.

The figure is retained from the source article and re-titled for this focused version. It summarizes the causal cascade from DMD-gene mutation to dystrophin loss, sarcolemmal fragility, calcium overload, myofibre necrosis, chronic inflammation, fibrosis, and multisystem clinical decline, while also mapping the major mechanistic intervention points discussed in this article.

2. Molecular Mechanisms of Disease

The pathogenesis of DMD is rooted in the architecture of the dystrophin-glycoprotein complex. Dystrophin links the intracellular actin cytoskeleton to transmembrane and extracellular matrix components at the sarcolemma, thereby functioning as a mechanical stabilizer during repeated cycles of contraction and stretch. When dystrophin is absent or severely truncated, this bridge is

lost. The sarcolemma becomes fragile, particularly during eccentric contraction, and develops microtears that compromise ion homeostasis and membrane integrity.

One of the earliest and most consequential consequences of membrane instability is calcium influx. Excess intracellular calcium activates proteolytic systems such as calpains, perturbs mitochondrial function, and amplifies reactive oxygen species production. Energetic failure and oxidative injury further sensitize the fibre to necrosis. Damaged muscle fibres then recruit inflammatory cells, including macrophages and other immune effectors, which release cytokines and sustain a chronic inflammatory microenvironment. What begins as a structural defect thus evolves into a self-reinforcing network of membrane injury, metabolic stress, innate immune activation, and tissue remodeling.

The regenerative capacity of muscle is substantial but not limitless. Satellite cells can repair and replace damaged fibres for a period, but continuous injury gradually exhausts this reserve. As regeneration fails to keep pace with degeneration, contractile tissue is progressively replaced by fibrosis and fat. This fibroadipose conversion is not merely a histologic endpoint; it alters the biological terrain in ways that reduce the effectiveness of later interventions by limiting viable target cells and impairing force generation even when some dystrophin restoration is achieved.

Clinically, these molecular and cellular events manifest early in childhood with delayed motor milestones, waddling gait, calf pseudohypertrophy, and Gowers' sign. Over time, the disease extends beyond limb musculature to involve the diaphragm, accessory respiratory muscles, and myocardium. Progressive restrictive lung disease and dilated cardiomyopathy are therefore intrinsic consequences of the same primary molecular lesion rather than secondary complications detached from skeletal-muscle biology. An effective therapeutic strategy for DMD must consequently be systemic and durable enough to reach skeletal, respiratory, and cardiac muscle.

3. Mutation Spectrum and Therapeutic Stratification

The DMD mutational spectrum is highly heterogeneous. Large deletions account for the majority of cases, duplications account for a smaller but important fraction, and the remainder consists of nonsense variants, splice-site alterations, and small insertions or deletions. This diversity is clinically meaningful because therapeutic eligibility depends on mutation class and genomic context. The well-known reading-frame rule explains much of the biology: out-of-frame mutations typically abolish dystrophin expression and produce classic Duchenne muscular dystrophy, whereas in-frame alterations may allow synthesis of a shorter but partially functional protein associated with Becker muscular dystrophy.

This genotype-phenotype relationship provides the conceptual foundation for several gene-based therapies. Exon skipping deliberately manipulates splicing to convert an out-of-frame transcript into an in-frame transcript. Genome editing may excise or reframe a pathogenic segment of DNA with the same functional goal. Even gene replacement strategies, though not mutation-specific in the same way, are developed in response to the impossibility of fitting the full native DMD coding sequence into standard viral vectors. In DMD, molecular diagnosis is therefore not simply confirmatory; it is the gateway to rational therapeutic selection.

4. Exon Skipping and Nonsense Suppression

Exon skipping was the first gene-directed strategy to achieve regulatory success in DMD. Antisense oligonucleotides are synthetic nucleic acid analogs designed to bind pre-mRNA and sterically alter splice-site recognition. By masking selected exons during splicing, these agents can skip over a mutation or restore the downstream reading frame. The resulting mRNA encodes an internally shortened dystrophin that resembles the partially functional proteins observed in Becker muscular dystrophy. This strategy is elegant because it leverages endogenous gene architecture rather than inserting a new transgene.

Clinically deployed exon-skipping agents currently target exons such as 51, 53, and 45, together covering a substantial but still limited subset of patients. Their major strength is mechanistic

precision: they are directly matched to a patient's mutation pattern and intervene upstream of protein synthesis. Their major limitation is biological magnitude. First-generation phosphorodiamidate morpholino oligomers typically restore only low absolute levels of dystrophin, and the functional benefit observed in trials has generally been one of slowed decline rather than dramatic reversal of disease. Thus, exon skipping has validated the therapeutic principle of transcript repair, but it has also exposed the challenge of achieving enough protein in enough muscles for long enough to transform long-term outcomes.

A related mutation-specific concept is nonsense suppression, in which premature stop codons are pharmacologically read through to allow continued translation of dystrophin. This approach applies only to the subset of patients with nonsense variants and depends on the ribosome bypassing an aberrant stop signal without intolerable off-target consequences. Together, exon skipping and stop-codon read-through exemplify a broader category of precision RNA therapeutics: they are biologically rational, comparatively targeted, and clinically important, but their efficacy is constrained by delivery, tissue penetration, and the level of functional protein ultimately restored.

5. AAV Micro-Dystrophin Gene Replacement

Gene replacement has emerged as the most transformative recent development in the field because it attempts to provide functional dystrophin independent of a patient's exact mutation. The principal obstacle is physical: the wild-type DMD coding sequence is far too large for packaging into adeno-associated virus (AAV), whose carrying capacity is roughly 4.7 kilobases. To solve this, investigators designed micro-dystrophin constructs that compress the protein to its essential domains, typically preserving the N-terminal actin-binding region, a shortened rod domain, and the cysteine-rich domain needed for assembly of the dystrophin-glycoprotein complex.

Systemic AAV delivery of micro-dystrophin has shown that widespread transduction of skeletal and cardiac muscle is achievable and that transgene expression can be associated with clinically meaningful improvement relative to expected natural-history decline. This has turned gene replacement from a theoretical objective into a genuine therapeutic platform. In contrast to exon skipping, which is mutation-restricted and incremental, micro-dystrophin therapy offers a broadly applicable strategy that can potentially address many patients with a single mechanistic framework.

Nevertheless, the limitations of AAV-mediated replacement are substantial. The delivered transgene remains largely episomal rather than integrating into the genome. In a tissue undergoing ongoing degeneration and regeneration, episomal DNA may be diluted over time as damaged fibres are lost and newly generated fibres arise from satellite cells that were never permanently corrected. Durability therefore remains one of the central unanswered questions. Even if early expression is robust, the persistence of benefit across many years of muscle turnover is uncertain.

Immunology adds a second layer of complexity. Pre-existing neutralizing antibodies can limit eligibility for treatment, and the first exposure to a systemic AAV vector generally induces humoral immunity that prevents straightforward re-dosing with the same capsid. This creates a high-stakes therapeutic model in which a single administration is expected to provide lasting benefit despite uncertain durability. It also means that vector choice, dose selection, and treatment timing are inseparable from biology: intervention must occur early enough to preserve target muscle, yet at a stage when sufficient muscle mass remains to justify systemic delivery and when inflammatory risk can be managed safely.

6. CRISPR/Cas9 Genome Editing

Genome editing offers perhaps the most conceptually powerful route in DMD because it aims to repair the endogenous gene itself. CRISPR/Cas9-based strategies typically use guide RNAs to direct the nuclease to specific genomic sites so that mutant exons can be excised or splice-disrupting

regions can be reframed. The goal is not to add a replacement gene but to create a permanent DNA-level correction that restores production of an in-frame, Becker-like dystrophin from the native locus. In principle, this addresses the durability problem more directly than episomal gene transfer because corrected sequences can be retained in daughter cells after satellite-cell division. For DMD, this permanence is particularly attractive. Muscle is a dynamic tissue, and any therapy that fails to keep pace with regeneration risks gradual erosion of benefit. A successful genomic edit could, at least in theory, establish a stable reservoir of corrected myogenic cells and thereby produce more sustained dystrophin restoration across the lifespan. Moreover, editing the endogenous locus preserves natural promoter context and tissue-specific regulation in ways that exogenous transgene expression cannot fully replicate.

Yet genome editing currently inherits many of the same bottlenecks that affect gene transfer. Delivering bulky CRISPR components systemically to skeletal muscle, diaphragm, and heart remains extremely challenging and often still depends on viral vectors. At the same time, editing introduces its own safety concerns, including off-target cleavage, large genomic rearrangements, unexpected repair outcomes, and immunogenicity related to bacterial nucleases. The promise of a one-time, permanent correction is therefore balanced by the technical demand for extraordinarily precise and safe delivery across a vast amount of tissue.

7. Therapeutic Timing, Durability, and Translational Challenges

Across all platforms, one principle is constant: advanced molecular therapies work best before extensive muscle loss has occurred. Once fibrosis and fatty replacement dominate, the number of viable target fibres declines and the biological ceiling for benefit is lowered. The timing of intervention is therefore not a logistic detail but a mechanistic determinant of outcome. Earlier treatment means more salvageable muscle, a larger pool of transducible fibres, and a better chance that restored dystrophin can stabilize tissue before irreversible remodeling becomes entrenched.

Durability remains the key point of divergence among current strategies. Exon skipping usually requires repeated administration and depends on continued transcript modulation. AAV micro-dystrophin therapy offers broader applicability but faces uncertainty related to episomal persistence and inability to re-dose efficiently. Genome editing promises permanence but has not yet solved the combined problems of systemic delivery, editing efficiency, and safety assurance. These are not merely regulatory obstacles; they are direct extensions of DMD biology, muscle turnover, vector immunology, and the scale of tissue that must be reached for true disease modification.

A practical understanding of DMD therapy therefore requires integration of molecular pathology with platform-specific strengths and weaknesses. Exon skipping is the clearest example of mutation-stratified precision medicine. Micro-dystrophin replacement is the leading example of platform-level translational success in systemic gene delivery. CRISPR-based editing remains the field's most compelling long-horizon strategy for durable correction. The future of treatment will likely depend not on a single universally superior method but on better delivery chemistry, improved vector engineering, next-generation editing systems, and careful matching of therapeutic mechanism to mutation class, disease stage, and tissue biology.

8. Conclusion

Duchenne muscular dystrophy is a paradigmatic genetic disease in which the chain from mutation to clinical decline can be traced with unusual mechanistic clarity. Loss of dystrophin destabilizes the sarcolemma, initiates calcium-dependent injury, activates inflammatory and fibrotic cascades, and progressively destroys skeletal, respiratory, and cardiac muscle. That same mechanistic clarity has enabled a new therapeutic era in which treatments are designed not simply to palliate symptoms but to restore dystrophin function at the RNA, gene-transfer, or genomic level.

Exon skipping, micro-dystrophin gene replacement, and CRISPR/Cas9-based genome editing should therefore be viewed as complementary responses to a common biological problem rather than isolated technologies. Each approach illuminates a different solution space within the constraints imposed by DMD gene size, muscle physiology, immune biology, and the need for durable systemic correction. Continued progress in DMD will depend on improving the quantity, distribution, and longevity of dystrophin restoration while intervening early enough to preserve the tissue substrate on which these therapies act.

Note on Scope

This Word version was deliberately narrowed to the user-requested topics of Duchenne muscular dystrophy molecular mechanisms and gene therapy strategies. Policy, health-system, ethics, financing, and Georgia-specific implementation material from the source article were removed.

Figure 2. Comparison of Gene-Based Therapeutic Strategies in Duchenne Muscular Dystrophy

Exon skipping, nonsense suppression, AAV micro-dystrophin replacement, and CRISPR genome editing

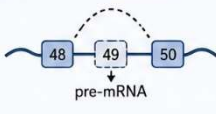
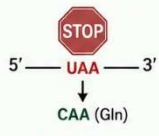
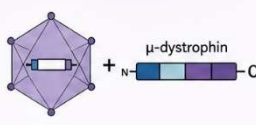

	 <p>Exon skipping</p>	 <p>Nonsense suppression</p>	 <p>AAV micro-dystrophin replacement</p>	 <p>CRISPR/Cas9 genome editing</p>
Biological level	Pre-mRNA (nucleus)	mRNA (cytoplasm)	Cytoplasmic expression of therapeutic transgene	Genomic DNA (nucleus)
Core mechanism	Antisense oligonucleotides mask splice sites to skip specific exon(s)	Readthrough of premature stop codons to restore full-length dystrophin	AAV delivers micro-dystrophin transgene for expression in muscle fibers	CRISPR/Cas9 edits DNA to restore reading frame or correct mutations
Best suited mutation group	Deletions amenable to skipping an exon to restore reading frame	Nonsense (stop-gain) mutations	All mutation types (independent of genotype)	Specific mutations correctable by precise editing strategies
Key advantages	Mutation-specific; uses endogenous gene; proven clinical activity	Applicable to any nonsense mutation; systemic potential	Independence from mutation type; robust dystrophin expression	Potential one-time cure; physiologic, full-length dystrophin restoration
Main limitations	Only ~13–15% of patients eligible; variable efficiency; requires repeated dosing	Stop codon context-dependent; partial readthrough; safety concerns (near-cognate readthrough)	Large transgene limits size; pre-existing AAV immunity; long-term durability unknown	Off-target risks; incomplete editing; delivery efficiency; immune responses
Durability	Temporary; needs re-dosing (months)	Temporary; depends on drug exposure	Potentially long-term; expression for years in preclinical models	Potentially permanent (if high-efficiency editing achieved)
Delivery challenges	Systemic delivery of ASOs to all muscles; cellular uptake	Systemic distribution and sustained drug levels; toxicity monitoring	Systemic AAV delivery; muscle tropism; manufacturing and dose limitations	Efficient in vivo delivery to widespread muscles; immune responses
Clinical note	Multiple ASO therapies in late-stage clinical trials; some approvals	Ataluren approved in some regions; variable clinical benefit	Several AAV micro-dystrophin therapies in clinical trials; early data promising	Early-stage clinical studies; emerging data in DMD and other muscles

Figure 2. Comparison of gene-based therapeutic strategies in Duchenne muscular dystrophy (DMD). This figure compares four major therapeutic approaches for DMD—exon skipping, nonsense suppression, adeno-associated virus (AAV) micro-dystrophin replacement, and CRISPR/Cas9 genome editing—across key translational dimensions, including biological target level, mechanism of action, mutation suitability, advantages, limitations, durability, delivery challenges, and clinical status. Exon skipping acts at the pre-mRNA level to restore the reading frame in selected deletion mutations, whereas nonsense suppression targets mRNA to enable readthrough of premature stop codons in nonsense variants. In contrast, AAV micro-dystrophin replacement provides a mutation-independent gene replacement strategy through delivery of a shortened dystrophin transgene, while CRISPR/Cas9 aims to directly edit genomic DNA for potentially permanent correction. Overall, the figure highlights the distinct balance between mutation specificity, breadth of applicability, durability, delivery complexity, and safety considerations that define the current landscape of gene-based therapies for DMD.

Expanded Review Sections

The following sections expand the original article to review length while preserving the focus on molecular pathogenesis and gene-based therapeutic strategies. Figure 1 from the source manuscript is retained in the original portion of the document above.

Expanded scope and article aim

The original manuscript already provided a concise and accurate overview of Duchenne muscular dystrophy (DMD) as a dystrophin-deficient disorder of membrane instability. To convert it into a fuller review-length article, the discussion can be broadened in three directions: first, by adding more mechanistic detail on dystrophin biology and the downstream cascade linking membrane fragility to myonecrosis; second, by expanding the treatment discussion to include the clinical logic, limitations, and safety barriers of exon skipping, AAV micro-dystrophin transfer, and genome editing; and third, by integrating how disease stage, target tissue, immunology, and biomarker selection shape therapeutic success. This expansion keeps the article focused on pathogenesis and gene-based therapy, but develops each theme in sufficient depth for a longer academic review (Duan et al., 2021; Guiraud et al., 2015; Mercuri et al., 2019).

A central concept across the modern DMD literature is that the disorder is not caused simply by the absence of one structural protein. Rather, dystrophin loss destabilizes a mechanically and biologically active signaling platform at the sarcolemma, disorganizes nitric oxide signaling, sensitizes the fibre to calcium entry, perturbs mitochondrial homeostasis, amplifies sterile inflammation, and ultimately alters the regenerative ecosystem of muscle. Because these abnormalities unfold over time, DMD is best understood as a progressive systems disease of skeletal, respiratory, and cardiac muscle rather than a static monogenic lesion. This systems perspective also explains why partial dystrophin restoration can be beneficial, yet why late treatment often yields smaller gains than early intervention before fibrofatty replacement has become dominant (Allen et al., 2016; Gao & McNally, 2015; Duan, 2018).

9. Dystrophin architecture and the dystrophin-associated protein complex

Dystrophin is frequently described as a molecular shock absorber, but that shorthand understates its structural sophistication. The full-length muscle isoform spans the inner surface of the sarcolemma, binding cortical F-actin through its amino-terminal actin-binding domain and linking that cytoskeletal network to beta-dystroglycan and, indirectly, laminin in the extracellular matrix through its cysteine-rich and carboxy-terminal regions. This linkage distributes mechanical stress laterally across the fibre surface during contraction and stretch. When dystrophin is absent, the problem is not merely weaker muscle; it is loss of a tension-buffering system that normally prevents focal force concentration at the membrane. Repeated loading then produces microscopic tears, especially during eccentric contraction, with cumulative structural injury over time (Hoffman et al., 1987; Gao & McNally, 2015; Duan et al., 2021).

The dystrophin-associated protein complex is also a signaling hub. It includes dystroglycans, sarcoglycans, sarcospan, syntrophins, dystrobrevins, and associated proteins such as neuronal nitric oxide synthase (nNOS). This complex helps organize membrane domains involved in ion handling, mechanotransduction, and nitric oxide signaling. In dystrophin-deficient muscle, disassembly of the complex mislocalizes nNOS from the sarcolemma, reducing activity-dependent nitric oxide signaling and impairing exercise-induced vasomodulation. Functional ischemia may therefore compound mechanical vulnerability, particularly during exertion. These signaling defects help explain why DMD pathology cannot be reduced to a passive membrane-tear model alone; the disease also reflects the loss of a dynamic molecular scaffold that coordinates perfusion, signaling, and mechanical stability (Gao & McNally, 2015; Guiraud et al., 2015; Lai et al., 2009).

The reading-frame rule provides the conceptual bridge between genotype and phenotype in dystrophinopathies. Out-of-frame deletions, duplications, or nonsense variants usually eliminate functional dystrophin and produce classic DMD, whereas in-frame rearrangements may yield

shorter but partly functional proteins more consistent with Becker muscular dystrophy. This principle is foundational because it explains why internally truncated dystrophins can still preserve important function if critical binding domains remain intact. It also underpins both exon-skipping therapy and the design of micro-dystrophin constructs. In other words, the structural biology of dystrophin is not merely descriptive; it has become the basis of therapeutic engineering (Monaco et al., 1988; Aartsma-Rus et al., 2006; Duan et al., 2021).

Mutation heterogeneity further shapes treatment strategy. Global mutation databases show that large deletions account for most DMD-causing variants, followed by duplications and smaller sequence changes. This distribution matters because some therapeutic platforms are mutation specific, such as exon skipping or nonsense suppression, whereas AAV micro-dystrophin transfer is comparatively genotype agnostic. The clinical consequence is that molecular diagnosis now serves not just to confirm DMD, but to stratify patients into distinct therapeutic pathways. Precision medicine in DMD therefore begins with the mutation report and extends to downstream questions about residual dystrophin production, antibody status, organ involvement, and disease stage (Bladen et al., 2015; Mah et al., 2014; Mercuri et al., 2019).

10. From sarcolemmal injury to calcium overload and mitochondrial dysfunction

A defining downstream event in DMD is calcium dysregulation. Once the sarcolemma becomes mechanically unstable, abnormal calcium entry can occur through microtears, stretch-activated channels, and other dysregulated membrane pathways. Elevated cytosolic calcium activates calpains and additional proteolytic machinery, disrupts excitation-contraction coupling, and increases energetic demand in already stressed fibres. Calcium overload is therefore both a marker and a driver of injury. Importantly, calcium excess is not only an acute toxic event; it also changes transcriptional programs, stimulates inflammatory signaling, and promotes chronic deterioration of the contractile apparatus (Allen et al., 2016; Duan et al., 2021; Dowling et al., 2023).

Mitochondria are central amplifiers of this damage cascade. In dystrophic muscle, calcium overload and reactive oxygen species destabilize mitochondrial membrane potential, impair oxidative phosphorylation, and increase susceptibility to permeability transition. The result is reduced ATP availability precisely when damaged fibres need energy for ion pumping, repair, and survival. Mitochondrial dysfunction also feeds forward into oxidative stress, further injuring proteins, membranes, and nucleic acids. This reciprocal relationship between calcium overload and mitochondrial injury helps explain why DMD pathology is so self-reinforcing: once the injury program is established, metabolic rescue becomes progressively harder even if upstream gene restoration is later achieved (Allen et al., 2016; Guiraud et al., 2015; Duan et al., 2021).

Oxidative injury further worsens membrane fragility. Reactive oxygen species modify lipids in the sarcolemma, alter calcium channel behavior, and potentiate inflammatory transcriptional programs including NF-kappaB signaling. In preclinical work, the combination of calcium dysregulation, nitric oxide dislocation, and reactive oxygen species has repeatedly emerged as a central pathological triad in dystrophin-deficient muscle. The implication for therapy is important: dystrophin restoration is necessary, but it may not immediately reverse the full secondary biology of established disease. That is one reason why adjunctive treatment strategies targeting inflammation, fibrosis, oxidative stress, or membrane integrity may remain relevant even in the age of gene therapy (Allen et al., 2016; Houang et al., 2018; Duan, 2018).

The heart illustrates this cascade especially well. Cardiomyocytes continuously endure mechanical loading, and dystrophin deficiency in the myocardium causes chronic membrane injury, abnormal calcium handling, cell death, and replacement fibrosis. Over time, this contributes to ventricular dysfunction, arrhythmogenic risk, and dilated cardiomyopathy. The fact that membrane sealants such as poloxamer could mitigate dystrophic cardiac injury in preclinical models reinforced the view that mechanical membrane failure is a therapeutically meaningful target. It also highlighted

that a successful DMD therapy must reach cardiac tissue effectively rather than improving skeletal muscle alone (Yasuda et al., 2005; Duan et al., 2021; Birnkrant et al., 2018).

11. Inflammation, innate immunity, and the transition to fibrosis

Inflammation in DMD is not a simple bystander reaction to tissue destruction. Necrotic fibres release damage-associated molecular patterns that activate innate immune pathways, recruit neutrophils and macrophages, and establish a chronic inflammatory milieu that persists because new damage continuously occurs. Early infiltrates can be beneficial in acute injury because they clear debris and support regeneration, but in DMD the persistence of muscle breakdown prevents orderly resolution. Instead, prolonged cytokine signaling, aberrant macrophage polarization, and repeated immune activation convert a repair program into a chronic tissue-remodeling state (Tidball & Villalta, 2010; Villalta et al., 2015; Sciorati et al., 2021).

The macrophage compartment is especially important. Classically activated inflammatory macrophages contribute to cytotoxic signaling, whereas alternatively activated macrophages can support repair but also stimulate profibrotic pathways when chronically engaged. Transforming growth factor beta and related mediators drive fibro-adipogenic progenitors toward fibroblast and adipocyte lineages, promoting endomysial scarring and fat deposition. Thus, the same immune network that initially responds to necrosis gradually reshapes muscle architecture in ways that decrease elasticity, impede force transmission, and reduce the amount of viable target tissue available for later genetic rescue (Zhou & Lu, 2010; Klingler et al., 2012; Mogharehabet & Czubryt, 2023).

Recent work has also emphasized the role of adaptive immunity in DMD pathogenesis and therapy. T cells can recognize muscle-derived antigens, and defects in immune tolerance may contribute to sustained inflammation. This matters clinically because gene therapy introduces additional immunological variables: viral capsids, newly expressed dystrophin epitopes, and editing nucleases can all become targets of host immunity. In other words, inflammation is not only a feature of untreated DMD; it is one of the major determinants of whether advanced molecular therapies can be safely delivered and durably maintained (Sciorati et al., 2021; Kumar et al., 2023; Hakim et al., 2021).

Fibrosis is the cumulative histological signature of failed regeneration. Collagen deposition, matrix cross-linking, and progressive replacement of contractile tissue by scar and fat alter the physical and biological environment of muscle. Fibrotic tissue transmits force poorly, interferes with normal myofibre regeneration, and may reduce vector distribution or effective cellular targeting. As a result, fibrosis is both an outcome of long-standing disease and a major barrier to therapeutic reversal. This is why early treatment is repeatedly emphasized across DMD trials: preserving tissue can be at least as important as restoring dystrophin once tissue has already been lost (Zhou & Lu, 2010; Klingler et al., 2012; Mogharehabet & Czubryt, 2023).

12. Satellite cell dysfunction and exhaustion of regenerative capacity

Skeletal muscle has an unusual capacity for regeneration because satellite cells can activate, proliferate, and differentiate into new myogenic progenitors after injury. In DMD, however, regenerative demand is relentless. At first, satellite cell activity partially compensates for degeneration, but repeated cycles of damage eventually erode regenerative efficiency. Muscle then shifts from a state of active, though incomplete, repair toward chronic failure in which new myofibre formation cannot keep pace with ongoing loss. This transition is a pivotal moment in disease progression because it marks the point at which restoring dystrophin becomes less able to reconstruct tissue that no longer exists (Duan et al., 2021; Dowling et al., 2023; Mercuri et al., 2019).

Dystrophin also appears to have a direct role in satellite cell biology. Work in experimental systems suggests that dystrophin contributes to cell polarity and asymmetric division. When dystrophin is absent, satellite cells may show altered polarity signaling and impaired generation of committed

myogenic progenitors. The implication is that DMD is not solely a disease of mature fibres; it also involves dysfunction in the stem-cell compartment required for sustained regeneration. This helps explain why chronic degeneration eventually outpaces repair despite early evidence of regenerative activation (Dowling et al., 2023; Duan et al., 2021; Guiraud et al., 2015).

This regenerative biology has major therapeutic implications. Episomal AAV-mediated expression may stabilize transduced mature fibres, but if satellite cells are not effectively corrected, newly formed fibres arising during subsequent degeneration-regeneration cycles may lack therapeutic dystrophin. Genome editing is especially attractive in this context because permanent correction of stem or progenitor populations could, in principle, maintain benefit through tissue turnover. The challenge is that efficient and safe delivery to satellite cells remains technically difficult, and muscle-specific promoters that work well in mature myofibres may be less active in the stem-cell niche (Min et al., 2019; Chemello et al., 2023; Fatehi et al., 2023).

13. Clinical progression in skeletal, respiratory, and cardiac muscle

The natural history of DMD reflects the cumulative expression of these molecular events across multiple organ systems. In early childhood, proximal weakness, delayed motor milestones, frequent falls, and Gowers' sign signal that skeletal muscles are already failing under mechanical stress. Later, loss of ambulation reflects the combined effects of myofibre loss, contracture, fibrosis, growth-related biomechanical burden, and declining respiratory reserve. Improved standards of care have extended survival, but the biology of progressive tissue injury remains central even in the era of multidisciplinary management (Mah et al., 2014; Birnkrant et al., 2018; Duan et al., 2021).

Respiratory decline is not simply a complication of immobility. The diaphragm is among the most severely affected muscles in dystrophin deficiency because of its lifelong repetitive loading. Progressive inspiratory and expiratory muscle weakness reduces cough effectiveness, compromises airway clearance, increases infection risk, and culminates in nocturnal and then daytime ventilatory insufficiency. Once ventilatory reserve is limited, intercurrent illness can trigger acute decompensation. For this reason, a therapy that improves limb function but inadequately treats the diaphragm may have only partial effect on long-term survival (Birnkrant et al., 2018; Duan et al., 2021; Mercuri et al., 2019).

Cardiomyopathy has become increasingly prominent as survival has improved. Replacement fibrosis, ventricular remodeling, and arrhythmic risk accumulate gradually, often with a period of subclinical dysfunction before overt symptoms appear. Cardiac involvement therefore has two implications for gene therapy development. First, systemic delivery platforms must efficiently transduce the heart. Second, outcome assessment in DMD cannot rely solely on short-term motor endpoints if the therapy aims to alter long-term morbidity and mortality. The most compelling disease-modifying approaches will need to protect both skeletal and cardiac muscle across many years (Yasuda et al., 2005; Duan, 2018; Birnkrant et al., 2018).

14. Exon skipping: mechanistic elegance and practical limitations

Exon skipping was the first dystrophin-restoration strategy to achieve broad clinical recognition because it directly exploits the reading-frame logic of dystrophinopathies. Antisense oligonucleotides bind dystrophin pre-mRNA and mask selected splice elements so that the splicing machinery excludes a target exon. If the exon is chosen correctly, the transcript is reframed and an internally deleted but partly functional dystrophin can be synthesized. Conceptually, this transforms a Duchenne-like transcript into a Becker-like transcript. The strategy is particularly compelling because it uses the endogenous gene rather than introducing a foreign coding sequence (Niks & Aartsma-Rus, 2017; Aartsma-Rus, 2023; Goyenvalle et al., 2004).

Clinical translation, however, has exposed a central quantitative challenge: low-level dystrophin restoration may confirm target engagement without delivering dramatic functional rescue. Approved exon-skipping therapies demonstrated that regulatory pathways would accept

dystrophin restoration as a meaningful biomarker, but they also highlighted the modest magnitude of protein increase typically achieved with first-generation chemistries. Frequent repeat dosing, variable tissue penetration, limited cardiac delivery, and mutation specificity further constrain the platform. Even so, exon skipping remains historically important because it validated the principle that transcript repair can alter the molecular output of the DMD locus in patients (Niks & Aartsma-Rus, 2017; Aartsma-Rus, 2023; Roberts et al., 2023).

The future of exon skipping likely depends on persistence, breadth, and efficiency. Viral vectorized exon-skipping systems, improved oligonucleotide chemistry, and multi-exon strategies are being pursued to increase dystrophin expression and expand mutation coverage. Multiexon skipping is especially attractive because a limited set of cocktails might help a much larger fraction of patients than single-exon approaches. Yet each increase in complexity brings manufacturing, dosing, regulatory, and safety challenges. Thus, exon skipping remains one of the clearest examples of DMD precision medicine, but also one of the clearest examples of how biologically elegant therapies can be constrained by delivery pharmacology (Aartsma-Rus, 2023; Chamberlain & Chamberlain, 2017; Duan et al., 2021).

15. AAV micro-dystrophin gene replacement: promise, design logic, and barriers

AAV-mediated micro-dystrophin replacement emerged because the full dystrophin coding sequence is far too large for conventional AAV packaging. The solution was rational protein engineering: remove large portions of the rod domain while preserving the most critical functional regions required for actin binding, membrane association, and assembly of a protective complex at the sarcolemma. The resulting micro-dystrophins are not equivalent to the native protein, but preclinical and clinical work indicates that carefully designed constructs can provide substantial functional benefit. This strategy is attractive because it can, in principle, treat a broad range of DMD mutations with a single platform (Duan, 2018; Chamberlain & Chamberlain, 2017; Wasala et al., 2023).

Large-animal studies provided critical translational confidence. Durable expression and functional benefit in canine models showed that long-term systemic delivery could improve a severe dystrophic phenotype beyond what was seen in the relatively mild mdx mouse. Early human studies then demonstrated that systemic delivery of rAAVrh74.MHCK7.micro-dystrophin could produce transgene expression in muscle biopsies and was associated with encouraging functional trajectories relative to natural history. These findings helped establish micro-dystrophin transfer as the most advanced broadly applicable gene-replacement strategy in DMD (Le Guiner et al., 2017; Mendell et al., 2020; Chamberlain et al., 2023).

Nevertheless, the limitations of AAV therapy are profound. High systemic doses are often required for muscle transduction, raising risks of liver toxicity, complement activation, thrombocytopenia, thrombotic microangiopathy, and other serious adverse events. Pre-existing anti-AAV antibodies exclude some patients from treatment, and treatment-induced humoral immunity makes straightforward re-dosing difficult or impossible. In addition, newly expressed dystrophin or micro-dystrophin epitopes may be immunogenic in patients who have never tolerated those sequences immunologically. These barriers mean that gene replacement in DMD is not just a vector problem; it is an immune-management problem as well (Kumar et al., 2023; Verma et al., 2023; Duan, 2018). Durability is another unresolved issue. AAV genomes persist mainly as episomes, so expression may diminish as fibres are lost during disease progression or as uncorrected progenitors contribute new fibres. This concern is particularly relevant in young children, whose muscles are still growing and in whom disease-related turnover remains active. The field therefore faces a strategic tension: treat early, before fibrosis and muscle loss become extensive, but recognize that early treatment occurs in tissue that may later remodel and dilute episomal benefit. Long-term follow-up will determine how much this issue affects real-world durability (Duan, 2018; Wasala et al., 2023; Wasala et al., 2023b).

Capsid engineering offers one route forward. New myotropic AAV variants seek higher skeletal and cardiac transduction at lower doses while reducing liver exposure and immunotoxicity. Directed evolution and structure-guided capsid design have already generated variants with improved muscle tropism in preclinical systems. If these advances translate safely to humans, they could meaningfully widen the therapeutic window for muscle-directed gene transfer, not only in DMD but in neuromuscular gene therapy more broadly (Liu et al., 2023; Tabebordbar et al., 2021; Duan et al., 2021).

16. CRISPR and next-generation genome editing

Genome editing is conceptually the most ambitious DMD therapy because it attempts to permanently repair the endogenous locus. CRISPR/Cas systems can be used to excise one or more exons, disrupt splice sites, correct point mutations, or potentially restore a therapeutic reading frame through several different repair strategies. In principle, the approach combines the logic of exon skipping with the durability of DNA modification. Unlike exon skipping, which requires repeated transcript-level intervention, a successful genomic edit could persist in daughter cells and newly regenerated fibres (Min et al., 2019; Chemello et al., 2023; Fatehi et al., 2023).

Preclinical studies have shown impressive restoration of dystrophin expression in cells and animal models, and editing of muscle stem cells has been demonstrated experimentally. These findings are important because they suggest a route toward durable correction in a regenerating tissue. However, the translational hurdles are formidable. Efficient systemic delivery remains difficult, large editing systems often still depend on viral vectors, and off-target or unintended on-target genomic changes remain major safety concerns. For a disease that requires body-wide treatment of post-mitotic and progenitor cells, the technical bar for clinical editing is exceptionally high (Min et al., 2019; Chemello et al., 2023; Fatehi et al., 2023).

Immune responses complicate CRISPR approaches even further. Patients may harbor pre-existing immunity to bacterial nucleases such as Cas9, and delivery platforms can independently provoke vector-specific immune toxicity. In canine DMD models, Cas9-specific immune responses have compromised both local and systemic AAV-CRISPR therapy, underscoring that editing success depends on immunologic compatibility as much as on molecular design. These observations temper early enthusiasm and reinforce the need for transient delivery systems, immune-evasive editing components, or nonviral platforms such as lipid nanoparticles and virus-like particles (Hakim et al., 2021; Kumar et al., 2023; Chemello et al., 2023).

Newer platforms such as base editing and prime editing offer theoretical safety advantages for certain mutation classes because they can make precise sequence changes without introducing the same type of double-strand break used in conventional CRISPR nuclease editing. For DMD, these approaches are especially appealing for nonsense mutations or small sequence defects that could be corrected at the nucleotide level. Their present limitation is delivery complexity: larger editors are harder to package and distribute to skeletal and cardiac muscle. Even so, the field increasingly views DMD as a proving ground for a broader family of programmable genomic medicines rather than a single CRISPR modality (Fatehi et al., 2023; Chemello et al., 2023; Duan et al., 2021).

17. Biomarkers, patient selection, and therapeutic timing

Because DMD progresses over many years, the relationship between molecular correction and clinical benefit is not instantaneous. Biomarkers therefore play an unusually important role in development programs. Muscle biopsy measures of dystrophin or micro-dystrophin expression, serum creatine kinase trends, imaging of muscle composition, and functional outcomes such as timed motor tests all capture different parts of the treatment response. No single marker fully substitutes for long-term benefit, but together they help define whether a therapy is biologically active and whether that activity is plausibly large enough to matter clinically (Chamberlain et al., 2023; Mendell et al., 2020; Birnkrant et al., 2018).

Patient selection is equally decisive. Younger patients generally have more salvageable muscle and less fibrosis, making them better candidates for therapies that stabilize existing tissue. Yet younger age can also mean a more dynamic landscape of muscle growth and turnover, which may affect durability of episomal gene replacement. Older patients may have more established cardiomyopathy, respiratory compromise, and scarring, all of which reduce the biological ceiling for benefit. For this reason, the future of DMD therapeutics will likely involve stage-specific treatment algorithms rather than a one-size-fits-all approach (Duan, 2018; Mercuri et al., 2019; Duan et al., 2021).

A further layer of selection arises from immunological readiness. Neutralizing antibodies to AAV capsids can preclude entry into gene-replacement trials, while pre-existing T-cell responses to dystrophin or Cas proteins may alter safety or efficacy. As advanced therapies expand, baseline molecular and immunologic profiling is likely to become a routine part of DMD treatment planning. In effect, the field is moving from genotype-based precision medicine toward multi-dimensional precision medicine that includes mutation class, tissue status, biomarker profile, and immune phenotype (Verma et al., 2023; Kumar et al., 2023; Hakim et al., 2021).

18. Combination strategies and future therapeutic direction

Although dystrophin restoration remains the central objective, the future of DMD therapy will probably be combinatorial. One can imagine genotype-specific exon skipping in some patients, broad micro-dystrophin replacement in others, and eventual genome editing in selected settings, all layered onto optimized corticosteroid-sparing anti-inflammatory regimens, cardiac protection, respiratory support, and perhaps antifibrotic or membrane-stabilizing adjuncts. Combination logic is biologically compelling because dystrophin restoration addresses the initiating defect, whereas secondary therapies may improve the tissue environment in which gene correction must operate (Houang et al., 2018; Guiraud et al., 2015; Duan et al., 2021).

Another likely direction is platform improvement rather than platform replacement. Exon-skipping chemistry will probably improve incrementally; micro-dystrophin constructs will be refined to maximize function while minimizing immunogenicity; and delivery systems for editing will become more targeted and potentially less toxic. Importantly, progress in DMD will influence many other inherited neuromuscular disorders, because the disease has become the principal test case for body-wide muscle gene therapy. Lessons about dose, tissue targeting, immune management, and biomarker interpretation in DMD are therefore shaping the field far beyond dystrophinopathies (Liu et al., 2023; Chamberlain & Chamberlain, 2017; Duan, 2023).

The most realistic medium-term outlook is not a single cure that fits all patients, but earlier diagnosis, better stratification, safer delivery, and more durable partial correction. In a disease where even moderate slowing of decline can preserve ambulation, respiratory independence, or cardiac function for clinically meaningful periods, the threshold for success is not complete normalization. Nonetheless, the ultimate benchmark remains durable systemic protection of skeletal, respiratory, and cardiac muscle across the lifespan. Achieving that goal will require integrating molecular engineering with a deep understanding of DMD pathobiology (Mercuri et al., 2019; Duan et al., 2021; Roberts et al., 2023).

19. Expanded conclusion

Duchenne muscular dystrophy remains one of the clearest examples in medicine of how a single-gene defect can unfold into a complex multisystem degenerative disorder. Loss of dystrophin destabilizes the sarcolemma and dismantles the signaling architecture of the dystrophin-associated complex, leading to calcium overload, mitochondrial injury, oxidative stress, sterile inflammation, progressive fibrosis, and ultimately failure of regeneration. These secondary events are not peripheral details; they define the terrain on which all therapies must act. The success of modern treatment therefore depends not only on restoring dystrophin, but on doing so early enough, broadly enough, and durably enough to interrupt the downstream cascade before the

tissue becomes irreversibly remodeled (Allen et al., 2016; Duan et al., 2021; Mogharehabet & Czubryt, 2023).

Gene-based strategies have transformed the field because each tackles the core genetic lesion from a different angle. Exon skipping reframes the transcript, AAV micro-dystrophin provides an engineered replacement protein, and genome editing seeks permanent endogenous correction. Each strategy has delivered major conceptual advances and each faces platform-specific constraints in magnitude, delivery, immunogenicity, or durability. The next phase of progress will depend on combining these molecular technologies with improved vector design, immune management, earlier diagnosis, and clinically meaningful biomarkers. DMD has not yet been fully conquered, but it has already become a template for mechanism-driven precision therapeutics in neuromuscular disease (Aartsma-Rus, 2023; Duan, 2018; Chemello et al., 2023).

References

- Aartsma-Rus, A. (2023). The future of exon skipping for Duchenne muscular dystrophy. *Human Gene Therapy*, 34(9-10), 372-378. <https://doi.org/10.1089/hum.2023.026>
- Aartsma-Rus, A., Van Deutekom, J. C. T., Fokkema, I. F., Van Ommen, G. J. B., & Den Dunnen, J. T. (2006). Entries in the Leiden Duchenne muscular dystrophy mutation database: An overview of mutation types and paradoxical cases that confirm the reading-frame rule. *Muscle & Nerve*, 34(2), 135-144. <https://doi.org/10.1002/mus.20586>
- Allen, D. G., Whitehead, N. P., & Froehner, S. C. (2016). Absence of dystrophin disrupts skeletal muscle signaling: Roles of Ca²⁺, reactive oxygen species, and nitric oxide in the development of muscular dystrophy. *Physiological Reviews*, 96(1), 253-305. <https://doi.org/10.1152/physrev.00007.2015>
- Birnkrant, D. J., Bushby, K., Bann, C. M., Apkon, S. D., Blackwell, A., Brumbaugh, D., et al. (2018). Diagnosis and management of Duchenne muscular dystrophy, part 1: Diagnosis, and neuromuscular, rehabilitation, endocrine, and gastrointestinal and nutritional management. *Lancet Neurology*, 17(3), 251-267. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(18\)30024-3](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(18)30024-3)
- Bladen, C. L., Salgado, D., Monges, S., Foncuberta, M. E., Kekou, K., Kosma, K., et al. (2015). The TREAT-NMD DMD global database: Analysis of more than 7,000 Duchenne muscular dystrophy mutations. *Human Mutation*, 36(4), 395-402. <https://doi.org/10.1002/humu.22758>
- Chamberlain, J. R., & Chamberlain, J. S. (2017). Progress toward gene therapy for Duchenne muscular dystrophy. *Molecular Therapy*, 25(5), 1125-1131. <https://doi.org/10.1016/j.ymthe.2017.02.019>
- Chamberlain, J. S., Robb, M., Braun, S., et al. (2023). Microdystrophin expression as a surrogate endpoint for Duchenne muscular dystrophy clinical trials. *Human Gene Therapy*, 34(9-10), 404-415. <https://doi.org/10.1089/hum.2022.190>
- Chemello, F., Olson, E. N., & Bassel-Duby, R. (2023). CRISPR-editing therapy for Duchenne muscular dystrophy. *Human Gene Therapy*, 34(9-10), 379-387. <https://doi.org/10.1089/hum.2023.053>
- Dowling, P., Swandulla, D., Ohlendieck, K., & Bermingham, N. (2023). Cellular pathogenesis of Duchenne muscular dystrophy: Progressive myofibre degeneration, chronic inflammation, reactive myofibrosis and satellite cell dysfunction. *European Journal of Translational Myology*, 33(4), 11856.
- Duan, D. (2018). Systemic AAV micro-dystrophin gene therapy for Duchenne muscular dystrophy. *Molecular Therapy*, 26(10), 2337-2356. <https://doi.org/10.1016/j.ymthe.2018.07.011>
- Duan, D. (2023). Duchenne muscular dystrophy gene therapy in 2023: Status, perspective, and beyond. *Human Gene Therapy*, 34(9-10), 343-349.
- Duan, D., Goemans, N., Takeda, S., Mercuri, E., & Aartsma-Rus, A. (2021). Duchenne muscular dystrophy. *Nature Reviews Disease Primers*, 7(1), 13. <https://doi.org/10.1038/s41572-021-00248-3>

- Fatehi, S., Marks, R. M., Rok, M. J., et al. (2023). Advances in CRISPR/Cas9 genome editing for the treatment of muscular dystrophies. *Human Gene Therapy*, 34(9-10), 388-403. <https://doi.org/10.1089/hum.2023.059>
- Gao, Q., & McNally, E. M. (2015). The dystrophin complex: Structure, function, and implications for therapy. *Comprehensive Physiology*, 5(3), 1223-1239. <https://doi.org/10.1002/cphy.c140048>
- Goyenvalle, A., Vulin, A., Fougerousse, F., Leturcq, F., Kaplan, J.-C., Garcia, L., & Danos, O. (2004). Rescue of dystrophic muscle through U7 snRNA-mediated exon skipping. *Science*, 306(5702), 1796-1799. <https://doi.org/10.1126/science.1104297>
- Guiraud, S., Aartsma-Rus, A., Vieira, N. M., Davies, K. E., Van Ommen, G. J. B., & Kunkel, L. M. (2015). The pathogenesis and therapy of muscular dystrophies. *Annual Review of Genomics and Human Genetics*, 16, 281-308. <https://doi.org/10.1146/annurev-genom-090314-025003>
- Hakim, C. H., Kumar, S. R. P., Perez-Lopez, D. O., et al. (2021). Cas9-specific immune responses compromise local and systemic AAV CRISPR therapy in multiple dystrophic canine models. *Nature Communications*, 12(1), 6769. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26830-7>
- Hoffman, E. P., Brown, R. H., Jr., & Kunkel, L. M. (1987). Dystrophin: The protein product of the Duchenne muscular dystrophy locus. *Cell*, 51(6), 919-928. [https://doi.org/10.1016/0092-8674\(87\)90579-4](https://doi.org/10.1016/0092-8674(87)90579-4)
- Houang, E. M., Sham, Y. Y., Bates, F. S., & Metzger, J. M. (2018). Muscle membrane integrity in Duchenne muscular dystrophy: Recent advances in copolymer-based muscle membrane stabilizers. *Skeletal Muscle*, 8, 31. <https://doi.org/10.1186/s13395-018-0177-7>
- Klingler, W., Jurkat-Rott, K., Lehmann-Horn, F., & Schleip, R. (2012). The role of fibrosis in Duchenne muscular dystrophy. *Acta Myologica*, 31(3), 184-195.
- Kumar, S. R. P., Duan, D., & Herzog, R. W. (2023). Immune responses to muscle-directed adeno-associated viral gene transfer in clinical studies. *Human Gene Therapy*, 34(9-10), 365-371. <https://doi.org/10.1089/hum.2023.056>
- Lai, Y., Thomas, G. D., Yue, Y., Yang, H. T., Li, D., Long, C., et al. (2009). Dystrophins carrying spectrin-like repeats 16 and 17 anchor nNOS to the sarcolemma and enhance exercise performance in a mouse model of muscular dystrophy. *Journal of Clinical Investigation*, 119(3), 624-635. <https://doi.org/10.1172/JCI36612>
- Le Guiner, C., Servais, L., Montus, M., Larcher, T., Fraysse, B., Moullec, S., et al. (2017). Long-term microdystrophin gene therapy is effective in a canine model of Duchenne muscular dystrophy. *Nature Communications*, 8, 16105. <https://doi.org/10.1038/ncomms16105>
- Liu, J., Koay, T. W., Maiakovska, O., et al. (2023). Progress in bioengineering of myotropic adeno-associated viral (AAV) gene therapy vectors. *Human Gene Therapy*, 34(9-10), 350-364. <https://doi.org/10.1089/hum.2023.057>
- Mah, J. K., Korngut, L., Dykeman, J., Day, L., Pringsheim, T., & Jette, N. (2014). A systematic review and meta-analysis on the epidemiology of Duchenne and Becker muscular dystrophy. *Neuromuscular Disorders*, 24(6), 482-491. <https://doi.org/10.1016/j.nmd.2014.03.008>
- Mendell, J. R., Sahenk, Z., Lehman, K., Nease, C., Lowes, L. P., Miller, N. F., et al. (2020). Assessment of systemic delivery of rAAVrh74.MHCK7.micro-dystrophin in children with Duchenne muscular dystrophy: A nonrandomized controlled trial. *JAMA Neurology*, 77(9), 1122-1131. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2020.1484>
- Mercuri, E., Bönnemann, C. G., & Muntoni, F. (2019). Muscular dystrophies. *Lancet*, 394(10213), 2025-2038.
- Min, Y. L., Bassel-Duby, R., & Olson, E. N. (2019). CRISPR correction of Duchenne muscular dystrophy. *Annual Review of Medicine*, 70, 239-255. <https://doi.org/10.1146/annurev-med-081117-010451>
- Mogharehabed, F., & Czubryt, M. P. (2023). The role of fibrosis in the pathophysiology of muscular dystrophy. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 325(4), C779-C794.

- Monaco, A. P., Bertelson, C. J., Liechti-Gallati, S., Moser, H., & Kunkel, L. M. (1988). An explanation for the phenotypic differences between patients bearing partial deletions of the DMD locus. *Genomics*, 2(1), 90-95. [https://doi.org/10.1016/0888-7543\(88\)90113-9](https://doi.org/10.1016/0888-7543(88)90113-9)
- Niks, E. H., & Aartsma-Rus, A. (2017). Exon skipping: A first in class strategy for Duchenne muscular dystrophy. *Expert Opinion on Biological Therapy*, 17(2), 225-236. <https://doi.org/10.1080/14712598.2017.1271872>
- Roberts, T. C., Wood, M. J. A., & Davies, K. E. (2023). Therapeutic approaches for Duchenne muscular dystrophy. *Nature Reviews Drug Discovery*, 22(11), 879-900.
- Sciorati, C., Rigamonti, E., Manfredi, A. A., & Rovere-Querini, P. (2021). The immune system in Duchenne muscular dystrophy pathogenesis. *Biomedicines*, 9(10), 1447.
- Tabebordbar, M., Lagerborg, K. A., Stanton, A., et al. (2021). Directed evolution of a family of AAV capsid variants enabling potent muscle-directed gene delivery across species. *Cell*, 184(19), 4919-4938.e22. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.08.028>
- Tidball, J. G., & Villalta, S. A. (2010). Regulatory interactions between muscle and the immune system during muscle regeneration. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 298(5), R1173-R1187.
- Verma, S., Nwosu, S. N., Razdan, R., et al. (2023). Seroprevalence of adeno-associated virus neutralizing antibodies in males with Duchenne muscular dystrophy. *Human Gene Therapy*, 34(9-10), 430-438. <https://doi.org/10.1089/hum.2022.081>
- Villalta, S. A., Nguyen, H. X., Deng, B., Gotoh, T., & Tidball, J. G. (2009). Shifts in macrophage phenotypes and macrophage competition for arginine metabolism affect the severity of muscle pathology in muscular dystrophy. *Human Molecular Genetics*, 18(3), 482-496.
- Wasala, L. P., Watkins, T. B., Wasala, N. B., et al. (2023). The implication of hinge 1 and hinge 4 in micro-dystrophin gene therapy for Duchenne muscular dystrophy. *Human Gene Therapy*, 34(9-10), 459-470. <https://doi.org/10.1089/hum.2022.180>
- Wasala, N. B., Yue, Y., Hu, B., et al. (2023). Life-long outcomes of systemic AAV micro-dystrophin gene therapy in a murine Duchenne muscular dystrophy model. *Human Gene Therapy*, 34(9-10), 449-458. <https://doi.org/10.1089/hum.2022.181>
- Yasuda, S., Townsend, D., Michele, D. E., Favre, E. G., Day, S. M., & Metzger, J. M. (2005). Dystrophic heart failure blocked by membrane sealant poloxamer. *Nature*, 436(7053), 1025-1029. <https://doi.org/10.1038/nature03844>
- Zhou, L., & Lu, H. (2010). Targeting fibrosis in Duchenne muscular dystrophy. *Journal of Neuropathology & Experimental Neurology*, 69(8), 771-776.

Architecture

Landşaft dizaynı

Bağirov Vaqif Rafail oğlu

magistrant, Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti, Dizayn və texniki estetikə

Xülasə

Məqalədə landşaft dizaynının elmi, praktiki və nəzəri əsasları ətraflı şəkildə təhlil edilmişdir. Araşdırmalar sübut edir ki, landşaft dizaynı yalnız açıq məkanların estetik təşkili ilə məhdudlaşmır, həmçinin ekolojiya, torpaqşünaslıq, memarlıq, botanika və şəhərsalma kimi müxtəlif elmi sahələrin qarşılıqlı inteqrasiyasına əsaslanan kompleks fəaliyyət istiqamətidir. Tədqiqat zamanı landşaft dizaynının tarixi inkişaf mərhələləri, kompozisiya prinsipləri və məkanın inkişaf etdirilmə rolu araşdırılmışdır.

Məqalədə landşaft dizaynının sosial, iqtisadi və ekoloji funksiyaları təhlil olunmuş, yaşıllıq sahələrinin insan sağlamlığına təsiri qiymətləndirilmişdir. Həmçinin bitki örtüyünün seçilməsi, relyefin təşkili, torpaq xüsusiyyətlərinin hesaba alınması, iqlim faktorlarının layihələndirilmə mərhələsində əhəmiyyəti müəyyən edilmişdir. Landşaft dizaynında kompozisiya qanunları, forma, tekstura, faktura, rəng palitrası, miqyas və s. məkanın vizual keyfiyyətlərinin formalaşmasında əsas rol oynadığı qeyd edilmişdir.

Tədqiqatların araşdırılması nəticəsində ortaya çıxmışdır ki, müasir dövrdə landşaft dizaynı ekoloji problemlərin həlli, dayanıqlı inkişaf, yaşıl infrastrukturun formalaşdırılması baxımından strateji önəm daşıyır. Yaşıl damlar, ağıllı suvarma sistemləri, şaquli bağlar, yağış bağları, inklüziv dizayn prinsipləri müasir landşaft memarlığının əsas istiqamətləri kimi dəyərləndirilirdi.

Nəticədə, landşaft dizaynının təbiət və insan arasında olan harmonik əlaqənin yaradılmasında, ekoloji bərabərliyin qorunmasında və estetik, erqonomik cəhətdən dayanıqlı məkanların yaradılmasında önəmli rol oynadığı nəticəsinə gəlinmişdir.

Açar sözlər: landşaft dizayn, memarlıq, davamlı inkişaf, rəng harmoniyası, dizayn.

Summary

This article provides a comprehensive analysis of the scientific, practical, and theoretical foundations of landscape design. Research findings demonstrate that landscape design is not limited solely to the aesthetic organization of open spaces; rather, it represents a complex field of activity based on the integration of various scientific disciplines, including ecology, soil science, architecture, botany, and urban planning. The study examines the historical stages of landscape design development, its compositional principles, and its role in spatial development.

The article analyzes the social, economic, and ecological functions of landscape design and evaluates the impact of green spaces on human health and well-being. Furthermore, the significance of plant selection, landform organization, soil characteristics, and climatic factors during the design process is determined. It is also emphasized that compositional principles, form, texture, color palette, scale, and other design elements play a fundamental role in shaping the visual qualities of space.

The investigation reveals that, in the contemporary era, landscape design possesses strategic importance in addressing environmental challenges, promoting sustainable development, and establishing green infrastructure. Green roofs, smart irrigation systems, vertical gardens, rain

gardens, and inclusive design principles are identified as the primary directions of modern landscape architecture.

As a result, it is concluded that landscape design plays a significant role in establishing a harmonious relationship between humans and nature, preserving ecological balance, and creating aesthetically pleasing, ergonomic, and sustainable environments.

Keywords: landscape design, architecture, sustainable development, color harmony, design.

Giriş

Müasir dövrdə urbanizasiya proseslərinin sürətlənməsi, insan sıxlığının artması və ətraf mühitin problemlərinin artaraq qloballaşması vacib məsələlərdən birinə çevrilmişdir. Məhz belə şəraitə görə, açıq məkanların səmərəli təşkili, ekoloji tarazlığın qorunması kimi bir sıra faktorlara görə landşaft dizaynının rolu daha da artmışdır. Landşaft dizayn təbii elementlərin qarşılıqlı əlaqəsini nəzərə alaraq estetik, funksional cəhətdən dayanıqlı məkanların formalaşmasını təmin edən sahələrdən biridir.

Landşaft dizaynı yalnız yaşıllıq sahələrinin yaradılması və ya bəzədilməsi ilə məhdudlaşmır. Belə ki, bu sahə torpaq örtüyünün xüsusiyyətləri, relyefin quruluşu, iqlim amilləri, hidroloji şərait kimi hər bir detalı özündə cəmləşdirir. Məhz bu xüsusiyyətlərə görə landşaft dizaynı ekologiya, torpaqşünaslıq, memarlıq, şəhərsalma kimi bir sıra sahələrinin sintezi nəticəsində formalaşmış elmi-praktiki sitqamət hesab edilir.

Tarixi baxımdan landşaft dizaynının formalaşaraq inkişaf etməsi qədim sivilizasiyalar dövrünə təsadüf edirdi. İlk bağ və park nümunələrinə, insanların təbiəti idarə etmək və yaşayış mühitini daha yaxşı formaya salmaq məqsədilə yaratdıqları məkanlar olmuşdur. Sözsüz ki, zaman keçdikcə landşaft dizaynı fərqli mədəniyyətləri, dinləri, memarlıq və dizayn mədəniyyətlərinin təsiri altına düşərək daha dərin inkişaf etmişdir. Əsasən XXI əsrdə ciddi iqlim dəyişikləri, havanın çirklənməsi, torpaq degradasiyası, su qıtlığı və yaşıllıq sahələrinin azalması kimi bir sıra problemlər məhz landşaft dizaynına yeni yanaşmaların formalaşmasına təkan vermişdir. “Abşeronun landşaft xüsusiyyətlərinə uyğun bağ dizaynı, həm təbiətə uyğun olmaq, həm də istifadəçilərin rahatlığını təmin etmək məqsədi güdür” Mansurov, T. (2019). Tədqiqat çərçivəsində landşaft dizaynının formalaşmasına təsir edən prinsiplər, memarlıq və bitki amillərinin qarşılıqlı əlaqəsi, həmçinin müasir landşaft memarlığında tətbiq olunan yenilikçi yanaşmalar ətraflı qiymətləndirilmişdir.

Landşaft dizaynı müasir dövrdə yalnız estetik məkanların meydana gəlməsi ilə kifayətlənməyən, insan, memarlıq və təbiət arasındakı qarşılıqlı əlaqələri sistemli şəkildə tənzim edən fəaliyyət sahəsidir. Bu sahədə açıq məkanların layihələndirilməsi, təşkili, idarə olunmasını özündə birləşdirərək ekoloji, iqtisadi və sosial amilləri vahid sistem altında təmin edir. Landşaft dizayn anlayışı, əksər hallarda bağçılıq və ya yaşıllaşdırma kimi başa düşülür. Əslində onun fəaliyyət sahəsi daha genişdir. Belə ki, landşaft dizaynı sahənin mövcud təbii xüsusiyyətlərinin, iqlim şəraitinin, hidroloji vəziyyətinin, torpaq xüsusiyyətlərinin bir kompozisiyada birləşdirilməsinə əsaslanır. Məhz bu səbəblərdən landşaft dizaynı həm yaradıcı sənət, həm ekoloji planlaşdırma, həm də memarlıq vasitəsi hesab edilir.

Müasir şəhərləşmənin sürətlənməsi prosesi, əhali sıxlığının artması yaşıllığın azalması və ekoloji çətinliklərin dərinləşməsi landşaftın əhəmiyyətini daha da artırmışdır. Əsasən də, XXI əsrdə landşaft dizaynı şəhər ekologiyasının bərpası, iqlim dəyişikliklərinə uyğunlaşma və insan sağlamlığının qorunması baxımından strateji əhəmiyyət daşıyan fəaliyyət kimi qəbul edilir. Dünya bağ mədəniyyətinin əsası olan mədəniyyətə nəzər yetirsək, ilk Qədim Şərqi misal kimi qeyd etmək olar. Belə ki, bəzi xalqlar bağı yaşamaq üçün uyğun bir mühitə gətirərək, oranı ev kimi istifadə edir. Məhz bu alqoritmanı edənlərə Qədim Romalıları nümunə kimi göstərmək olar. Məhz bu növ

üslubların inkişafını dəstəkləyən dövrlərdən biri də İntibah dövrüdür. Əsasən bu dövrdə bağların yüksək səviyyədə inkişafını müşahidə etmək mümkündür.

Klassik üslub- Bu üslubu Klassik və yaxud da formal olaraq adlandırmaq mümkündür. Landşaft memarlığının ən qədim və nüfuzlu üslublarından biri hesab edilir. Bu üslubun ən əsas prinsipləri simmetriya, nizam-intizam, dəqiqlik və kompozisiya bütövlüyü təşkil edir. Məhz bu üslubda olan bağlar, əsasən öncədən planlaşdırılmış layihələr əsasında yerləşdirilir və hər bir nüans ümumi kompozisiyanın ayrılmaz hissəsinə çevrilir. Düz xətlər, səliqəli şəkildə budanan ağaclar, həndəsi formalı kompozisiyalar, fəvvarələr, hovuzlar və s. kimi nümunələr bu üslubun xarakterik xüsusiyyətləri hesab edilir. Klassik bağlarda insanın təbiət üzərində diqqəti və hömkranlıığı açıq formada hiss edilir. Bu səbəbdən formla üslub tarix boyunca sarayların, dövlət əhəmiyyətli memarlıq komplekslərinin ətrafında geniş yayılmışdır.

İngilis üslubu- İngilis landşaft üslubu XVII əsrdə əsasən Avropada formalaşaraq formal bağların sərt kompozisiya qaydalarına əlavə variant kimi meydana gəlmişdir. Bu üslubun əsas hədəfi təbiətin gözəlliyini maksimum dərəcədə qorumaq və məkanı insan müdaxiləsi hiss olunmadan təşkil edilməsidir. İngilis bağlarında daha çox əyri yollar, sərbəst böyüyən ağaclar, geniş yaşıllıq və təbii görünüşə sahib gölləri müşahidə etmək mümkündür. Məhz bu üslub, relyefin təbii xüsusiyyətlərinə xələl vermədən qoruyur. Bu stil insan və təbiət arasındakı harmoniyayı yaradaraq onu məkana təsvir edir.

Fransız üslubu- Landşaft dizaynının bu üslubu Avropa bağ sənətinin ən təntənəli və ecazkar istiqamətlərindən biri hesab edilir. Bu üslub təxminən XVII əsrdə inkişaf etmiş və sonrakı dövrlərdə bir sıra ölkələrin bağçılıq ənənələrinə təsir etmişdir. Fransız bağlarında geniş imkan, simmetrik kompozisiyalar və monumental elementlər üstünlük təşkil edir. Məkanda mövcud olan hər bir detal ciddi həndəsi qaydalara uyğun formada təşkil edilir. Bu üslubun əsas hissəsini fəvvarələr, dekorativ hovuzlar, heykəltəraşlıq nümunələri təşkil edir. Məhz bu üslub gücün, zənginliyin və estetik görünüşün ifadəsi kimi qəbul edilir.

Yapon üslubu- Şərq fəlsəfəsinin və qədim bağçılıq ənənələrinin məhsulu olaraq hesab edilən üslublardan biridir. Bu stildə məqsəd təbiətin sadələşdirilmiş və simvolik nümunəsini yaratmaqdır. Bu üslubda olan hər bir detal müəyyən fəlsəfi məna daşıyır və təsadüfi şəkildə yerləşdirilmişdir. Su ömrün davamlılığını, daşlar dağları, körpülər isə insanın mənəvi inkişaf və təkamül yolunu simvolizə edir. Bu bağlarda minimalizm prinsipinə daha çox üstünlük verilir və artıq, lazımsız elementlərdən istifadə edilmir. Əsasən məkanın harmoniya və sakitlik hissi yaratması əsas hədəf hesab edilir. Yapon bağları təkcə estetik deyil, həm də psixoloji və ruhsal təsir gücünə malikdir.

Çin üslubu- Şərq bağçılıq mədəniyyətinin ən əsas istiqamətlərindən biridir. Çin bağlarının təbiət və insasn arasındakı bərabərliyi əsas prinsip kimi hesab edilir. Burada süni təpələr, su hövzələri, qayalar və müxtəlif bitki qrupları harmonik formada birləşdirilir. Çin bağlarında təbiətin müxtəlif detalları arasında qarşılıqlı əlaqənin yaradılması xüsusi önəm daşıyırdı. Bu stildə bağ yalnız istirahət məkanı kimi deyil, həmçinin fəlsəfi düşüncələr və ruhsal təkmilləşmə mühiti kimi qəbul edilir.

Aralıq dənizi üslubu- əsasən isti və quraq iqlim şəraitinə uyğunlaşmış landşaft dizayn istiqaməti kimi formalaşmışdır. Bu üslub əsasən İtaliya, İspaniya, Yunanistan və digər Aralıq dənizi ölkələrinin bağçılıq ənənələrinə əsaslanır. Aralıq dəniz bağlarında terraslar, daş örtüklər, dekorativ elementlər, quraqlığa davamlı bitkilər və s. predmetlər geniş istifadə edilir. Əsasən zeytun, lavanda, rozmarin tipli bitkilər bu üslubun önəmli komponentlərindən sayılır. Məhz bu tip bağlar estetik görünüşdən savayı, su ehtiyatlarından diqqətli istifadə etməlidir.

Müasir və modern landşaft üslubuna nəzər yetirdikdə isə, XX əsrin ikinci yarısından etibarən daha geniş yayılmağa başlamışdır. Bu stil sadəlik, minimalizm və funksionallıq prinsiplərinə əsaslanır. Müasir bağlarda artıq dekorativ elementlərin miqdarı minimuma endirilir və ərazinin istifadəyə yararlılığı ön plana çıxarılır. Düzgün seçilmiş həndəsi formalar, açıq ərazilər, texnoloji həllər və müasir materiallar məhz bu üslubun əsas predmetlərindəndir. Müasir landşaft dizaynında ekoloji cəhətdən dayanıqlılıq, su ehtiyatlarının qorunması və enerjiyə qənaət kimi məsələlər xüsusi

diqqətdə saxlanılır. Ümumiyyətlə son illərə nəzər yetirilsə, ekoloji landşaft üslubu çox geniş yayılmışdır. Bu yanaşma təbii ekosistemlərin qorunmasına, yerli bitki növlərinin istifadəsinə və ətraf aləmə mənfi təsirlərin ən aşağı səviyyəyə endirilməsinə təkan verir. “Suyun səmərəli istifadəsi, Abşeron bağlarının müasir dizaynında əsas faktorlardan biridir” Mustafayeva, N. (2020). Ekoloji bağlarda kimyəvi maddələrdən istifadənin minimuma endirilməsi, yağış sularının xüsusi qurğularla toplanması, yaşıl damların yaradılması və təbii yaşayış mühitlərinin qorunması əsas prinsip sayılır. “Abşeron bağlarının dizaynında müasir ekologiya tələbləri və yerli şərtlərə uyğunlaşdırma əsas əhəmiyyət kəsb edir” Mammadov, E. (2020).

Landşaft dizaynı tətbiq edən şəxsə isə landşaft dizayneri deyilir. Məhz bu şəxs açıq məkanların, estetik, ekoloji və ən əsası funksional baxımdan təşkili ilə məşğul olan mütəxəssisdir. Bu peşəkarın əsas vəzifəsi süni və təbii elementləri bir araya gətirərək insan tələbatlarına cavab verən məkan yaratmaqdır. İşində peşəkar olan landşaft dizayneri, ilk növbədə güclü analiz qabiliyyətinə malik olmalıdır. Belə ki, o məkana daxil olan zaman beynində müəyyən bir gedişat hazırlamalıdır və ilkin eskizi çəkib təqdim etməyi bacarmalıdır. Sözsüz ki, məkənlərdə müəyyən növlərə ayrılırlar. Yəni bəzən sıfır məkan olur, dizayner ən balaca detaldan hesablayaraq böyük bir layihə planlaşdırır. Bəzən isə müəyyən vəziyyət olan bir əraziyə daxil olur dizayner və həmin ərazini özünün ən yaxşı versiyasına çevirir. Əlbəttə ki, ikinci variant daha çətindir. Çünki hazır məkanı inkişaf etdirən zaman düzgün planlama və analiz qabiliyyətlərinə sahib olmaq lazımdır ki, hansı predmetə toxunub, hansına toxunmayacağını biləsən. Bəzən ərazidə illərlə kök salmış yaşıllıqlar mövcud olur, tövsiyyə olunan budur ki, həmin yaşıllıqları qoruyaraq onların da, daxil olduğu bir layihə meydana gəlsin. Bunu balans prinsipində adlandırmaq olar. Belə ki, landşaft dizaynının əsas prinsiplərindən biri kompozisiyanın bütövlüyünü təmin edən fundamental qaydalardır. Bu prinsiplərdən ən önəmlilərdən biri balans prinsipi adlanır. Balans məkan daxilində və ya xaricində mövcud olan elementlərin vizual ağırlığının tarazlaşdırılması deməkdir. Əsasən simmetrik və ya assimetrik formada həyata keçirilə bilər. Digər önəmli prinsiplərdən biri isə proporsiya prinsipidir. Belə ki, məkanı təşkil edən elementlərin bir-biri ilə və ya ümumi mühitlə ölçü uyğunluğunu, balanslılığını təmin edir.

Nəticə

Aparılmış araşdırmalar nümayiş etdirir ki, landşaft dizaynı müasir dövrdə yalnız açıq məkanların estetik təşkili ilə kifayətlənməyən, təbiət, insan və memarlıq arasında qarşılıqlı əlaqəni formalaşdıran kompleks fəaliyyət sahəsi sayılır. Landşaft dizaynının əsas məqsədi insan və təbiət arasında düzgün harmoniya yaratmaqdır. Belə ki, yaşıllıq sistemləri, relyef xüsusiyyətlərini, su elementlərini və s. birləşdirərək həm estetik, həm də praktiki cəhətdən funksional məkanlar formalaşdırır. Əlavə olaraq qeyd etmək lazımdır ki, düzgün layihələndirilmiş landşaft sahələri havanın keyfiyyətinin daha yaxşı olmasına, torpaq eroziyasının qabaqlamağa və istiləşmənin azaldılmasına mühüm töhfə verir. Eyni zamanda bu məkanlar insanların həm psixoloji, həm də fiziki sağlamlığının yaxşılaşdırılmasına şərait yaradır. Müasir dövrdə landşaft dizaynının inkişaf istiqamətlərinin təhlil prosesi, nümayiş etdirir ki, davamlı inkişaf prinsipləri və s. bu sahənin gələcək inkişafının əsas prioritetlərini təşkil edir.

Nəticə etibarilə qeyd etmək lazımdır ki, landşaft dizaynı müasir cəmiyyətin sosial, estetik və ekoloji tələblərinə cavab verən mühüm fəaliyyət sahəsi olmaqdan savayı, gələcək şəhərlərin formalaşdırılmasında strateji əhəmiyyətə malikdir. Məhz bu səbəbə görə də landşaft dizaynının elmi əsaslarının daha detallı mənimsənilməsi, innovativ yanaşmaların tətbiq edilməsi dayanıqlı inkişafın təmin edilməsi baxımından xüsusi əhəmiyyət daşıyır.

İstinad

1. Mansurov, T.(2019). “Abşeronun landşaftını bərpa etmək və bağ dizaynı”. “Abşeronun landşaft xüsusiyyətlərinə uyğun bağ dizaynı, həm təbiətə uyğun olmaq, həm də istifadəçilərin narahatlığını təmin etmək məqsədi güdür”.
2. Mustafayeva, N. (2020).“Abşeron bağlarında istifadə olunan suvarma sistemləri”. “Suyun səmərəli istifadəsi, Abşeron bağlarının müasir dizaynında əsas faktorlardan biridir”.
3. Mammadov, E. (2020). “Abşeron bağlarının müasir dövr tələblərinə uyğun inkişafı”. “Abşeron bağlarının dizaynında müasir ekologiya tələbləri və yerli şərtlərə uyğunlaşdırma əsas əhəmiyyət kəsb edir”.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Booth N.K. Basic elements of Landscape Architectural Design. New York: Elsevier Science Pulishin Co., 1983, 314p.
2. Simonds J.O., Starke B.W. Landscape Architecture: A Manual of Enviromental Planning and Design. 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2013, 396p.
3. Jellicoe G., Jellicoe S., Waymark T. The Landscape of Man: Shaping the Enviroment from Preshistory to the Present Day. London: Thames & Hudson, 1995, 408p.
4. Turner T. Garden History: Philosophy and design 2000 BC-2000 AD. London: Spon Press? 2025? 320p.
5. Moyer J.L, Booth N.K. Tradition and Innovation in Landscape Architecture: Designing for Contemporary Gardens and Open Spaces. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009, 352p.



Publisher.agency: Proceedings of the 13th International Scientific Conference «Foundations and Trends in Research» (May 28-29, 2026). Copenhagen, Denmark, 2026. 286p

editor@publisher.agency

<https://publisher.agency>

University of Copenhagen

Lindestien, 23

2605 Brøndbyøster Copenhagen,

Denmark